
Spritzbeton auf der Neubaustrecke Köln - Rhein/Main

SPRAYED CONCRETE FOR THE NEW COLOGNE-RHINE/MAIN EXPRESS RAILWAY LINE

RUPERT STERNATH

Die Arbeiten an der neuen 219 km langen Hochgeschwindigkeitsstrecke für Personenverkehr auf der Linie Köln-Rhein/Main laufen in vollem Umfang.

Außer vielen Kunstbauten, wie Hangsicherungen, Stützmauern und 18 Talbrücken mit insgesamt ca. 6 km Gesamtlänge, sind 30 Tunnel mit einer Gesamtlänge von rund 47 km zu bauen, wobei 24 davon in bergmännischer Bauweise vorzutreiben sind.

Während ein Tunnel für die Abzweigung des Astes nach Wiesbaden mit zwei Einzelröhren im Schildvortrieb aufgeföhrt wird, sind die übrigen Tunnel zweigleisig und werden in Spritzbetonbauweise ausgeführt.

Viele Tunnel liegen in Trinkwasserschutzzonen, so daß ein späterer Wiederanstieg des Grundwassers sichergestellt werden muß und der Alkaligehalt des Spritzbetons zu begrenzen ist.

Es kommen alle gängigen Spritzbetonverfahren zur Ausführung, wie Trockenspritzbeton mit ofengetrockneten oder erdfeuchten Zuschlagstoffen, sowie Naßspritzbeton mit alkalireduzierten oder alkalifreien Beschleunigern.

Die Vortriebsarbeiten in dem zum überwiegenden Teil stark verwitterten Rheinischen Schiefergebirge bei geringer Überdeckung mit den vielen Unterquerungen der BAB Köln/Frankfurt und anderer Verkehrswege sowie von Gebäuden stellen die besondere Herausforderung bei diesem Projekt dar.

Construction work for the new 219-km-long Cologne-Rhine/Main high-speed railway line for passenger transport is in full swing.

Apart from numerous structures such as slope stabilisation measures, retaining walls and 18 viaducts with a total length of approx. 6 km, 30 tunnels - some 47 km long - have to be constructed, 24 of them are driven by underground means.

While one tunnel at the junction of the branch line to Wiesbaden consists of two single tubes advanced by shield tunnelling, all the other tunnels are double-track structures realised by means of the sprayed concrete method.

Many of the tunnels are located in water conservation areas, and therefore it must be ensured by all means that the groundwater table will rise again and the alkali content of shotcrete be limited.

The standard sprayed concrete methods are applied such as dry-mix shotcrete in combination with oven-dry or earth-damp aggregate, and wet-mix shotcrete with low-alkali or alkali-free accelerators.

Tunnel driving in the generally strongly weathered rock with low overburden and many undercrossings of the Cologne-Frankfurt motorway as well as other traffic routes and structures constitutes a particular challenge of this project.

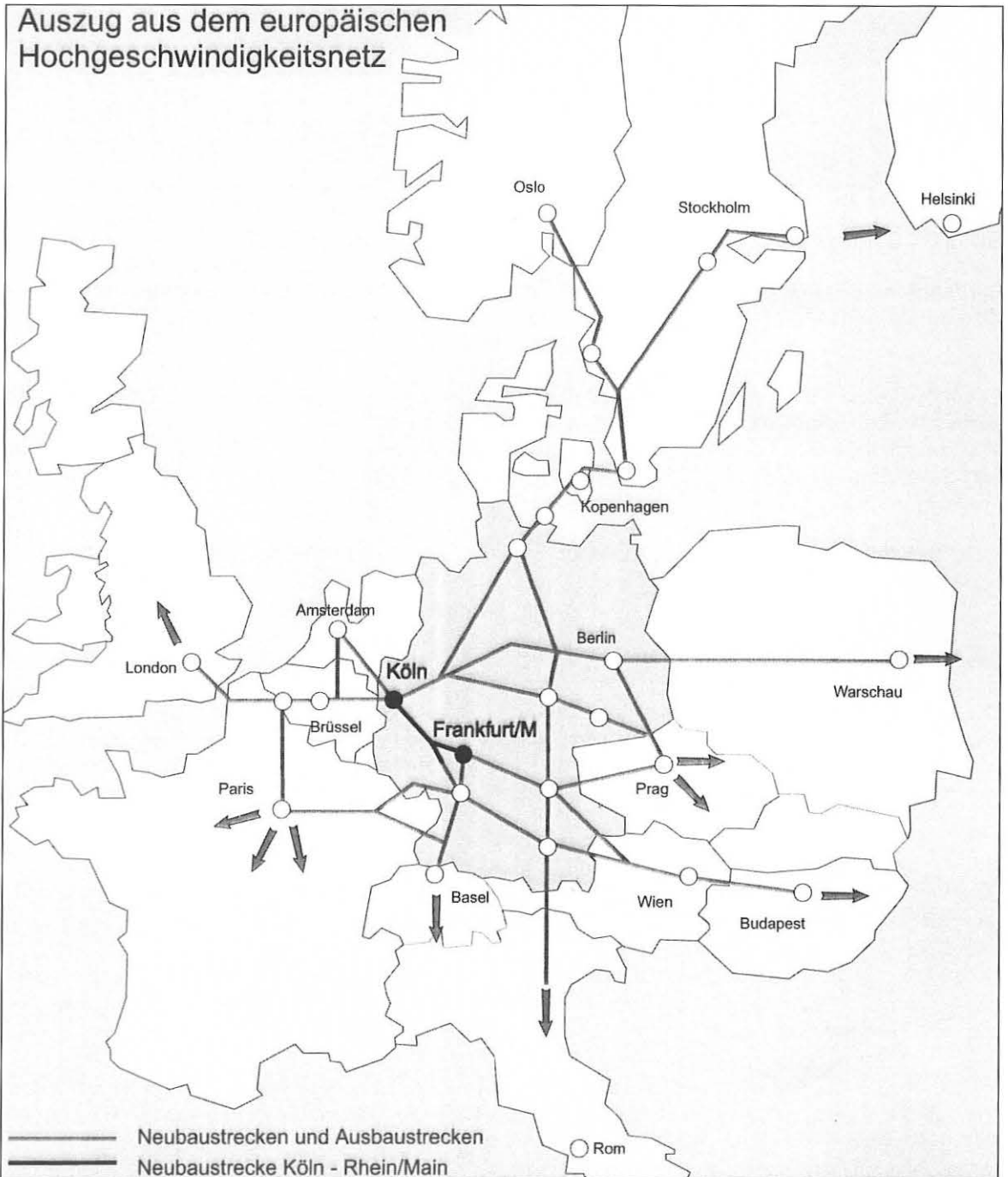


Bild 1: Europäisches Hochgeschwindigkeitsnetz

1. Allgemeines

Die Neubaustrecke Köln-Rhein/Main gilt als eines der wichtigsten Projekte im deutschen wie auch im europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehr auf der Schiene. Die direkte Verbindung zwischen Köln und Frankfurt ist ein zentraler Baustein für den nationalen und internationalen Schienenverkehr. Sie wird die Rheintalstrecken im stark frequentierten Korridor zwischen den Ballungsräumen Rhein/Ruhr und Rhein/Main entlasten und die Reisezeiten drastisch verkürzen. Statt heute 2 Stunden 12 Minuten beträgt die Fahrzeit zwischen Frankfurt und Köln mit der Inbetriebnahme der Neubaustrecke nur noch 58 Minuten (Bild 1).

Wie sehr Europa durch die Neubaustrecke und den weiterführenden Netzausbau zusammenwächst, verdeutlichen einige Beispiele: Die Reisezeit von London nach Frankfurt verkürzt sich von heute siebeneinhalb auf künftig fünfeinhalb Stunden, für die Strecken Brüssel-Frankfurt oder Amsterdam-Frankfurt sind nur noch drei statt heute fünf Stunden zu veranschlagen.

Die Neubaustrecke Köln-Rhein/Main folgt im wesentlichen dem Verlauf der Autobahn A3 durch die Mittelgebirgstopographie von Siebengebirge, Westerwald und Taunus. Die enge parallele Lage zur A3 ist möglich, weil die neue Strecke mit Planungsparametern gebaut wird, die im deutschen Hochgeschwindigkeitsverkehr bislang einmalig sind: Die maximale Steigung beträgt 40 Promille, die engsten Kurvenradien 3.350 Meter (Bild 2).

Durch die direkte Trassierung verkürzt sich die Verbindung zwischen Köln und Frankfurt von heute 222 Kilometer auf künftig 177 Kilometer. Einschließlich der Abzweigungen zum Flughafen Köln/ Bonn und nach Wiesbaden wird die Schienenverbindung 219 Kilometer lang sein. Haltepunkte sind vorgesehen in Köln Hauptbahnhof, Köln-Deutz (tief), Flughafen Köln/Bonn, Bonn/Siegburg, Montabaur, Limburg, Flughafen Frankfurt und Frankfurt Hauptbahnhof. Investitionen von 7,75 Milliarden Mark werden für die Neubaustrecke veranschlagt, weitere 1,04 Milliarden kostet die Anbindung des Flughafens Köln/Bonn.

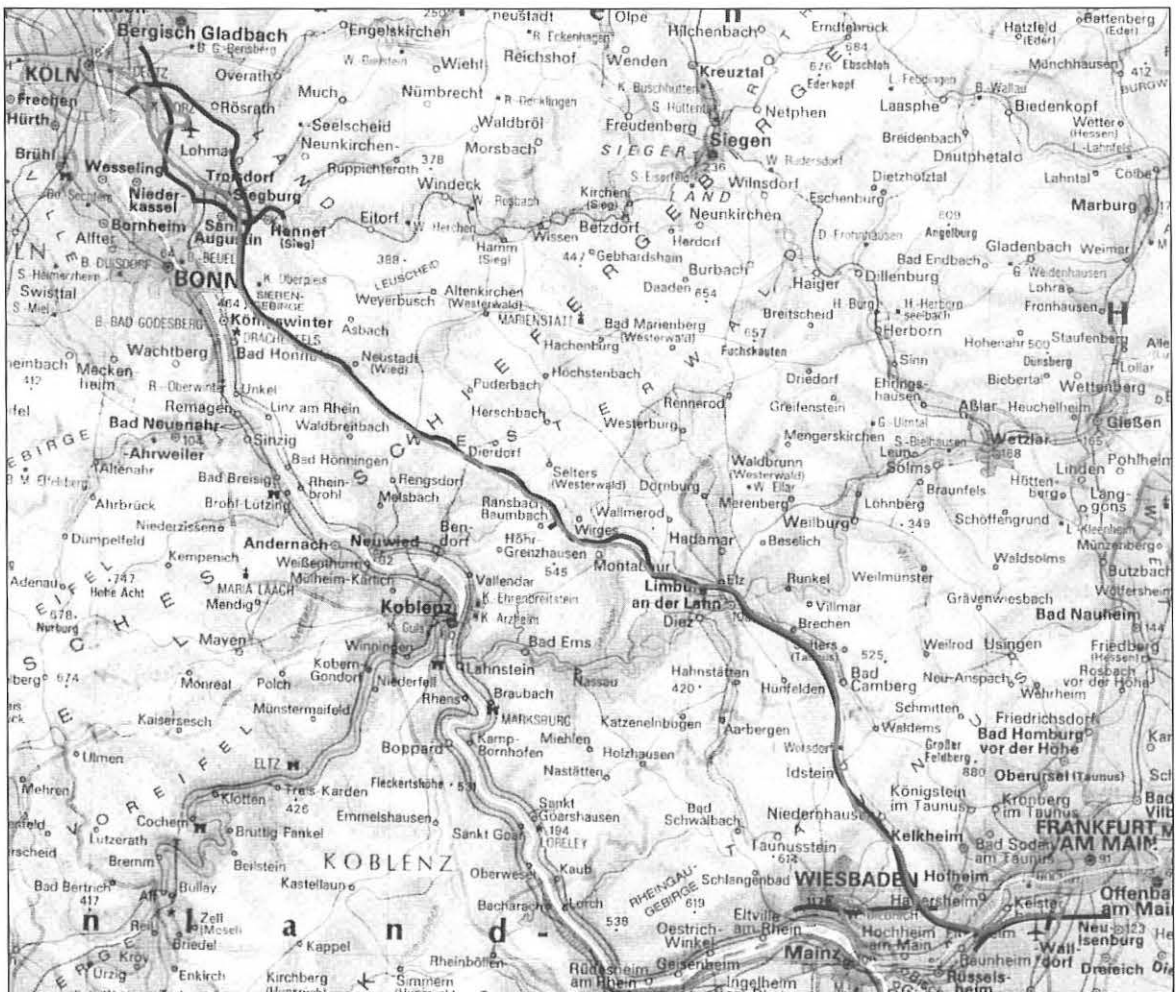


Bild 2: Streckenführung Köln - Rhein/Main

Auf der Neubaustrecke kommt die dritte Generation des ICE zum Einsatz: Der ICE 3 ist ein Triebwagenzug, bei dem statt der Triebköpfe an den Zugenden die Antriebskräfte auf den ganzen Zug verteilt sind. Das bedeutet geringeres Gewicht, größere Steigfähigkeit und bessere Raumnutzung. Mit bis zu 300 km/h wird der ICE 3 auf der neuen Strecke unterwegs sein. Für die weiterführenden internationalen Verbindungen Richtung Amsterdam/Brüssel werden ICE 3-Züge mit Mehrsystemtechnik ausgestattet. Trotz der unterschiedlichen Bahnstrom- und Signalausrichtungen in den Nachbarländern können diese Ziele dann direkt angefahren werden.

2. Funktionale Leistungsbeschreibung

Der 145 km lange Mittelabschnitt mit den Los A, B und C wurde erstmals für eine neue Strecke im deutschen Schienenverkehrswegebau auf der Basis einer funktionalen Leistungsbeschreibung vergeben. Dabei erhielten die Unternehmen der Bauwirtschaft anders als bei bisherigen Infrastrukturprojekten keine detaillierten Planungsunterlagen für die Kalkulation ihres Angebots, sondern im wesentlichen eine Beschreibung der Funktion, die das Bauwerk zu erfüllen hat. Hierüber wird in [1, 2] berichtet.

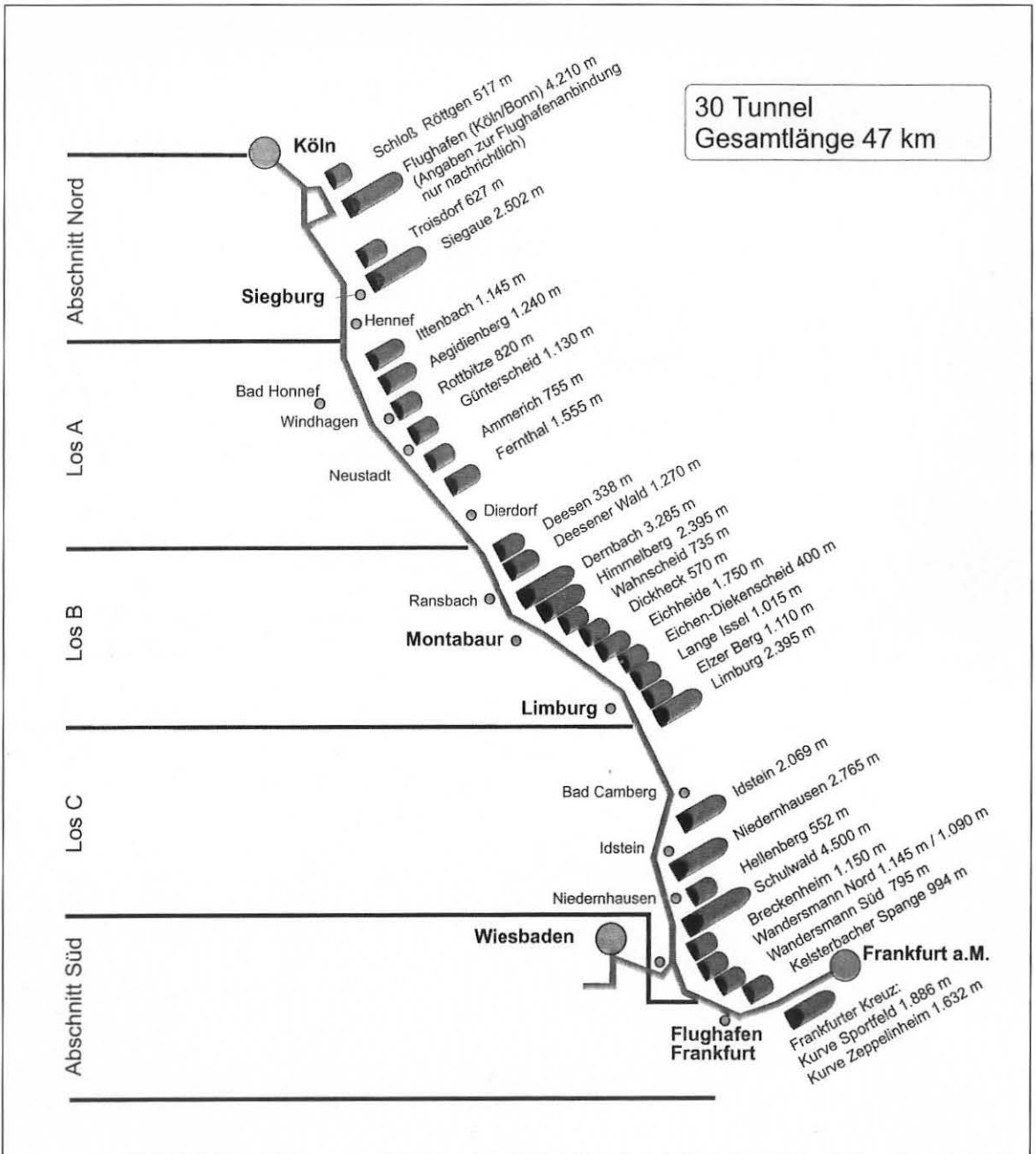


Bild 3: Alle Tunnel der Neubaustrecke Köln - Rhein/Main

3. Zweigleisige Tunnel in Untertagebauweise

Von den insgesamt 30 Tunnelbauwerken entlang der Strecke mit einer Gesamtlänge von 47 km (Bild 3) werden 22 zweigleisige Tunnel mit einer Gesamtlänge von 35 km und einem Ausbruchquerschnitt von 150 -160 m² in Spritzbetonbauweise vorgetrieben (Bild 4). Dafür werden ca. 1 Mio m³ Spritzbeton verarbeitet. Weitere etwa 150.000 m³ werden für die Böschungssicherung der Voreinschnitte und für die Ausfachung von Baugrubenverbauwänden benötigt [3].

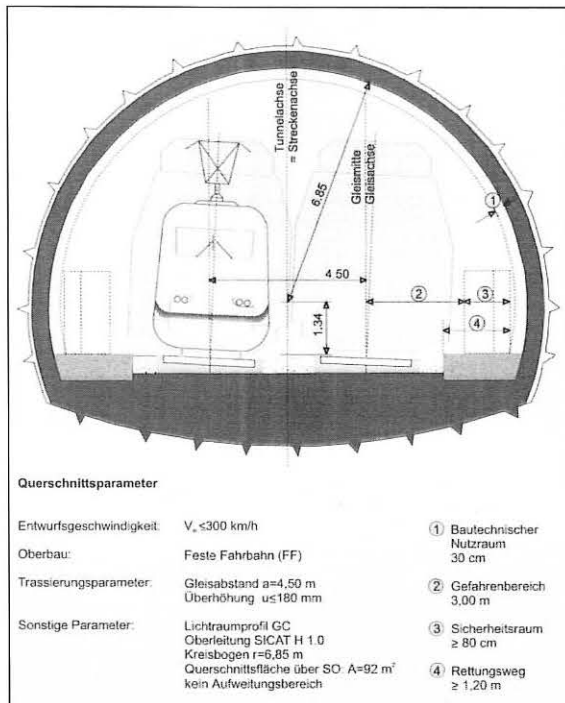


Bild 4: Zweigleisiger Regelquerschnitt, Untertagebauweise

Es versteht sich von selbst, daß die beauftragten Firmen für den Einbau so großer Mengen die modernsten technologischen Maßnahmen nutzen, um die geforderte Betonqualität unter den auf den Tunnelbaustellen gegebenen Bedingungen innerhalb des vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmens sicherzustellen.

Alle Tunnel verlaufen im Grundwasser, welches zur Trinkwassergewinnung der entlang der Strecke liegenden Gemeinden genutzt wird. Der Vertrag fordert daher neben der Sicherstellung der in der Bemessung der Außenschale vorausgesetzten Eigenschaften, daß die Spritzbetonrezepturen physiologisch unbedenklich sind.

Im Bereich von ausgewiesenen Trinkwasserschutzzonen verlangen die zuständigen Wasserrechtsbehörden die Begrenzung des Na₂O-Äquivalents

je nach Schutzzone auf 1,5 %, 1,3 % und 1,0 %. Letzteres ist nur bei Anwendung des Trockenspritzverfahrens mit Spritzbetonzementen, oder mit Naßspritzbeton bei Einsatz von alkalifreien Beschleunigern möglich.

Die Innenschalen werden auf den vollen Wasserdruck bemessen, weil das Grundwasser nach Beendigung der Bauarbeiten wieder auf die ursprüngliche Höhe ansteigen soll. Dies erübrigt die Anordnung von Tunnel drainagen, weshalb die dabei auftretenden hohen Kosten für das regelmäßige Entfernen von Versinterungen entfallen. Dies läßt aus Bauherrnsicht das Problem der Eluierbarkeit von Salzen aus dem Spritzbeton als nicht besonders kritisch erscheinen.

4. Statik und Ausführungsplanung

Die Tunnel haben im allgemeinen eine nur geringe bis mittlere Überdeckung. Nur beim Tunnel Niedernhausen, der den Hauptkamm des Taunus durchquert, steigt sie bis auf 100 m an. Die zu durchörternden devonischen Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges sind tiefgründig verwittert und an der Oberfläche später örtlich umgelagert worden. Sie erfordern daher eine dem Ausbruch unmittelbar folgende Sicherung.

Als Grundlage für die Festlegung der Ausbruchklassen durch die verantwortlichen Personen vor Ort dienen die vom Eisenbahnbundesamt freigegebenen Ausführungspläne.

Die dafür erforderlichen Standsicherheitsnachweise werden auf der Grundlage eines Modells, welches das Verbundsystem von Gebirge und Ausbau wirklichkeitsnah wiedergeben muß, geführt [4].

Die wesentlichen Bemessungsparameter sind dabei

- die örtlichen geologischen Verhältnisse mit dem vorhandenen Trennflächengefüge
- die Vorentspannung des Gebirges, welche durch Umlagerungsvorgänge infolge der Annäherung des Hohlraums an die Stelle des Berechnungsquerschnitts ausgelöst wird,
- der E-Modul des Spritzbetons.

Der Spritzbeton wird durch die Verformungen des Ausbruchrandes bereits unmittelbar nach dessen Auftrag belastet.

Die Vorentspannung des Gebirges ergibt bei den an der NBS gegebenen geologischen Verhältnissen eine Reduktion der Beanspruchung der Spritzbetonschale von 25 bis 40 %. Der tatsächlich auftretende Wert kann über die Ergebnisse des geotechnischen Meßprogramms geprüft und die Stärke des Ausbaus erforderlichenfalls angepaßt werden.

Die zeitliche Entwicklung des Spritzbeton-E-Moduls ist unter Berücksichtigung des Kriechens abhängig von dem vor Ort eingebauten Spritzbeton. Bei der

NBS ist es üblich, mit einem E-Modul von 15.000 MN/m^2 zu rechnen und nur bei jungem Spritzbeton den Wert auf 7.500 MN/m^2 herabzusetzen. Leider sind die beteiligten Firmen der Anregung, die zeitliche Entwicklung des E-Moduls für die hochwertigen Spritzbetone unter Berücksichtigung des Kriecheinflusses durch Versuche nachzuweisen, bisher nicht gefolgt. Dies bringt möglicherweise vermeidbare Überdimensionierungen bei den Außenschalen mit sich.

Ich möchte daher an dieser Stelle mein Anliegen an die Wissenschaft und die Tunnelbauindustrie vorbringen, diesbezügliche Untersuchungen durchführen zu lassen. [4, 5, 6].

5. Spritzbetonverfahren

Die beauftragten Firmen gingen an die im Zuge der Spritzbetonherstellung gestellten Aufgaben unterschiedlich heran, wobei offensichtlich nicht nur wirtschaftliche Überlegungen eine Rolle bei der Auswahl der eingesetzten Technik gespielt haben, son-

dern auch bei zuvor ausgeführten Projekten gewonnenen Erfahrungen großes Gewicht beigemessen wurde [7].

6. Naßspritzbeton mit alkalihaltigen Beschleunigern

Bestärkt durch die guten Erfahrungen, die jüngst bei Projekten wie dem Engelbergtunnel bei Stuttgart oder dem Tunnel Königshainer Berge bei Görlitz mit Naßspritzbeton gemacht wurden, setzen die Unternehmer für die Tunnel Niedernhausen, Limburg (Bilder 5 und 6), Eichheide und Siegaue (Bild 7) auf diese Technik [8].

Es konnte ein tonarmer Zement mit einem Na_2O -Äquivalent 0,9 % gefunden werden, der mit dem eingesetzten Beschleuniger, einem Natrium-Kaliumaluminat in wässriger Lösung (Na_2O -Äquivalent $< 15 \%$, pH-Wert ca. 12) bei der erforderlichen Dosierung die Einhaltung der Alkaligrenzwerte bis zu 1,3 % ermöglicht.

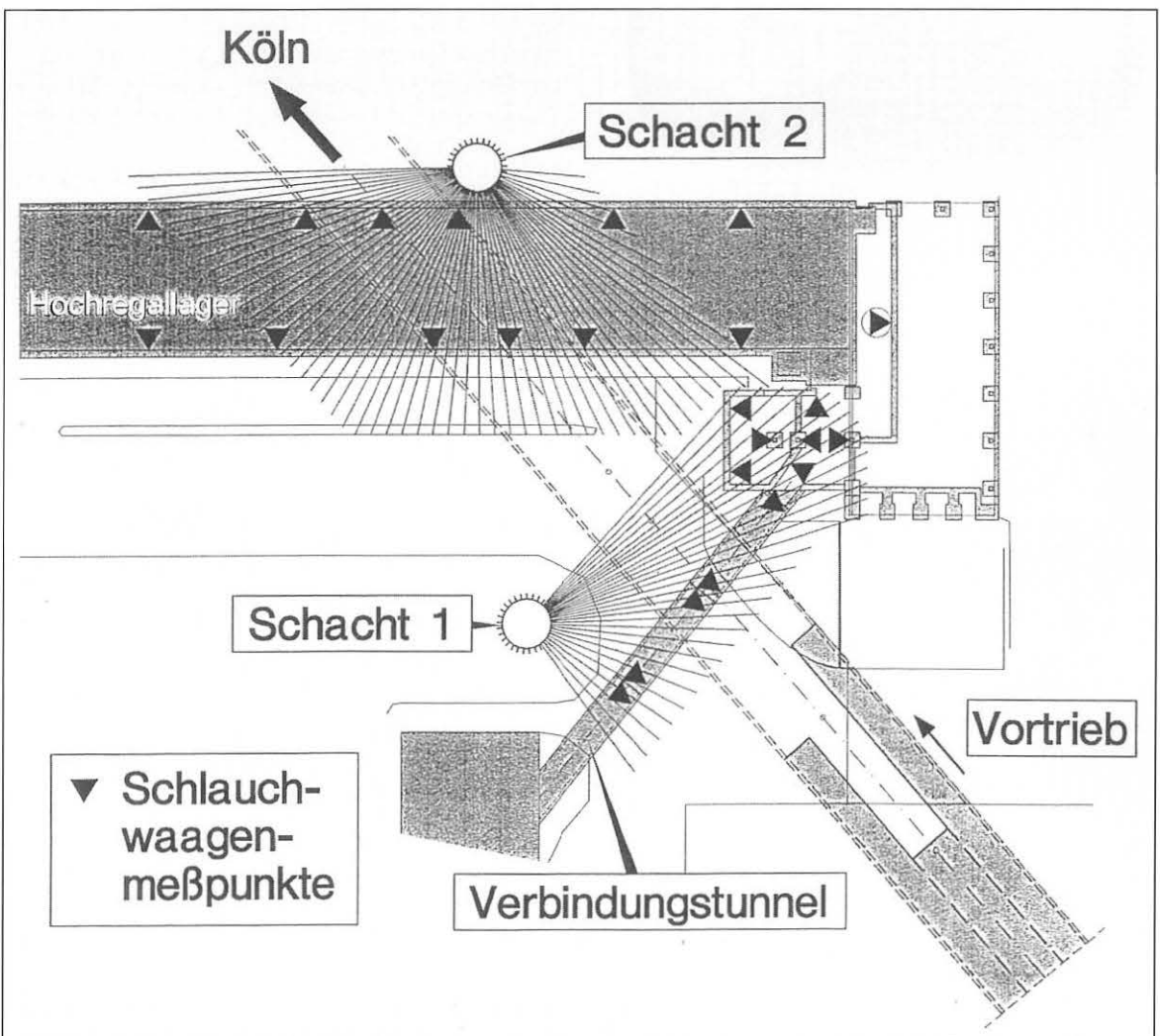


Bild 5: Tunnel Limburg, Unterführung Hochlager, Lageplan

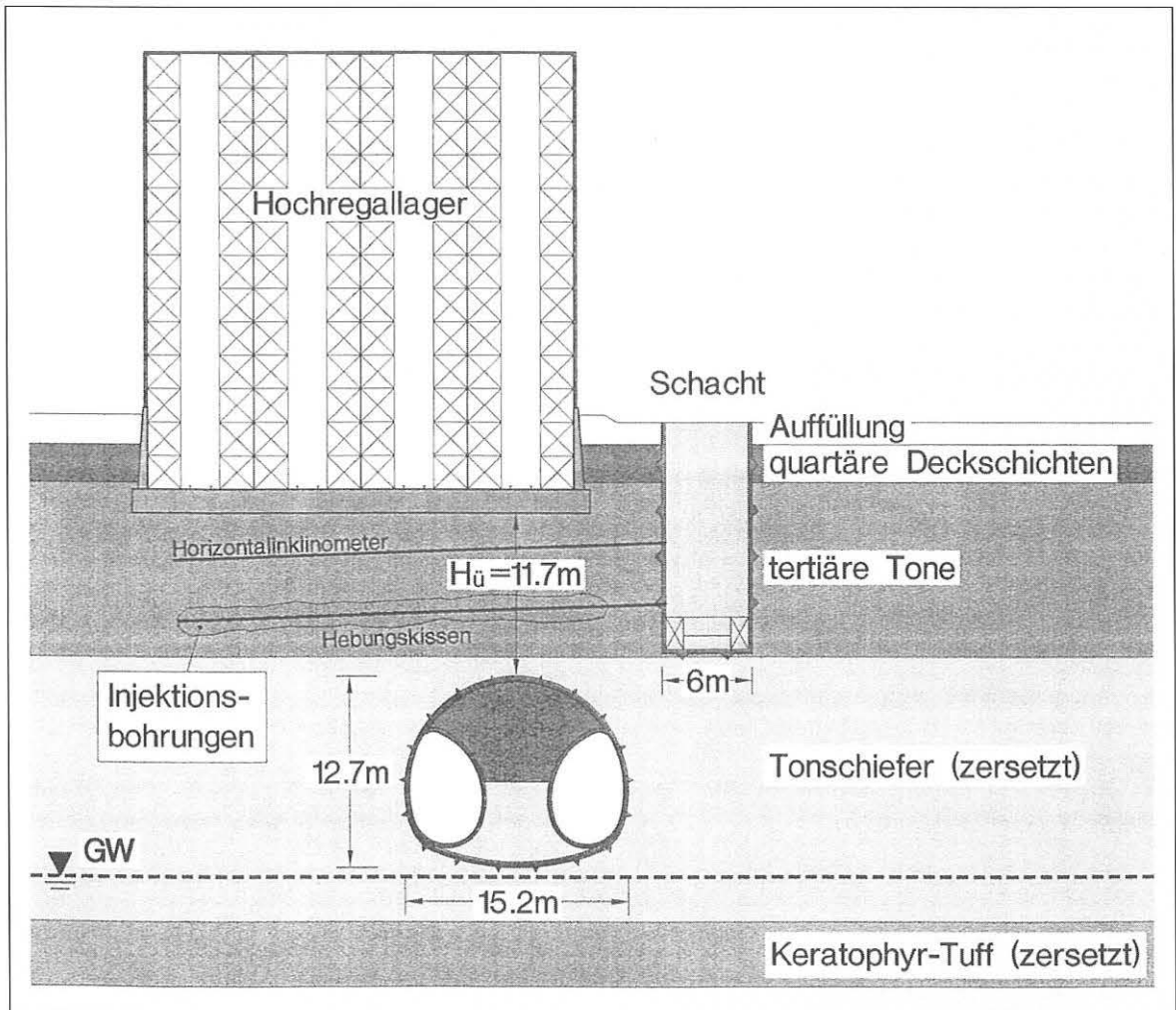


Bild 6: Tunnel Limburg, Unterfahrung Hochlager, Querschnitt

Allgemein wird mit Zuschlagstoffen 0 - 8 mm gefahren.

Die Anforderungen in bezug auf Haftung, Wasserdichtigkeit und Festigkeitsverlauf (zwischen Linie J2 und J3 der ÖBV-Richtlinie) werden mit einem Zementgehalt von 380 kg/m³ und 40 kg/m³ Flugaschenzusatz erreicht.

An Zusatzmitteln werden im allgemeinen nur Betonverflüssiger und Fließmittel zugegeben, weil die Mischanlagen an der Baustelle gelegen sind und der Spritzbeton im Durchlaufbetrieb laufend verarbeitet wird.

Der Naßspritzbeton wird ausschließlich mit Manipulatoren verarbeitet.

Weitere Vorteile sind:

- große Spritzleistung von mehr als 15 m³/h in der Kalotte (über Kopf), wobei bei nasser Auftragfläche die Beschleunigerdosierung örtlich angepaßt werden kann,
- bis zu 30 m³/h in Strosse und Sohle,

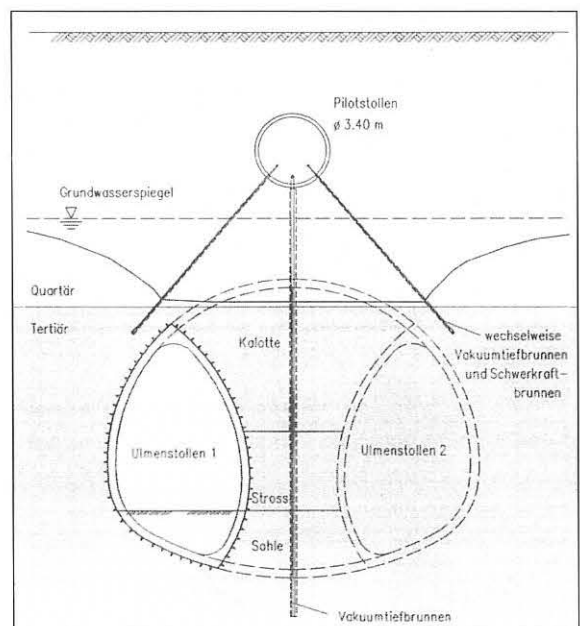


Bild 7: Tunnel Limburg, Vakuummwasserhaltung vom Pilotstollen aus

- geringer Rückprall von unter 10 %,
- geringe Staubentwicklung,
- gleichförmige Spritzbetonoberfläche.

Die Behörden für Arbeitssicherheit lassen alkalihaltige Beschleuniger bei Naßspritzbeton zu, weil dabei die Nachteile in bezug auf die Arbeitssicherheit mit dem ätzenden Beschleuniger durch die im Vergleich zum Trockenspritzbeton viel geringere Staubentwicklung mehr als aufgewogen werden.

7. Naßspritzbeton mit alkalifreien Beschleunigern

Trotz der guten Erfahrungen mit dem zuvor geschilderten Naßspritzbeton hat der Auftragnehmer für den Tunnel Dernbach die zukunftssträchtige Entwicklung des Naßspritzbetons mit alkalifreien Beschleunigern im Rahmen eines umfangreichen örtlichen Versuchsprogramms vorangetrieben und zur Einsatzreife gebracht.

Herr Bauer berichtet im gleichen Tagungsband, weshalb hier nicht weiter auf diese neue Technik eingegangen wird.

Das gleiche Verfahren wird auch am Tunnel Schulwald angewandt.

Inzwischen waren die Zusatzmittelhersteller nicht untätig, so daß der Auftragnehmer für die Tunnel Himmelberg und Wahnscheid seinen Betrieb von werksgemischtem Trockenmischgut mit ofengetrockneten Zuschlagstoffen weitgehend auf Naßspritzbeton mit alkalifreiem Beschleuniger umgestellt hat. Dabei wird ein anderes Produkt als in Dernbach verwendet.

Die Beschleunigerdosierung erfolgt in allen Fällen flüssig in die Druckluft, wobei im Zeitalter der Elektronik, die Dosierung dem Förderstrom geregelt angepaßt werden kann.

Beide Beschleuniger für die oben beschriebenen Projekte werden als Suspension geliefert, was einen gewissen Aufwand für den Schutz gegen Temperatureinwirkung und Eindickung nach sich zieht.

Inzwischen sind auch schon alkalifreie Beschleuniger als Lösung auf dem Markt, wobei die oben erwähnten Nachteile weitgehend entfallen.

Ein Hemmnis für die weitere Verbreitung stellen die höheren Kosten der zur Zeit am Markt angebotenen alkalifreien Beschleuniger im Vergleich zu den alkalihaltigen Produkten dar.

Derzeit erfüllen meines Wissens erst drei Produkte die Voraussetzungen für eine ausreichende Ver-

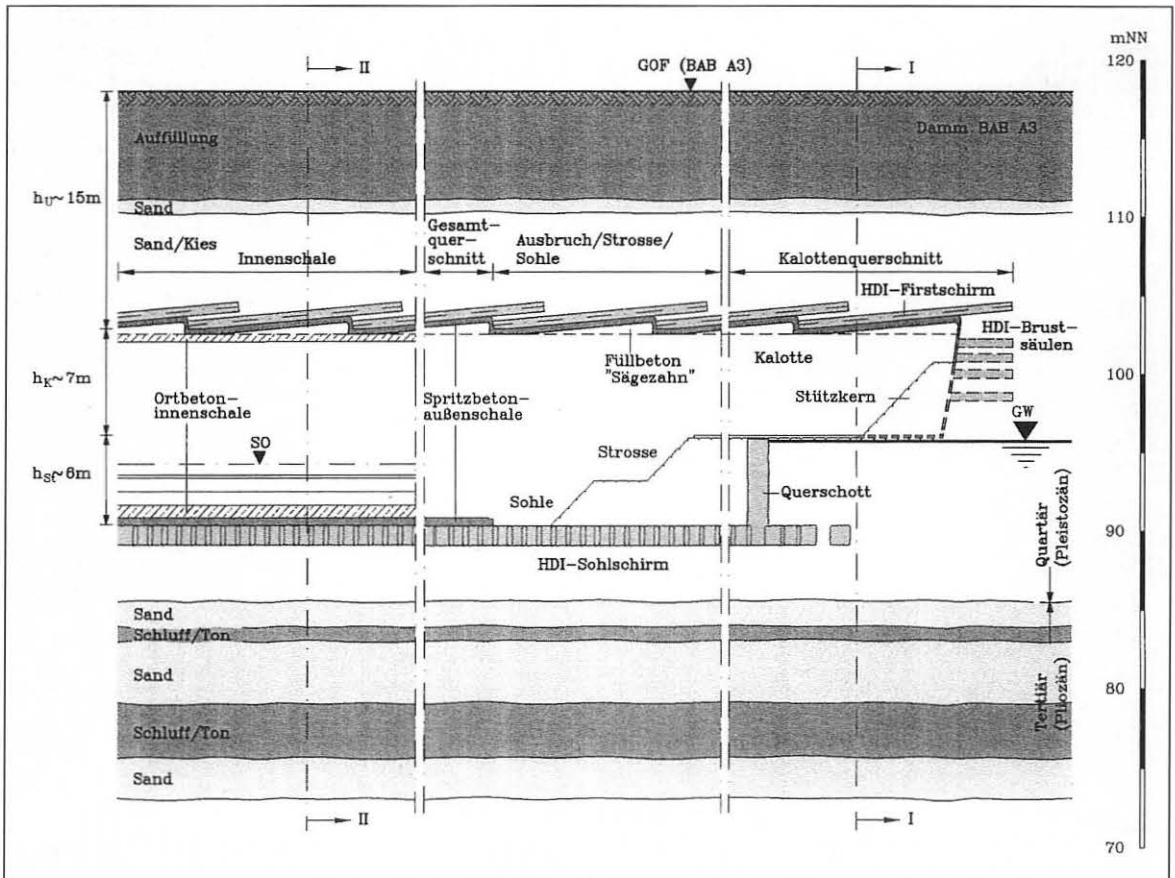


Bild 8: Tunnel unter BAB 3 am Frankfurter Kreuz, Längsschnitt

arbeitbarkeit des Spritzbetons in Abstimmung mit den zum Einsatz kommenden Zementen und den erforderlichen Zusatzmitteln wie Betonverflüssiger, Fließmittel und Verzögerer unter allen Einsatzbedingungen.

8. Trockenspritzverfahren mit ofengetrockneten Zuschlagstoffen

Auf einigen Baustellen werden Betonspritzverfahren mit ofengetrockneten Zuschlagstoffen und Spritzbetonzementen eingesetzt, wobei eine schnelle Erstarrung des Zements durch Reduzierung des Sulfatgehaltes (Low-Sulfat-Content-Cement - LSC) oder durch werkseitige Beimengung von pulverförmigem, alkalifreiem Beschleuniger zu einem Norm-Portlandzement erreicht wird [9].

Infolge des geringeren Spritzgutdurchsatzes im Dünnstrom werden bei diesem Verfahren die Spritzdüsen durchweg noch von Hand geführt. Der Auftragnehmer für die Tunnel Schulwald und Hellenberg hat am Südportal des Schulwald-Tunnels neben der Mischanlage eine Zuschlagstoffrocknungsanlage errichtet und ist damit in der Lage, trocken und naß zu spritzen.

Die übrigen Baustellen, wo dieses Verfahren zum Einsatz kommt, wie z. B. beim Tunnel unter der BAB 3 am Frankfurter Kreuz (Bild 8), versorgen sich mit werksgemischtem Fertigmischgut.

Den Vorteilen der unerreichten Anfangs- und Endfestigkeiten des eingebauten Spritzbetons stehen folgende Nachteile gegenüber:

- geringe Spritzleistung von ca. 5 m³/h,
- trotz Vorbenetzung zu hohe Staubentwicklung,
- Rückprallwerte nicht unter 20 %.

Um die beiden zuletzt genannten Nachteile zu verringern, werden zur Zeit die Spritzbetonzemente nicht mehr ganz so stark beschleunigt. Damit wird erreicht, daß das neue Spritzgut nicht schon auf bereits erhärtete Oberflächenpartien aufprallt, sondern sich die Spritzbetonkörner in die Auftragsfläche einbetten können.

Vorbefeuchtung und Vorbenetzung sollen die Verhältnisse weiter verbessern.

Trotzdem erscheint diese Technik im Großtunnelbau unter normalen Einsatzbedingungen nicht mehr zeitgemäß, weil die Düsenführer im Bereich der größten Staubentwicklung arbeiten müssen.

Dieses Verfahren wird m. E. in Zukunft nur noch Sonderfällen, wie z. B. zur Bewältigung der vielen wasserführenden Störungszonen im Firststollen des Schulwaldtunnels vorbehalten bleiben. Hier muß die zumeist geankerte Ortsbrust in mehreren kleinen

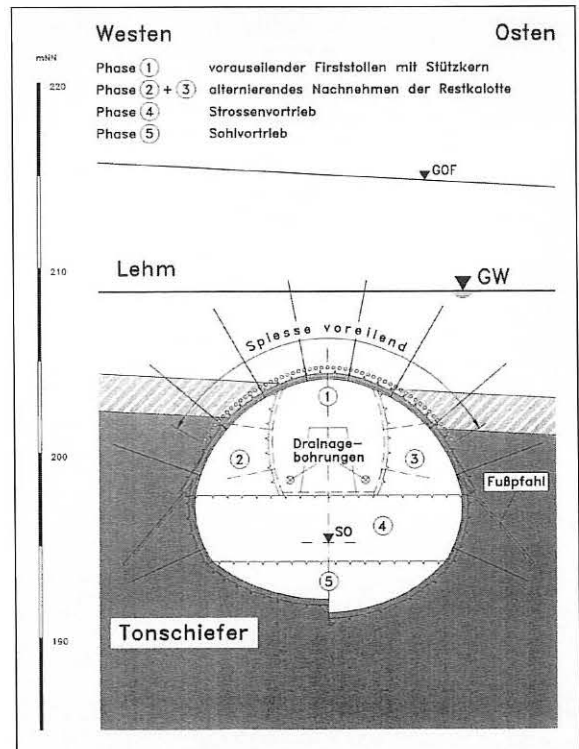


Bild 9: Tunnel Schulwald, Firststollenbauweise, Querschnitt



Bild 10: Tunnel Schulwald, Vortriebssituation

Teilflächen geöffnet und sofort gesichert werden (Bild 9 und 10).

9. Feuchtmischgut als Transportbeton mit alkalifreiem Beschleuniger

Der Auftragnehmer für den Tunnel Lange Issel setzt diese konventionelle Technik ein, weil er damit die vorhandenen Geräte weiter nutzen kann und die Mannschaften mit dieser Technik vertraut sind.

10. Trockenspritzbeton mit Feucht-Mischgut

Parallel zu den Versuchen am Tunnel Dernbach rüsteten sich die Unternehmer für alle sechs Tunnel im

Nr.	Tunnel	Baujahr	Arge	Länge [m]	Spritzverfahren
1	Frankfurter Kreuz	1997	Züblin/Stuag	1.632	TM-T
2	Schulwald	97-2000	ATAC	4.500	TM-T, NM-afr
3	Hellenberg	1997	ATAC	552	TM-T
4	Niedernhausen	98/99	Züblin	2.765	NM-ah
5	Idstein	1998	Walter	2.069	TM-T
6	Limburg	97-99	ATLE	2.395	NM-ah
7	Elzer Berg	98/99	ATM	1.110	TM-T
8	Lange Issel	98/99	ALI	1.015	FM-afr
9	Eichen-Dieckenscheid	1999	KDD	400	NM-afr
10	Eichheide	98/99	ATLE	1.750	NM-ah
11	Dickheck	99/2000	ATM	570	NM-afr
12	Wahnscheid	98/99	ATM	735	TM-T, NM-afr
13	Himmelberg	98-2000	ATM	2.395	TM-T, NM-afr
14	Dernbach	98-2000	KDD	3.285	NM-afr
15	Deesener Wald	1999	KDD	1.270	NM-afr
16	Fernthal	98-2000	ATAC	1.555	FM-S
17	Ammerich	98/99	ATAC	755	FM-S
18	Günterscheid	98/99	Arge M	1.130	FM-S
19	Rottbitze	99/2000	Arge M	820	FM-S
20	Aegidienberg	99/2000	Arge M	1.240	FM-S
21	Ittenbach	99/2000	Arge M	1.145	FM-S
22	Siegaue	1999	Zübl./Univers.	2.202	NM-ah
	Summe			35.290	rd. 1 Mio m ³ SpB

Erläuterungen: Stand Januar 1999

NM-ah: Naß-Mischgut, alkalihaltiger Beschleuniger
 NM-afr: Naß-Mischgut, alkalifreier Beschleuniger
 TM-T: Trocken-Mischgut, ofengetrocknete Zuschlagstoffe
 FM-S: Feucht-Mischgut, Spritzbetonzement, sofort verarbeitet
 FM-afr: Feuchtmischgut, Transportbeton, alkalifreier Beschleuniger

Tab 1: Übersicht über die 2-gleisigen Tunnel in Spritzbetonbauweise

werden muß. Mit allen eingesetzten Systemen wird bei der NBS guter Spritzbeton erzeugt.

Ich hoffe, daß jeder Unternehmer die beste Systemwahl für die in seinen Tunneln auftretenden Verhältnisse getroffen hat.

12. Literatur

[1] Eschenburg, K. D.: Projektsteuerung bei Vergaben an Generalunternehmer - am Beispiel der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main. Bauingenieur, Band 73, Heft 7/8, 1998.

[2] Sternath, R.: NBS Köln-Rhein/Main, Funktionalausschreibung aus der Sicht des Bauherrn. ETH-Tunnelbausymposium, Zürich, März 1999 (in Vorbereitung).

[3] Eschenburg, K. D. und Sternath, R.: Die Tunnel der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main: Projekt, funktionale Ausschreibung, Vergabe und geotechnische Probleme. STUVA-Tagung, Berlin, Dezember 1997.

[4] DS 853: Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten, Bekanntgabe 3, DB AG, München, 1997.

[5] Kielbassa, S. and Duddeck, H.: Stress-Strain Fields at the Tunnelling Face - Three-dimensional Analysis for Two-dimensional Technical Approach. Rock Mechanics and Rock Engineering, Springer Verlag, 1991.

[6] SITU: Numerische Simulation im Tunnelbau. Forschungsschwerpunkt des Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen

Forschung, Wien, Graz, Innsbruck (läuft ab Frühjahr 1997).

querschnitts im schwellenden Gebirge. Taschenbuch für den Tunnelbau, 23. Jg., Essen, 1999.

[7] Testor, M., Kusterle, W.:

Alkaliarme Spritzbetontechnologie. Tunnel, Heft 5, 1998.

[9] ÖBV (Hrsg.):

Vorträge am Österreichischen Betontag 1996. ÖBV, Wien Heft 27/1966.

[8] Rock, D. und Schömig, E.:

Engelbergbasistunnel und die dabei gewonnenen Erfahrungen beim Bau eines großen Tunnel-

[10] BMI (Hrsg.):

Spritzbetontechnologie '96. Tagungsband Spritzbetontechnologie, Igls, 1996.