
Erfahrungen mit alkalifreien, flüssigen Beschleunigern im Naßspritzverfahren auf der Baustelle Tunnel Dernbach, NBS Köln-Rhein/Main

EXPERIENCE GAINED WITH ALKALI-FREE LIQUID ACCELERATOR FOR WET-MIX SHOTCRETE DURING THE CONSTRUCTION OF THE DERNBACH TUNNEL, NEW COLOGNE-RHINE/MAIN EXPRESS RAILWAY LINE

MANFRED BAUER, PETER LÖSCHNIG, WALTER PICHLER

Beim Tunnel Dernbach (L=3.285 Meter) auf der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main sind aus den Forderungen des Vertrages, den Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses, den Grundlagen der Statik und nicht zuletzt aus Gründen des Arbeitsschutzes und der Umwelt hohe Anforderungen an den Spritzbeton gestellt. Im Vorfeld sind daher umfangreiche Versuche mit Naßspritzbeton und den unterschiedlichsten Beschleunigern sowie alternativen Verarbeitungssystemen durchgeführt worden. Als Resultat dieser Vorversuche wurde für die Sicherungsarbeiten Naßspritzbeton unter Beigabe von flüssigem, alkalifreiem Beschleuniger festgelegt. Die Gründe dafür werden besonders aus betontechnologischer, baupraktischer, vertraglicher und wirtschaftlicher Sicht erläutert.

Die bisher gesammelten Erfahrungen können für den schwierigen Ulmen-Stollenvortrieb sowie für den klassischen Kolottenvortrieb vorgestellt werden. Dazu werden die betontechnologischen Ergebnisse, die baupraktischen und wirtschaftlichen Zwischenbetrachtungen unter zusätzlicher Beleuchtung von Aspekten des Arbeitsschutzes, der Umweltrelevanz und Fragen der Außenschalenbemessung erläutert.

Die sich aus den bisherigen Erfahrungen ergebenden Perspektiven werden zusammengefaßt.

Sprayed concrete applied in the 3,285-m-long Dernbach Tunnel, which forms part of the new Cologne-Rhine/Main express railway line, has to meet very demanding requirements. This is due to contract stipulations, conditions imposed by the construction authorities, structural reasons and - last but not least - protection of health and safety standards as well as environmental considerations. Before starting work, extensive tests were therefore carried out using wet-mix shotcrete in combination with different accelerators and alternative placement systems. As a result of these preliminary tests, wet-mix shotcrete with liquid, alkali-free accelerator was specified for supporting work.

The reasons for choosing this approach will be explained from a concrete technological, practical, contractual as well as an economic perspective.

The experience gained so far applies to both the difficult side wall excavation and the classic crown heading. Concrete technological findings, practical and economic aspects including safety matters, environmental considerations and issues relating to the design of the outer lining will be presented.

The new perspectives gained from this experience will be pointed out as well.

Seit September 1996 wird die Neubaustrecke Köln-Rhein/Main, eine Hochleistungsstrecke der Deutschen Bahn AG, errichtet.

Auf dieser rund 200 km langen Strecke mit 26 Tunnelbauwerken ist der Dernbacher Tunnel (Bild 1) dabei mit einer Länge von 3.305 Meter im Bauabschnitt Mitte, Baulos B das längste und bauzeitbestimmende Tunnelbauwerk.



Bild 1: Tunnel Dernbach Zwischenangriff

Ein besonderer Aspekt dieses abzuwickelnden Auftrages ist neben der summenmäßigen Größenordnung in erster Linie der abgeschlossene Vertrag mit funktionaler Leistungsbeschreibung. Diese Form der Vertragsabwicklung führt für die jeweiligen Auftragnehmer der Rohbauarbeiten dazu, daß sie im Rahmen der Vorgaben des Planfeststellungsbeschlusses eine ungewohnt große Vielfalt von Pflichten und Aufgaben eigenverantwortlich und auf eigenes Risiko umzusetzen haben.

Bei der Trassierung dieser reinen Personenverkehrsstrecke zwischen den Ballungsräumen Rhein/Ruhr und Rhein/Main wurde unter Berücksichtigung der Ausbaugeschwindigkeit von 300 km/h der ökonomisch und ökologisch verträglichste Trassenverlauf gesucht. Dies wurde insbesondere durch eine enge Bündelung an die vorhandene Bundesautobahn A3 sowie eine Reihe von Auflagen im Planfeststellungsbeschluß, die auch Auswirkungen auf den Einsatz des notwendigen Spritzbetons haben, erreicht.

Die enge Bündelung der ICE-Strecke mit der Autobahn führt beim Dernbacher Tunnel zur 6-maligen Unterfahrung der Autobahn. Zwei dieser Unterfahrungen erfolgen in Deckelbauweise mit halbseitiger Umlegung der Autobahn (Bild 2), die weiteren Querungen erfolgen bergmännisch mit z.T. sehr geringer Überlagerung zwischen 3,5 und 20 Meter in schleifenden Schnitten bis 300 Meter Länge.



Bild 2: Tunnel Dernbach Deckelstrecke Nord, Bereich Autobahndreieck Dernbach BAB A48/A3

Als Entscheidungsgrundlage flossen die folgenden Punkte daher zusätzlich in die Überlegungen des anzuwendenden Spritzbetonverfahrens ein:

Die nach Vertrag aus dem Vortrieb zulässigen Setzungen auf die Fahrbahnoberflächen dürfen lediglich 50 mm betragen, damit ergeben sich für die Vortriebsmethode und auch für die Beschaffenheit des Spritzbetons klare, sehr strenge Anforderungen.

Ein weiterer zu berücksichtigender Umstand ist die Tatsache, daß der Tunnel Dernbach zu rd. 70 % in Trinkwasserschutzzonen aufzufahren ist, dabei nähert sich der Tunnel auf rd. 50 Meter einer Trinkwassergewinnungsanlage in einem ehemaligen Bergwerk.

Durch die über große Bereiche sehr schlechte Geologie sind Ausbruchsklassen mit temporärer Kalottensohle sowie Ulmenstollenvortrieb erforderlich. Es ist notwendig, die dabei anfallenden Betonabbrüche zusätzlich zu den generell entstehenden Rückprallmengen zu entsorgen. Eine gesonderte Deponierung als Baurestoff ist wirtschaftlich nicht vertretbar, bei der daher geplanten Endlagerung der Abbruch- und Rückprallmengen gemeinsam mit dem Ausbruchmaterial in den Seitenablagerungen entlang der Strecke sind die dafür geltenden Vorschriften zu erfüllen. Aus der Verwaltungsvorschrift "Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen" ergeben sich gerade hinsichtlich des Eluatverhaltens der Betonabbrüche Grenzwerte. Es dürfen Baurestoffe "nur zu Auffüllungen oder Verfüllungen eingesetzt werden, wenn sie unbelastet sind und daher eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften nicht zu besorgen ist."

Diese Problematik des Auslaugverhaltens von Spritzbeton ist in einem Wasserschutzgebiet von besonderer Bedeutung. Durch die Wahl des Naßspritzverfahrens mit alkalifreiem BE kann alles mögliche zur Minimierung der Beeinträchtigung des Grundwassers getan werden.

Neben diesen Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses war es selbstverständlich bei der Spritzbetonverarbeitung auch unser Wille, den neuesten Stand der Technik anzuwenden und auch auf die letzten Erkenntnisse hinsichtlich Arbeitshygiene aufzubauen.

Für die ICE - Strecke wurde von den Arbeitsschutzverwaltungen länderübergreifend ein Arbeitskreis gebildet, der im Sinne der neuen EU - Baustellenrichtlinie eine Arbeitsschutzkonzeption für die Bautätigkeiten vorgegeben hat.

Die Vorgaben des Arbeitskreises fordern eine Minimierung der Gefahrenstoffbelastung. Auch gilt entsprechend § 16 Abs. 2 der Gefahrstoffverordnung, daß der Arbeitgeber prüfen muß, " ob durch Änderung des Verwendungsverfahrens oder durch Einsatz von emissionsarmen Verwendungsformen von Gefahrstoffen deren Auftreten am Arbeitsplatz verhindert oder vermindert werden kann. Ist dies technisch möglich und dem Arbeitgeber zumutbar, muß der Arbeitgeber die erforderlichen Verfahrensänderungen vornehmen."

Dies gilt auch vorrangig gegenüber wirtschaftlichen Interessen. Dies hat den ICE - Arbeitskreis zur Empfehlung veranlaßt, daß das Naßspritzverfahren gegenüber dem Trockenspritzverfahren grundsätzlich vorzuziehen ist.

- Die Anwendung des Trockenspritzbeton-Verfahrens ist nur nach Nachweis zwingender technischer Gründe zulässig.
- Organisatorische Maßnahmen zur Minimierung der Gefahrenstoffbelastung wie z. B. eine verstärkte Bewetterung oder Staubeinhausungen sind durchzuführen.
- Die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung zur Verhinderung einer gesundheitlichen Gefährdung der Arbeitnehmer ist als letztes Mittel anzusehen.
- In die Dokumentation ist auch ein Plan über die Arbeitsschutzmaßnahmen aufzunehmen.
- Eine dauerhafte Einhaltung der Grenzwerte für die Gefahrstoffe ist über die Arbeitsplatzanalyse nachzuweisen.

Die Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses, hier insbesondere die Einhaltung der Bestimmungen für Trinkwasserschutz zonen und die Berücksichtigung der Vorgaben der Verwaltungsvorschrift "Vermeidung und Entsorgung von Bauabfällen" sowie die bereits geschilderten Aspekte der Arbeitshygiene mußten bei der Festlegung des Spritzbetonverfahrens erfüllt werden.

Zur Erreichung des neuesten Standes der Technik sind natürlich auch baupraktische Überlegungen anzustellen. Hier galt es die jeweiligen Vortriebsmethoden in den unterschiedlichsten geologischen Gegebenheiten vom klassischen Kalottenvortrieb mit oder ohne Kalottensohlgewölbe bis hin zum Ulmenstollenvortrieb abzudecken.

Die gerätetechnische Ausstattung mit möglichst einem System war sicherzustellen. Dabei werden durch die annähernd gleichzeitige Auffahrung der 26 Tunnelbauwerke auf der NBS Köln- Rhein/ Main sowie die zum Zeitpunkt der Arbeitsvorbereitung bereits erkennbare gleichzeitige Inangriffnahme der Neubaustrecke Nürnberg - Ingolstadt die zeitgerecht verfügbaren Maschinenkapazitäten eingeschränkt.

Bei den möglichen Spritzleistungen der in Frage kommenden Systeme ergeben sich für das Naßspritzen bekanntermaßen Vorteile, wobei zum Zeitpunkt der Entscheidung die heute bereits selbstverständlich erzielbaren Leistungen von 30 m³/h und Düse noch nicht gesichert waren, aber einen zusätzlichen Anreiz darstellten. Weitere Vorteile sind in den Verschleiß- und Energiekosten sowie den Rückprallwerten zu sehen.

All diese Kriterien haben im Zuge der Arbeitsvorbereitung dazu geführt, daß das Trockenspritzverfahren, auch mit dem Einsatz einer Vorbefeuchtung, grundsätzlich für den Hauptvortrieb ausgeschlossen wurde und dieses Verfahren nur für Nischenbereiche eingesetzt wird.

Für die erdfeuchten Systeme hat sich beim Tunnel Dernbach aufgrund der örtlichen Versorgungssituation mit Betonzuschlagsstoffen, den gerätetechnischen Gegebenheiten und der allgemeinen Situation der Betonversorgung im direkten Vergleich kein wirtschaftlicher Vorteil ergeben. Dies besonders durch die notwendige Errichtung einer Baustellenbetonanlage, womit sich auch die Herstellung des Naßspritzbetons mit dieser Anlage anbietet.

Generell herrschen beim Tunnel Dernbach jedoch die für das Naßspritzverfahren günstigen Umstän-

de, daß jeweils größere Spritzbetonmengen in möglichst kurzer Zeit bei teilweise großen Auftragsstärken zu verarbeiten sind. Größere, stark fließende Wasserzutritte sind im allgemeinen nicht zu erwarten. Auch die aufzufahrenden Teilquerschnitte erlauben in der Regel den Einsatz von Spritzbetonmanipulatoren, händischer Auftrag ist nicht vorhersehbar notwendig. Gesamt sind rund 100.000 m³ Naßspritzbeton zu verarbeiten.

Das Naßspritzverfahren wurde daher technisch und wirtschaftlich am günstigsten eingeschätzt und die Festlegung der optimalen Konstellation sollte durch eine umfangreiche Versuchsreihe mit unterschiedlichen Rezepturen, Beschleunigern und Verarbeitungsgeräten gefunden werden. Diese Versuche wurden vor Beginn der Spritzbetonarbeiten in einem der Baustelle nahegelegenen Steinbruch durchgeführt und in weiterer Folge unter baupraktischen Bedingungen auf der Baustelle zu Ende geführt.

Die Arbeitsvorbereitung sowie die Versuchsreihen für den Naßspritzbeton wurden so umfangreich durchgeführt, da mit flüssigem alkalifreiem Erstarrungsbeschleuniger noch keine ausreichenden Erfahrungswerte vorlagen.

Die Vorgaben für die Versuchsreihen und den daran interessierten EB - Mittellieferanten wurden erstellt und ein einheitliches Prüfsystem festgelegt. Die günstigste Kombination sollte stufenweise erarbeitet bzw. gefunden werden.

Für die Versuche wurde für den Transportbeton eine Mindestbindemittelmenge von 420 kg/m³ und ein Gesamtwassergehalt von max. 200 l/m³ vorgegeben. Weiterhin wurde ein Ausbreitmaß von >46 cm nach 4 Stunden bei verzögertem Beton und eine Frischbetontemperatur von > 15 °C gefordert.

Für die Spritzbetonbeschleunigung durften nur flüssige alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger verwendet werden um eine Frühfestigkeitsentwicklung im Bereich J 2 zu erreichen.

Zusätzlich wurden aus statischen Erfordernissen Mindestdruckfestigkeiten nach 12 und 24 Stunden vorgegeben. Die 28 Tage Druckfestigkeit wurde mit einem entsprechendem Vorhaltemaß angegeben.

Bereits mit einer geringen Anzahl an Versuchen konnte für die bestehenden Verhältnisse eine optimale Rezeptur für den Transportbeton gefunden

werden. Der Zementgehalt wurde auf 400 kg/m³ unter Beigabe von 40 kg/m³ Füller, der Wassergehalt auf max. 200 l/m³ festgelegt.

- Das erforderliche Mindest-Ausbreitmaß von 52 - 56 cm beim Frischbeton wird durch die Beigabe von 0,35 % BV und 0,5 % FM erzielt.
- Die Verzögerung wird durch Beigabe von 0,2 % VZ auf rd. 180 Minuten eingestellt und kann nach baupraktischem Erfordernis modifiziert werden, wobei das geforderte Mindest - Ausbreitmaß noch gegeben sein muß.

400 kg/m ³	CEM I 42,5 R
40 kg/m ³	Flugasche
200 l/m ³	max. Gesamtwassergehalt
0,35 %	BV
0,50 %	FM
0,20 %	VZ (Verzögerungsdauer 180 Min.)

Bild 3: Ergebnisse aufgrund der Vorversuchemischgutzusammensetzung

Auch zeigten sich bei Einsatz der unterschiedlichen EB - Mittel bereits eklatante Unterschiede in den Festigkeitsverläufen.

Interessanterweise wurde klar, daß sich der flüssige, alkalifreie Beschleuniger nur eines Herstellers in allen Serien hinsichtlich Verträglichkeit mit der Grundrezeptur und den darin enthaltenen Betonzusatzmitteln, Verarbeitbarkeit, Dosierung, Rückprall, Festigkeitsverlauf mit erzielbaren Frühfestigkeiten und damit letztendlich auch in wirtschaftlicher Hinsicht als der am besten geeignete herausstellte. Nicht mit allen Zusatzmitteln konnten die geforderten Eigenschaften des Bereitstellungsgemisches und die erforderliche Verträglichkeit mit den EB -Mitteln erzielt werden.

- Die optimale EB - Dosierung für Überkopfverhältnisse beträgt für das verwendete Mittel 6,3% bezogen auf das Zementgewicht - damit ergibt sich mindestens der geforderte Verlauf der Festigkeitsentwicklung.
- Eine Reduzierung der EB - Beigabe auf unter 4 % bringt einen starken Abfall bei den Frühfestigkeiten bis 30 Minuten, aber einen zufriedenstellenden weiteren Festigkeitsanstieg, d.h. eine EB - Reduzierung für die Sohlbereiche ist möglich.

- Eine Dosierung des BE mit der 1,5 - fachen plan-gemäßen Menge bringt zwar eine Frühfestigkeitsentwicklung, doch an den gezogenen Kernen ist eine "verbrannte" Struktur des Spritzbetons erkennbar.
- Daraus ergibt sich, daß die max. Dosierung des EB's auf 7 % zu beschränken ist.

Mit einer EB-Mittel Dosierung von 6,3 % wurde die im Bild 4 ersichtliche Frühfestigkeitsentwicklung erzielt, die auch im laufendem Betrieb erreicht wird. Die 7 und 28 Tage Druckfestigkeit ist gegenüber der Verwendung von alkalihaltigen Beschleunigern sehr hoch.

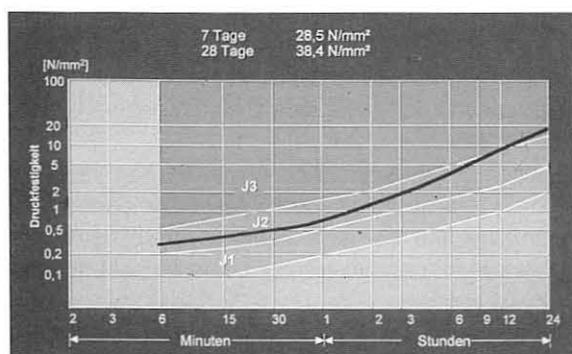


Bild 4: Frühfestigkeitsentwicklung - Spritzbeton

Zum Vergleich wurden auch alkalihaltige Beschleuniger mit reduziertem Alkaligehalt (ca. 14 %), die in Deutschland mit der Bezeichnung "alkaliarme Beschleuniger" versehen werden, versucht. Dabei möchte ich vorausschicken, daß zum Zeitpunkt der Festlegung für die eingesetzten Rezepturen kein diesbezügliches Mittel mit zufriedenstellendem technischen Erfolg gefunden wurde.

Der für Trinkwasserschutzzonen erforderliche Nachweis des geforderten Na_2O - Äquivalentes von max. 1,3 % bezogen auf die Zementmasse ist, im Gegensatz zu alkalihaltigen, für die alkaliarmen Beschleuniger in Kombination mit ausgewählten Zementen möglich, jedoch sind aus Gründen des Gewässerschutzes bei Anwendung laufend folgende Nachweise erforderlich:

- Nachweis der Wasserundurchlässigkeit des Spritzbetons am Bauwerk
- laufende Überprüfung der Alkaligehalte von Zement, Zuschlagstoffen und Zusatzmittel durch eine anerkannte Prüfstelle
- Überwachung der Zugabemenge an EB durch eine Fremdüberwachung

- Es muß stets sichergestellt sein, daß der Gesamtgehalt der Alkalien im Beton, ermittelt als Na_2O -Äquivalent der Betonausgangsstoffe 1,30 % nicht überschreitet

Diese Nachweise sind unter baupraktischen Bedingungen nur erschwert zu führen.

Damit kam der aufwendige Genehmigungs- und Nachweisprozeß für den Tunnel Dernbach nicht in Frage.



Bild 5: Spritzarbeiten im Bereich der Kernkalotte - Ulmenstollenvortrieb

Hinsichtlich der Geräteausstattung war von vornherein klar, daß nur eine maschinelle Verarbeitung mit Manipulatoren unter Wahrung von Typenreinheit auf der gesamten Baustelle in Betracht kommt. Die unterschiedlichen geometrischen Anforderungen aus dem Kalotten- und Ulmenstollenvortrieb müssen dabei erfüllt werden.

Hier wurde am Tunnel Dernbach ein Kompromiß zwischen Technik und Geld getroffen, weil man feststellen kann, daß alle auf dem Markt verfügbaren Geräte durchaus geeignet sind.

Unsere eingesetzten Manipulatoren sind mit einer am Gerät befindlichen Kompressoreinheit ausgestattet, d.h. sie benötigen keine separate, externe Luftversorgung, verfügen über den neuesten Stand der Dosiertechnik und sind mit Düsen ausgestattet, die eine - im Sohlbereich bereits laufend eingesetzte - erzielbare Leistung von $30\text{m}^3/\text{Stunde}$ und Düse zulassen.

Bisher sind beim Tunnel Dernbach rd. 35.000 m^3 Naßspritzbeton unter Zugabe von alkalifreiem Beschleuniger verarbeitet worden. Die im Zuge der Vorversuche festgestellten Bedingungen haben sich bestätigt und bewährt. Es können folgende Erfahrungen zusammengefaßt werden:

- Naßspritzbeton ist ein sensibles Produkt, woran auch die Beigabe von alkalifreiem Beschleuniger

- nichts ändert. Die Ausgangsmischung darf sich nur innerhalb sehr enger Bandbreiten ändern.
- Bei den Baustellenabläufen sind zusätzliche Überwachungen vorzunehmen, dies betrifft insbesondere die Kontrolle der
 - Ausgangsmischung vor jeder Verarbeitung auf Ausbreitmaß und Frischbetontemperatur
 - sowie laufende Kalibrierung der Zusatzmittelpumpen
 - Nachweis der Entleerung der Fahrmischertrommel, besonders von Waschrückständen
 - Die Disposition der Betonanlieferung muß klaglos funktionieren, d.h. hier sind zum einen durch einen möglichst verarbeitungsnahen Standort der Mischanlage die Voraussetzungen zu schaffen, zum anderen stellt das Produkt Naßspritzbeton auch erhöhte Anforderungen an die Poliere und die vor Ort tätigen Mineure. Fehlmengen sind ebenso wie Verzögerungen kostenintensiv.
 - Das Personal der Betonanlage und die Mineure müssen entsprechend qualifiziert sein und laufend geschult werden.
 - Die Verarbeitungsgeräte sind intensiv zu reinigen und zu warten, denn es handelt sich um Betonpumpen.
 - Der alkalifreie Beschleuniger ist ausreichend lagerfähig, dennoch sind bei der Lagerung Randbedingungen zu berücksichtigen. Beim Tunnel Dernbach wird im Winter das EB - Mittel in wärmedämmten, beheizbaren Containern mit 20.000 Liter- Tanks gelagert. Die besonderen Auflagen für Trinkwasserschutz zonen sind damit erfüllbar.
 - Die Anlieferung erfolgt mit Sattelzügen. Die Verteilung auf der Baustelle ab Tank zu den einzelnen Manipulatoren erfolgt mit einem dafür adaptierten Tankwagen.
 - Die wesentlichen Vorteile des alkalifreien Beschleunigers liegen im geringen Festigkeitsabfall zwischen Nullbeton und beschleunigtem Beton. Die vom Bauwerk gezogenen Betonkerne zeigen 28 Tage-Festigkeiten von rd. 38 N/mm³.
 - Damit könnte auch bei den statischen Berechnungen von dieser erhöhten Serienfestigkeit ausgegangen werden, womit letztendlich Spritzbetonstärke und Bewehrung gespart werden kann.
 - Durch die hohen Festigkeiten bzw. den sehr günstigen Festigkeitsverlauf ergeben sich beim Tunnel Dernbach trotz schwierigster Geologie günstige Setzungswerte, die ebenfalls den Einsatz von erhöhtem Sicherungsaufwand vermeiden helfen.
 - Der Festigkeitsverlauf bei dem eingesetzten alkalifreien Beschleuniger und generell die aus betontechnologischer Sicht günstigen Verhältnisse beim Naßspritzbeton ermöglichen die Ausschöpfung der maschinentechnisch erreichbaren Durchsatzmengen mit bis zu 30 m³/h und Düse. Dies bringt letztendlich bessere Vortriebsleistungen.
 - Aus diesen genannten Gründen können auch die Auftragsstärken in einem Arbeitsschritt sehr hoch sein und die Rückprallwerte sind ebenso wie die Werte für Verschleiß und Betrieb im Vergleich zu anderen Systemen niedriger.
 - Aus arbeitshygienischer Sicht werden die Vorteile des alkalifreien, flüssigen Beschleunigers besonders deutlich:
 - durch die offensichtlich etwas verzögerte Wirkung des Beschleunigers unmittelbar nach Reaktionsbeginn entsteht weniger Staub, auch im Vergleich zu Naßspritzbeton mit alkalihaltigem Beschleuniger.
 - die weder ätzende noch reizende Zusammensetzung des alkalifreien Beschleunigers wird von den Mineuren im Vergleich positiv aufgenommen.
 - Letztendlich wird derzeit von den zuständigen Arbeitsschutzverwaltungen der Einsatz alkalifreien Beschleunigers sehr begrüßt, was die Diskussion bei anderen, auch schwierigen Problemen etwas erleichtert.



Bild 6: Spritzarbeiten im Kalottenvortrieb



Bild 7: Tunnel Dernbach - Zwischenangriff, Blick von Vortrieb Nord Richtung Vortrieb Süd

- Die betontechnologischen Vorteile des Naßspritzbetons in der geschilderten Kombination mit dem alkalifreien Beschleuniger und den daraus resultierenden geringen Festigkeitsabfällen des beschleunigten Spritzbetons wurden bereits erwähnt.

Ein Nachteil des alkalifreien Beschleunigers ist der derzeit noch hohe Preis im Vergleich zum alkalihaltigen EB.

Alle weiteren Faktoren für einen technisch und wirtschaftlich sinnvollen Einsatz des alkalifreien EB's liegen in den für Naßspritzbeton bekannten Umständen, wonach die in den Ausführungen genannten Randbedingungen im wesentlichen erfüllt sein müssen.