

---

# Praxiserfahrungen - Zammer Tunnel

---

PRACTICAL EXPERIENCES - ZAMMER TUNNEL

JOHANN HERDINA, INNEREBNER & MAYER GMBH, INNSBRUCK; KLAUS MITTEREGGER, BETON- UND MONIERBAU GMBH, INNSBRUCK

Am 2.334 m langen Zammer Tunnel wurde vom Bauherrn ÖBB auf Grund des Abfallwirtschaftsgesetzes und des Arbeitnehmerschutzgesetzes Spritzbeton im Trocken- und Naßspritzverfahren unter Verwendung von alkalifreien Beschleunigern zwingend ausgeschrieben. Die ausführende Arge entschloß sich für das Trockenspritzverfahren, Spritzbetonbindemittel mit eigenfeuchten Zuschlägen vor Ort in einer neuen Anlage zu mischen und zu verarbeiten.

Für die Anwendung des Naßspritzbetons wurde ein Spritzmobil eingesetzt und der in einer Baustellenmischanlage hergestellte Beton mit pulverförmigen Beschleuniger verarbeitet.

Die Autoren gehen auf die praktischen Probleme und Erfahrungen mit den beiden eingesetzten Systemen ein und versuchen anhand von Analysen von Abschlagszyklen und Kostenvergleichen die Wirtschaftlichkeit der beiden Systeme zu beleuchten.

*Based on the Waste Management Act and the Protection of Labor Act, the Austrian Federal Railways, the owner of the structure, stipulated in the tender documents for the 2,334 m-long Zammer Tunnel the obligatory application of dry- and wet-mix shotcrete with alkali-free accelerators. The joint venture winning the tender opted in favor of the dry-mix method, i.e. to mix and produce shotcrete with moist aggregates on site in a plant..*

*For the wet-mix method a shotcreting vehicle was used, and to the concrete prepared in a site mixing plant powdery accelerator was added.*

*The authors deal with practical problems and experiences with the two systems used and based on the analysis of advance cycles and cost comparisons try to assess the economic viability of the two systems.*

Zu diversen Anlässen wurde bereits in mehreren Vorträgen von prominenten Herren über die Erfahrungen mit der Verwendung von alkalifreien Beschleunigern am Projekt Zammer Tunnel berichtet. Mittlerweile ist es wohl auch in den Fachkreisen der Tunnelbauer Allgemeingut, daß sowohl die Herstellung von Naßspritzbeton als auch Trockenspritzbeton mit alkalifreien Beschleunigern eine bewährte und gut funktionierende Technologie darstellt und das Endprodukt bei beiden Verfahren eine hervorragende Qualität aufweist. Jedem verantwortungsbewußten Ausschreibenden und Ausführenden ist es klar, daß rein aus Arbeitssicherheits- und Arbeitshygiene Gründen die Verwendung alkalihaltiger Beschleuniger nicht mehr in Frage kommt und im Prinzip

gemäß Arbeitnehmerschutzgesetzen weder in Österreich noch in anderen Staaten zulässig ist. Damit müssen die recht häufigen Unfälle unserer Mineure mit den ätzenden Zusatzmitteln endgültig der Vergangenheit angehören.

Wir möchten in diesem Beitrag nur sehr kurz und in den wesentlichsten Zügen auf die verwendeten Verfahren eingehen und dann ein Hauptaugenmerk auf einen kurzen Vergleich über die Kosten und die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren legen. Auf Grund der Möglichkeit zwei Verfahren parallel auf einer Baustelle zu verwenden, ergaben sich für diesen Vergleich sehr gute Voraussetzungen. Ferner ist es im Hinblick auf die bevorstehenden Großtun-

nelbaumaßnahmen, besonders auf die NBS - Köln - Rhein Main eine mögliche Entscheidungshilfe, da sich wohl diese beiden Anwendungsvarianten direkt konkurrieren werden.

Allgemeine Angaben zum Projekt Zammer Tunnel:

Bauherr:	Österreichische Bundesbahnen
Ausschreibung:	Frühjahr 1993
Baubeginn:	Mai 1994
Vortriebsbeginn:	September 1994
Vortriebsende:	August 1995
Tunnellänge:	2.334 m
Westvortrieb:	Felsgestein ca. 1.800 m (Naßspritzverfahren)
Ostvortrieb:	Lockergestein ca. 300 m (Trockenspritzverfahren)

Die Österreichischen Bundesbahnen haben bei Ihrer Ausschreibung entsprechend dem Abfallwirtschaftsgesetz 1990 und dem Arbeitnehmerschutzgesetz folgende Bedingungen in die Ausschreibung aufgenommen:

- Ausschließliche Verwendung von alkalifreien Beschleunigern für alle Spritzbetonsorten.
- Verwendung von Naßspritzbeton beim Felsvortrieb (Vortrieb Ost) zur Minimierung des Rückpralls und damit geringstmögliche Spritzbetonmengen im Ausbruchsmaterial, das deponiert werden mußte.
- Verwendung von Trockenspritzbeton beim Vortrieb im Lockermaterial (Vortrieb West).

Nach diversen erforderlichen Versuchen und doch auch einigen Umstellungen kamen folgende Mischungen zur Anwendung:

#### Naßspritzbeton: Ostvortrieb

350,0 kg/m<sup>3</sup> Zement PZ 375 F20 TZ2  
 60,0 kg/m<sup>3</sup> Flual  
 195,0 lt./m<sup>3</sup> Gesamtwassermenge  
 6,0 % Sigunit 49 AF  
 1,1 % Sikament 10 HRB - Fließmittel  
 1.770,0 kg/m<sup>3</sup> Zuschläge, 60 % - 0/4 und 40 % - 4/8

#### Trockenspritzbeton: Westvortrieb

370,0 kg Spritz-Bindemittel der Fa. Leube  
 1.840,0 kg feuchte Zuschläge, Mischkies 0/11  
 gemischt in der Mobilcrete-Anlage der Fa. SSK

Beim Naßspritzverfahren kam ein Spritzbetonroboter Normet-Spraymec, der sich bereits am Schmittentunnel bewährt hatte, zum Einsatz. Der pulverförmige Beschleuniger wurde über eine Aliva-Trockenspritz-Rotormaschine vom Typ 246 in den Dichtstrom dosiert.

Diese Dosiereinheit war am Spritzmobil aufgebaut und wurde durch ein Beschleunigungsrohr am Spritzarm ergänzt. Bei diesem Beschleunigungsrohr, mit einem Durchmesser von 60 mm - wurde am Anfang mit Luftzufuhr der Dichtstrom aufgerissen. Am Ende des Rohres wurde das Luft-Beschleuniger-Gemisch zugegeben und gleichzeitig die Förderleitung auf 65 mm aufgeweitet. Mit diesem System

ergab sich eine zufriedenstellende Durchmischung bei einem Luftbedarf von ca. 12 m<sup>3</sup>/min.

Beim Trockenspritzen werden in der „Mobilcrete-Anlage“ die werksgemischten Zuschlagsstoffe vor Ort mit dem Spritzbetonbindemittel volumetrisch über Taschenräder dosiert und in Förderschnecken bzw. auch im Förderschlauch gemischt. Als Spritzmaschinen wurden 2 Schürenberg (C1) Maschinen mit einer Nennleistung von jeweils 10 m<sup>3</sup>/Std eingesetzt.

Vorteile der zwei angewendeten Verfahren:

#### Naßspritzverfahren:

- hohe Endfestigkeiten: 28 Tage zwischen 49 - 52 N/mm<sup>2</sup>  
56 Tage zwischen 59 - 64 N/mm<sup>2</sup>
- gleichmäßige Festigkeitsentwicklung
- geringer Rückprall ca. 10 - 15 %
- weniger Staubentwicklung, weitere Verbesserung durch flüssige BE-Mittel möglich

#### Trockenspritzverfahren:

- problemloses Mischen vor Ort
- ständige Verfügbarkeit
- keine Restmengen
- hohe Spritzbetonleistung
- keine Dosierungsprobleme
- hohe Endfestigkeiten: 28 Tage zwischen 42 - 46 N/mm<sup>2</sup>
- gleichmäßige Festigkeitsentwicklung

Probleme der zwei angewendeten Verfahren:

#### Naßspritzverfahren:

- Anlaufschwierigkeiten: Stopfer
- Hohe Anforderung an Sieblinie und Zuschlagsstoffe
- Abhängigkeit von einem Gerät (Spritzmobil) - neues bzw. neuwertiges Gerät erforderlich
- bekannte Nachteile von pulverförmigen Beschleunigern, Lagerung, Schwund, etc.
- etwas mehr Überhöhung erforderlich, wegen höherer Spritzleistung keine so ebenen Oberflächen.

#### Trockenspritzbeton:

- Eigenfeuchte genau einzuhalten
- Trockenanlage (Heizanlage) auf der Baustelle eventuell erforderlich
- Einhausung für das Kieslager erforderlich
- ein Ruhen des Betons zwischen 2 bis 9 Stunden (**Bild 1**)

Diese erzielbare Spritzbetonqualität mit den gleichmäßig hohen Endfestigkeiten eröffnet sichtlich Möglichkeiten in Richtung Optimierung der Schalenstärken - einschalige Bauweisen etc., birgt aber einige praktische Nachteile:

Versuchen sie einmal einen B 40 bis B 60 nachzuprofilieren. Das ist mindestens genauso schwierig wie beim Stahlfaserspritzbeton! Es stellt sich auch die Frage, ob ein Nachprofilieren bei solchen Betonqualitäten überhaupt sinnvoll ist.

Versuchen sie eine Folienisolierung mittels Rondellen auf einem Beton dieser Qualität zu befestigen.

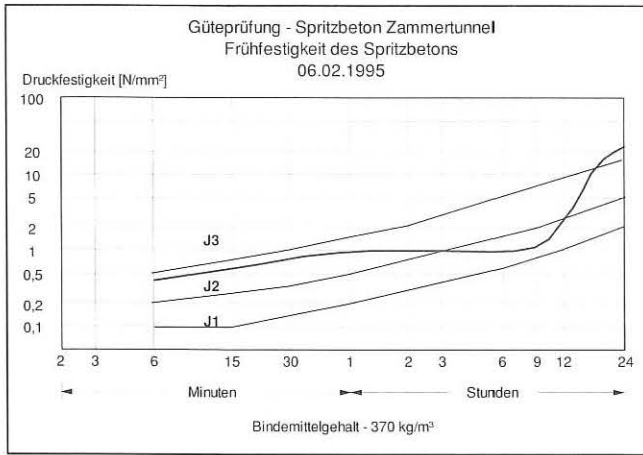


Bild 1: Beispiel einer Güteprüfung mit extremem Ruhen des Betons

Sicherlich zwei lösbare Probleme, aber doch beim Einsatz dieser Verfahren zu berücksichtigen.

Nun aber zum Kern des Vortrages, zur Beleuchtung der wirtschaftlichen Seite im Vergleich der beiden Spritzverfahren.

Erstens haben wir uns bemüht, aus den Baustellenaufzeichnungen effektive Spritzleistungen zu ermitteln. Unter effektiven Spritzleistungen sind die Leistungen inkl. aller Rüstzeiten und aller erforderlichen Zeiten für die Behebung von Problemen wie Stopfer und durchgescheuerte Spritzleistungen etc.

**Bild 2** zeigt die erreichten Spritzleistungen im Trockenspritzverfahren im Lockergesteinsvortrieb. Hier waren naturgemäß viele Spritzvorgänge mit kleineren Mengen pro Vorgang maßgebend und es wurde je nach Erfordernis auch nur mit einer Düse gespritzt.

Wie Sie dem **Bild 2** entnehmen können, liegen die Leistungen zwischen 5,5 m<sup>3</sup>/h und einem Maximum von 9,3 m<sup>3</sup>/h mit einem häufigsten Mittelwert von 6,7 m<sup>3</sup>/h.

Hiezu sei noch ergänzt, daß die Leistungen sicherlich bei größeren Spritzmengen pro Vorgang noch erhöht werden könnten.

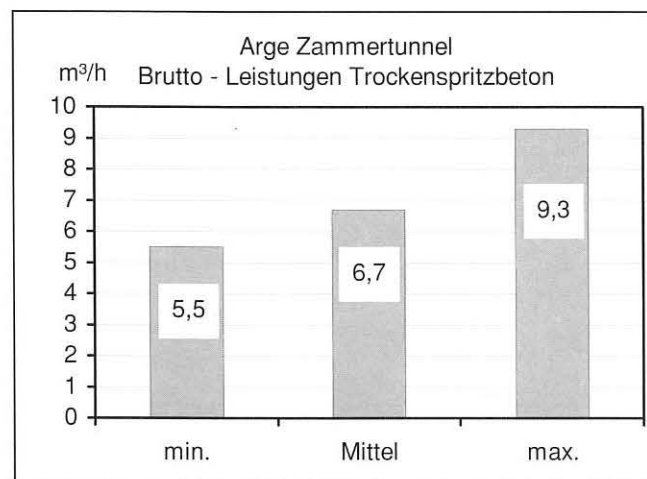


Bild 2: Brutto - Leistungen beim Mobilcrete-Verfahren

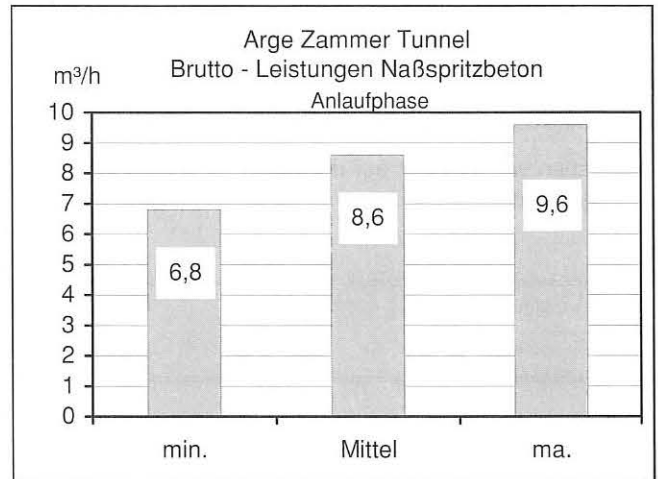


Bild 3: Brutto - Leistungen beim Naßspritzverfahren in der Anlaufphase

**Bild 3** veranschaulicht die Leistungssteigerung beim Naßspritzen in der Anlaufphase, wobei in dem erreichten Wert von 6,8 m<sup>3</sup>/h im ersten Monat die tageweisen Behinderungen durch Ausfälle, Versuche und Umstellungen nicht berücksichtigt sind. Wir wollen Ihnen hiermit nur zeigen, daß beim Naßspritzen die erwähnten Anlaufschwierigkeiten nachweisbar einen negativen Einfluß auf die Leistungen und damit Kosten haben.

In weiterer Folge konnte ein logischer Zusammenhang zwischen der Größe des Spritzvorgangs und der Bruttoleistung abgeleitet werden (**Bild 4**). Demnach ergibt sich bei einem Spritzvorgang von 10 m<sup>3</sup> eine mittlere Leistung von 8,6 m<sup>3</sup>/h, bei einem Spritzvorgang von 19 m<sup>3</sup> eine mittlere Leistung von 12,7 m<sup>3</sup>/h. Eine Spritzbetonmenge von 19 m<sup>3</sup> pro Vorgang ist sicherlich ein maximal möglicher Wert und entspricht einem 3 m Abschlag und 25 cm Spritzbetonstärke in einer Lage.

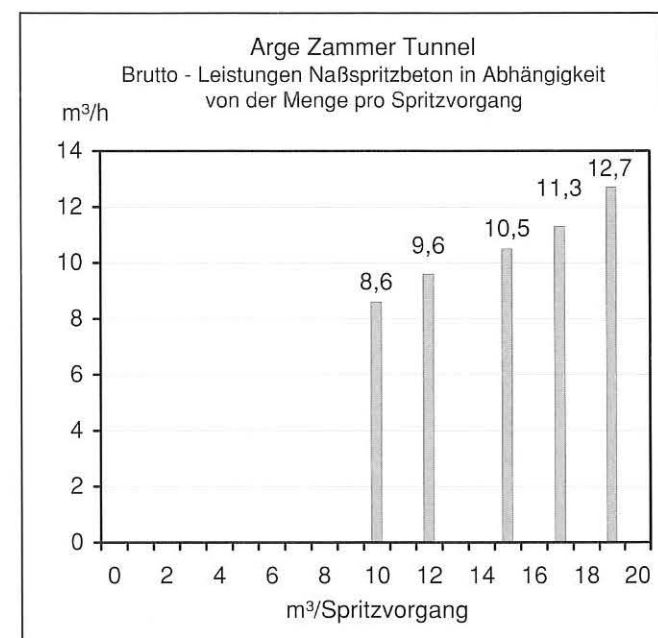


Bild 4: Zusammenhang zwischen Brutto-Leistung und Spritzbetonmenge pro Vorgang

Diese Werte wurden aus einer Vielzahl von Tagesdiagrammen ermittelt, sind demnach mit dem Faktor „Poliergenauigkeit“ behaftet, wodurch der eine oder andere Sprung in einer möglichen Kurve erklärbar ist.

Nun haben wir versucht auf der Basis dieser Leistung und unter der Annahme von 25 cm Spritzbetonstärke in einer Art

Musterposition die effektiven Kosten der beiden Verfahren zu vergleichen.

Diese Musterpositionen wurden in einer Bausteinkalkulation kalkuliert und in **Bild 5 und 6** vergleichen wir die Materialkosten der einzelnen Materialbausteine für die beiden Verfahren.

AKTIVITÄTENLISTE	Firma :	FORMBLATT KS	Seite: 1
Angebotenummer:	Bauvorhaben : Vortrag Igls	Preisbasis :	

BMNR.	B E Z E I C H N U N G	EM					
BMNR:	BEZEICHNUNG	ANSATZFORMEL	ANSATZ EM	STUNDEN	KOSTEN	PREIS	
A07365A	SPB 011 SPRITZ BINDEM.	M3					
M01029	SPRITZ-BINDEMITEMEL	0,370	0,3700 TO		666,00	712,62	
M02995	GERÄTE*WARTUNG SPRITZ-BINDEM.	1	1,0000 M3		327,00	349,69	
M04019	MISCHKIES 0/11 /TO	1,840	1,8400 TO		206,47	220,92	
M94120	WASSER KOSTEN/ M3	0,25	0,2500 M3		2,50	2,68	
I	MOBILCRETE						
M42003	EL. STROM UT-SICHERUNG	80/20	4,0000 KW		6,00	6,42	
I	RADLADER						
M41004	DIESEL/SCHM-M/SICHEG	87*,15/5,5*0,40	0,9491 LT		8,07	8,63	
M27501	VERSCHLEISST. GERÄT	5	5,0000 ÖS		5,00	5,35	
M27503	VERSCHLEISST. SPRITZB	1	1,0000 M3		60,00	64,20	
					1.201,04	1.370,71	

Bild 5: Materialbaustein für Spritzbindemittel

AKTIVITÄTENLISTE	Firma :	FORMBLATT KS	Seite: 1
Angebotenummer:	Bauvorhaben : Vortrag Igls	Preisbasis :	

BMNR.	B E Z E I C H N U N G	EM					
BMNR:	BEZEICHNUNG	ANSATZFORMEL	ANSATZ EM	STUNDEN	KOSTEN	PREIS	
A07365A	NAB SPRBT 0-8/E/M3	M3					
M010011	TUNNELZEMENT PZ 375 T22	,350	0,3500 TO		423,85	453,52	
M01009	FLUAL FLUGASCHE	,060	0,0600 TO		48,60	52,00	
M04030	GETR. KORN 0/4 /TO	1,062	1,0620 TO		121,07	129,54	
M04031	GETR. KORN 4/8 /TO	,708	0,7080 TO		68,32	73,10	
M94120	WASSER KOSTEN/ M3	,195	0,1950 M3		1,95	2,09	
M03014	SIGUNIT 49 AF	,06*410	24,6000 KG		369,00	394,83	
M03020	SIKAMENT 10 HRB	,011*410	4,5100LT		72,84	87,94	
I	MISCHANLAGE						
M02996	ANTEIL GERÄTE MISCHANLAGE	1	1,0000 M3		107,00	114,49	
M42003	EL. STROM UT-SICHERUNG	35/20	1,7500 KW		2,63	2,81	
I	SPRBET-FAHRZEUG						
M41004	DIESEL/SCHM-M/SICHEG	160*,15*2/20	2,4000 LT		20,40	21,83	
M27501	VERSCHLEISST. GERÄT	2	2,0000 ÖS		2,00	2,14	
M27503	VERSCHLEISST. SPRITZB	1	1,0000 M3		60,00	64,20	
					1.297,66	1.388,49	

Bild 6: Materialbaustein für Naßspritzbeton

PREISERMITTLUNG		Firma :	K7 - BLATT		Seite: 1	
Angebotenummer:		Bauvorhaben :	Vortrag Iglis		Preisbasis :	
Positionsr.						
	Kostenentwicklung		Ansatzmenge EH	Preis / EH	Lohn	Sonstiges Einheitspreis
23 41 1A	E2555 1,00 M2		SPRIBET B225 Spritz-Bindemittel	5,5 m3/h		
#	a1=(25*5)'cm SprBet'/100		0,300000			
#	a2=25'% Rückprall.'/100+1		1,250000			
#	l=5,5 'm3/h Leistung'		5,500000			
A07365A	a1*a2 ;SPB 011 SPRITZ BINDE		0,3750 M3	1370,71		514,01 514,01
A23005	a1*a2 ;STD SPR-BET.RQ /M3		0,3750 M3	428,00	160,50	160,5
A23001	a1*a2 ;KWH SPR-BET.RQ /M3		0,3750 KW	41,73		15,65 15,65
	*** TEILSUMME		0,3409 H		160,50	529,66 690,16
E zusätzliche Geräte						
G61050	2*a1*a2/1 ;SCHR.ROT.KOMPR.ST20		0,1364 HR	53,08	1,48	5,76 7,24
G25503	2*a1*a2/1 ;BET.SPRETZGER.TR10M3		0,1364 HR	78,01	2,14	8,50 10,64
	*** TEILSUMME		H		3,62	14,26 17,88
E allgemien Baustellenkosten						
G10110	a1*a2/1 ;VORHALTEKOSTEN ALLGE		0,0382 HR	5350,00		364,87 364,87
23 41 1A	E2555 Einheitspreise je M2		0,3409 Stunden		164,12	908,79 1.072,91
	1,00 M2		0,3409 Stunden		164,12	908,79 1.072,91

Bild 7: Musterposition für Spritzbindemittel und einer Spritzleistung von 5,5 m<sup>3</sup>/Std

PREISERMITTLUNG		Firma :	K7 - BLATT		Seite: 1	
Angebotenummer:		Bauvorhaben :	Vortrag Iglis		Preisbasis :	
Positionsr.						
	Kostenentwicklung		Ansatzmenge EH	Preis / EH	Lohn	Sonstiges Einheitspreis
23 41 1A	N 25 6 1,00 M2		Naß-SPRIBET B225 25cm Eigenm.	6,8 m3/h		
#	a1=(25*10)'cm SprBet'/100		0,350000			
#	a2=10'% Rückprall.'/100+1		1,100000			
#	l= 6,8 'm3/h Leistung'		6,800000			
A07373	a1*a2 ;Naß SPRBET 0-8/E/M3		0,3850 M3	1388,49		534,57 534,57
A230051	a1*a2 ;STD NAB-SPRBET.RQ /M3		0,3850 M3	346,18	133,28	133,28
A230011	a1*a2 ;KWH NAB-SPRBET.RQ /M3		0,3850 KW	18,61		7,16 7,16
	*** TEILSUMME		0,2831 H		133,28	541,73 675,01
E zusätzliche Geräte						
G61045	a1*a2/1 ;SCHR.ROT.KOMPR.ST.9		0,0566 HR	29,05	0,34	1,31 1,64
G25520	a1*a2/1 ;BETONSPRITZMOBIL		0,0566 HR	805,61	11,73	33,87 45,60
G24506	a1*a2/1*2 ;FAHRMISCHER GM3ALLR		0,1132 HR	229,93	6,51	19,52 26,03
	*** TEILSUMME		H		18,58	54,70 73,28
E allgemien Baustellenkosten						
G10110	a1*a2/1 ;VORHALTEKOSTEN ALLGE		0,0556 HR	5350,00		302,81 32,81
23 41 1A	E2555 Einheitspreise je M2		0,2831 Stunden		151,86	899,24 1.051,10
	1,00 M2		0,2831 Stunden		151,86	899,24 1.051,10

Bild 8: Musterposition für Naßspritzbeton und einer Spritzleistung von 6,8 m<sup>3</sup>/Std

Wie sie aus **Bild 9** entnehmen können, ergibt sich, daß der Trockenspritzbeton in jedem Fall wirtschaftlicher ist als das Naßspritzverfahren.

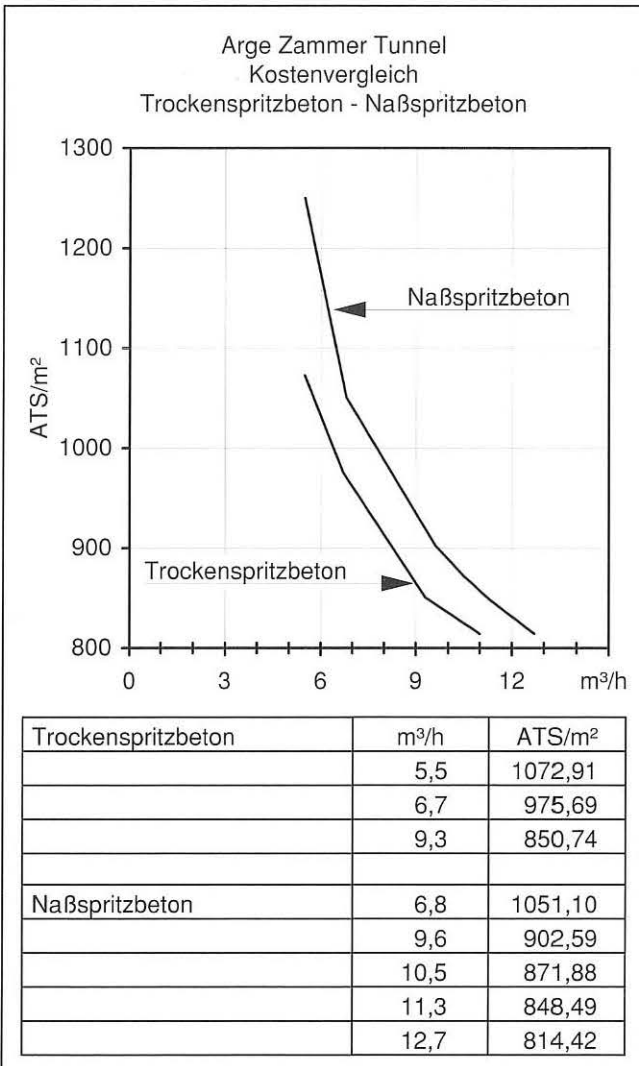


Bild 9: Gegenüberstellung der Kosten Naßspritzbeton zu Trockenspritzbeton (Mobilcrete)

Die Kosten für das Ausgangsprodukt sind fast gleich,

trocken	naß
1.370,71 ATS/m³	1.388,49 ATS/m³

nur die Kosten für die erforderlichen Zusatzgeräte führen im Endeffekt zu einer Preisdifferenz.

Hauptsächlich ergibt sich aber die Differenz aus den getroffenen Annahmen für Mehrstärken und Rückprall. Natürlich gilt auch hier das Motto: Kein Vergleich der nicht hinkt und der nicht Raum für Diskussionen läßt.

Wir möchten auch betonen, daß die Vergabe der Leistungen im Frühsommer 1994 erfolgte und somit Preisänderungen bzw. Reduktionen besonders bei dem Spritz-Bindemittel nicht berücksichtigt sind.

Weitere Punkte die beim Vergleich noch zu berücksichtigen wären:

- Das Naßspritzen kann das Trockenspritzen in einem Lokergesteinsvortrieb nicht ersetzen, da viel zu viele Spritzvorgänge mit Kleinmengen durchzuführen sind.
- Das Trockenspritzen kann sehr wohl anstelle des Naßspritzens im Festgesteinsvortrieb verwendet werden, da mit leistungsfähigen Spritzmaschinen und dem Einsatz von zweiarmigen Spritzmobilen sehr hohe Leistungen erzielt werden können.
- Das Trockenspritzen ist flexibler, da bei dem Einsatz von nur einer Spritzdüse auch parallele Arbeiten möglich sind und somit effektiver gearbeitet werden kann.
- Beim Naßspritzen ergibt sich infolge der hohen Leistungen, die nur mit einer Spritzdüse verarbeitet werden, das Problem des Auftragens von unvermeidbaren Mehrstärken und damit die Erfordernis von größeren Überhöhungen und Betonmehrverbräuchen.

Wir hoffen mit unseren Ausführungen einige Aufschlüsse für die Verwendung von alkalifreien Spritzbetonen gegeben zu haben. Bewußt wurde hier auch subjektive und spezielle Baustellenerfahrungen eingearbeitet.

Rückblickend betrachtet ist dem Auftraggeber - den Österreichischen Bundesbahnen - wirklich für seine Weitsicht und seinen Mut zu danken, in die Ausschreibung des Jahres 1993 bereits diese Spritzbetontechniken aufgenommen zu haben.

Damit haben die Bundesbahnen einen Technologieschub initiiert und vor allem für die Mitarbeiter im Tunnelbau viel zur Verbesserung der Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz beigetragen.