

---

# SPRITZBETON - Das Naßspritzverfahren unter Berücksichtigung von Qualität, Rückprall und Staub

---

SHOTCRETE - THE WET-MIX METHOD WITH SPECIAL EMPHASIS ON QUALITY, REBOUND AND DUST

DR. ING. H.C. RUDOLF AMBERG, AMBERG INGENIEURBÜRO, SARGANS, SCHWEIZ

Die Entwicklungen auf dem Gebiet des Naßspritzbetons in den vergangenen zwei Jahren.

Microsilica-Beigaben in Pulverform oder als Emulsion und deren Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften und die Dichtigkeit.

Die Wirkung von Beschleunigern. Neuartige Zusatzmittel.

Untersuchungsergebnisse bezüglich Rückprallmengen in Abhängigkeit von den Zusatzmitteln auf gesprengten oder gebohrten Felsflächen.

Die Staubentwicklung. Vergleiche an Staubuntersuchungen beim Trocken- und Naßspritzverfahren. Erreichbare Staubkonzentrationen. Ausblick auf die Tunnelbaupraxis.

*Developments with regard to wet-mix shotcrete during the past two years.*

*Admixture of microsilica - in powder form or as slurry - and its effects on strength and tightness.*

*The effects of accelerators. New admixtures.*

*Test results concerning rebound and the influence of admixtures on blasted or drilled rock surfaces.*

*Dust formation. Comparison of the dry-mix and the wet-mix methods. Maximum dust concentration. Outlook for tunneling.*

Obwohl das Spritzbetonverfahren älter und damit schon länger bekannt ist, hat es sich eigentlich erst in den Nachkriegsjahren zuerst im Kraftwerkstollenbau und anschliessend in zunehmendem Masse im Verkehrstunnelbau verbreitet und durchgesetzt. Vor allem im alpinen Tunnelbau und von dorthier ausgehend wurde es zur Erstellung von Felssicherungen in Kombination mit Ankerungen und Unterstützungsein-

bauten angewendet. Entsprechend der bei den Verkehrstunnelbauten überwiegend üblichen zweischaligen Bauweise betrachtete man die Felssicherung und damit den Spritzbeton als temporäres, für die Bausicherheit notwendiges Hilfsmittel, dessen Wirkung jedoch nicht in die Überlegungen betreffend der Bauwerkssicherheit einbezogen werden mußte. Man konnte daher die Anforderungen bezüglich Qualität und

Langzeitbeständigkeit relativ tief halten. Daneben gab es aber auch einschalige Bauwerke, bei denen die Verhältnisse bezüglich Qualitätsanforderungen genau umgekehrt lagen.

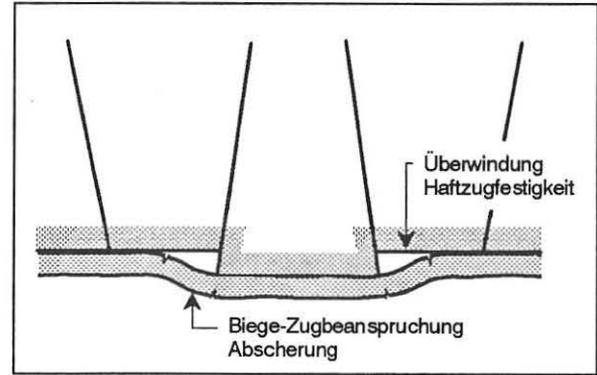
In der Voraussicht, daß bei den kommenden großen, alpinen Eisenbahntunnelbauten überall da, wo es die geologisch-geotechnischen Verhältnisse erlauben, Vollschnitt Tunnelbohrmaschinen eingesetzt werden, ändert und erhöht sich das an die Felssicherungsqualität zu stellende Anforderungsprofil grundsätzlich. Vollschnittmaschinen können nur in kleinem Ausmaß den gebohrten Durchmesser ändern, so daß eine erforderliche höhere Tragkraft des Tunnelausbaus nicht durch eine stärkere Dimensionierung des Innengewölbes erreicht werden kann, sondern durch die Felssicherung jetzt aber permanent erbracht werden muß. Damit rückt die Frage der Spritzbetonqualität in den Mittelpunkt.

Unabhängig davon, ob der gebohrte Tunnel ein- oder zweischalig ausgebaut wird, sind damit Qualitätsanforderungen gestellt, die mit dem bisherigen Naß-Spritzverfahren kaum und mit den üblichen Trockenspritzverfahren nur knapp erreicht werden konnten. Diese Aussage bezieht sich vor allem auf die Wasserdichtigkeit sowie auf die Druckfestigkeitsverminderungen bei Zugabe von Beschleunigern. An die Wasserdichtigkeit sind speziell hohe Anforderungen zu stellen, ist doch der dem Gebirge direkt anliegende Felssicherungs-Spritzbeton einem allfälligen aggressiven Gebirgswasser in jedem Falle direkt ausgesetzt. Hier sei darauf hingewiesen, daß bei den tiefliegenden alpinen Basistunnels mit sehr hohen Wassertemperaturen (40 ° und mehr) zu rechnen ist, was die Aggressivität der zudem stark mineralisierten Wässer beträchtlich erhöht.

Versuche haben zwar klar gezeigt, daß die Wasserdichtigkeit durch das Naß-Spritzverfahren gesteigert werden konnte, aber man sollte auf Grund obiger Ausführungen weitere Verbesserungen anstreben. Je geringer die Wassereindringtiefe gehalten werden kann, umso geringer ist die Wirkung aggressiver Wässer und umso größer ist die Spritzbetonbeständigkeit und damit die Lebensdauer des Gesamttunnelausbaus.

Bezüglich der Druckfestigkeitsverminderung durch die Zugabe von Beschleunigern kommt man zu folgenden Feststellungen:

Obwohl, wie Versuche der Sika AG gezeigt haben, ein Teil des beschleunigerbedingten Festigkeitsverlustes der ersten 28 Tage im Laufe von 2 Jahren und mehr wieder aufgeholt wird, ist die Festigkeitsverminderung eben doch ein Nachteil. Zur Stabilisierung des Hohlraumes durch die Spritzbeton-Felssicherung wird die höhere Festigkeit innerhalb der ersten Stunden bis Tage benötigt und nicht erst nach Jahren.



*Bild 1: Durchstanzen einer Spritzbetonschicht durch einen Klufkörper*

Beim Durchstanzen einer Spritzbetonschicht durch einen Klufkörper wird nach Überwindung der Haftzugfestigkeit Spritzbeton-Fels eine kombinierte Beanspruchung der Spritzbetonschicht auf Biegezug und Abscherung wirksam (Bild 1). Der Widerstand gegen diese Beanspruchung hängt im Moment ihres Auftretens von den in diesem Zeitpunkt erreichten Festigkeiten ab. Demzufolge ist eine Erhöhung der Frühfestigkeiten anzustreben. Der bis dato offenbar bei Zugabe von Beschleunigern unvermeidliche Festigkeitsabfall innerhalb der ersten Tage, muß irgendwie kompensiert werden. Dies kann besonders bei größeren TBM-Querschnitten wichtig werden, weil dort Klufkörper oft erst in einiger Entfernung vom Bohrkopf ausbrechen, während sie beim Sprengvortrieb durch die Sprengung schon im Brustbereich herausgelöst werden.

Hier hat die Beimischung von Microsilica eine akzeptable Lösung gebracht. Sie wurde zuerst beim Trockenspritzverfahren getestet, wobei eine markante 1 bis 2- und 28-Tage-Druckfestigkeitssteigerung verbunden mit einer beträchtlichen Rückprallverminderung festgestellt werden konnte. Die Microsilica-Mehrkosten konnten mehr oder weniger durch die Rückprallverminderung aufgefangen werden. Diese generelle, aber fundamentale Feststellung war der Anstoß für eine ganze Reihe von Versuchsarbeiten in de-

ren Verlauf u.a. auch auf dem Gebiete der Naß-Spritztechnik eine echte Weiterentwicklung erzielt werden konnte. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Druckfestigkeitsentwicklung einer Versuchsreihe, die im Versuchsstollen Hagerbach unter der Leitung der SUVA in Zusammenarbeit mit den Firmen Sika AG und Meynadier AG 1991 durchgeführt worden ist. Die Versuchsberichte wurden durch die SUVA herausgegeben.

Versuchsreihe Nr.	1 Tag N/mm <sup>2</sup>	3 Tag N/mm <sup>2</sup>	28 Tag N/mm <sup>2</sup>	90 Tag N/mm <sup>2</sup>
1 (M1)	13,9	19,8	33,8	-
2 (M2)	17,1	22,4	42,6	-
3 (M3)	16,6	30,1	55,0	-
4 (M4)	-	28,3	48,8	49,0
5 (M5)	-	20,7	35,9	37,9
6 (M6)	-	22,6	25,5	31,3
7 (A)	15,4	19,2	33,9	-
8 (B)	18,2	22,1	41,8	-
9 (C)	19,1	27,6	47,2	-
10 (D)	-	26,5	45,2	47,0
11 (F)	-	25,6	38,5	43,5
12 (G)	-	21,2	31,3	35,2

Tab. 1: Übersicht über die Druckfestigkeitsentwicklung  
 Versuchsreihe Nr. 1 bis 3 und 7 bis 9  
 Korngröße 0 bis 8 mm  
 Versuchsreihe Nr. 4 bis 6 und 10 bis 11  
 Korngröße 0 bis 16 mm

Es ist bekannt, daß die Spritzbetonqualität beim Trockenspritzen von einer großen Zahl von Einflußfaktoren abhängt, die zum Teil sehr variabel sein können. So kann der Düsenführer durch die Wasserdosierung, den Düsenabstand und dem Düsenwinkel zur Spritzfläche, die Spritzhöhe und die in einem Spritzgang aufgetragene Schichtstärke die Qualität des Spritzbetons stärker beeinflussen, als dies durch die Zugabe z.B. eines Beschleunigers oder eines Staubbindemittels möglich ist. Letzteres ist in einer gewissen Bandbreite immerhin experimentell bestimmbar.

Im Gegensatz dazu muß beim Naß-Spritzbeton Dichtstromverfahren ein Manipulator eingesetzt werden, der in der kreisrunden Geometrie eines Vollschnittmaschinen-Ausbruchs die Eigenschaften eines programmierbaren Roboters annimmt. Eine Düsenführung von Hand ist wegen des Rückstoßes auf Dauer nicht mehr möglich. Man kann also sagen, daß die am wenigsten beeinflussbaren, aber die größte Streuwirkung verursachenden Einflußfaktoren beim Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahren zwangsläufig ausgeschaltet werden können.

Diese Zwangsläufigkeit ergibt sich beim Naß-Spritzbeton-Dünnstromverfahren nicht im gleichen Ausmaß.

Versuchsreihe Nr.	Firma	Korngröße Ø	BE-Mittel Aktivator	Hochleistungsverflüssiger	Silica-fume	Stabilisator	Staubbinder u. Rückprallverminderer	28-Tage- Druckfestigkeit (N/mm <sup>2</sup> )
1 (M1)	Meynadier	0 - 8	Aktivator NH 4 %	Rheobuild T 1 %	-	-	-	33,8
2 (M2)	Meynadier	0 - 8	4 %	1 %	Micro-Silica Suspension 10 %	-	-	42,6
3 (M3)	Meynadier	0 - 8	4 %	1 %	10 %	Delvo 0,4 %	-	55,0
4 (M4)	Meynadier	0 - 16	4 %	1 %	10 %	0,4 %	-	48,8
5 (M5)	Meynadier	0 - 16	4 %	1 %	10 %	-	-	37,9
6 (M6)	Meynadier	0 - 16	4 %	1 %	10 %	-	-	35,5
7 (A)	Sika	0 - 8	Sigunit L20 4 %	Sika Tard 902 1 %	-	Sika Trad 902 1 %	-	33,9
8 (B)	Sika	0 - 8	4 %	1 %	Sika-fume Pulver 5 %	1 %	-	41,8
9 (C)	Sika	0 - 8	3 %	1 %	5 %	1 %	Sika-Tell 200 2 %	47,2
10 (D)	Sika	0 - 16	3 %	1 %	5 %	1 %	2 %	47,0
11 (F)	Sika	0 - 16	4 %	1 %	5 %	1 %	-	43,5
12 (G)	Sika	0 - 16	4 %	1 %	-	1 %	-	35,2

- a) 28-Tage-Druckfestigkeit = Mittel aus 10 Bohrkernen die aus der Wand resp. der Spritzkiste entnommen wurden  
 b) Bei den Versuchsreihen Nr. 1-7 wurde mit einer Luftmenge von ca. 8 m<sup>3</sup>/min. gespritzt  
 c) Bei den Versuchsreihen Nr. 3+4 zusätzlich Einbau eines Luftverteilers mit Pulsationsdämpfer  
 d) Bei den Versuchsreihen Nr. 9+10 zusätzl. 2. Schwing-Düse mit Beigabe von 2 % flüss. Staubbinder resp. Rückprallverminderer  
 e) Sika Tard 902 ist zugleich Stabilisator wie Hochleistungsverflüssiger

Tab. 2: Vergleich der 28-Tage Druckfestigkeiten bei Zugabe verschiedener Betonzusatzmittel

Die Voraussetzungen zur Herstellung einer gleichmäßig hochwertigen Spritzbetonfelsensicherung und Auskleidung sind mit dem Dichtstromverfahren gegenüber den übrigen Verfahren wesentlich verbessert (Tab. 2).

Das Problem einer sensorengeführten Spritzdüse für rauhe unebene Felsoberflächen, wie sie in Sprengvortrieben entstehen, wird sicherlich in näherer Zukunft gelöst werden. Damit wäre auch in diesem Falle eine Roboterisierung erreicht. Der Düsenführer wird damit zum Maschinisten und kann von sicheren Bereichen aus und ohne der maximalen Rückprall- und Staubeinwirkung ausgesetzt zu sein, das Spritzgerät steuern.

Der Einsatz mechanischer Spritzgeräte und leistungsfähiger Betonpumpen ermöglichen höhere Spritzleistungen als beim Trockenverfahren, was an sich erwünscht ist. Generell kann man von einer Leistungsverdoppelung sprechen, wodurch die reinen Arbeitskosten gesenkt werden können.

Die Versuche mit Microsilica haben gezeigt, daß mit dessen Beimischung eine deutliche Verminderung des Rückpralls erreicht werden kann. Dieses Ziel wurde schon lange angestrebt einerseits um Material d.h. Zuschlagstoffe und Zement und deren Kosten einzusparen sowie andererseits den Aufwand für den Aufrad des Rückpralls zu verringern.

Diese Einsparungen führen zusammen mit der Mehrleistung nicht nur zu einer Kompensation der Zusatzmittelkosten, sondern zu einer echten Kosteneinsparung. Eine Gegenüberstellung der Spritzverfahren zeigt die wesentlich höhere Leistung des Naß-Spritzbetonverfahrens. (Tab. 3)

Herr Dr. G. Bracher (Sika AG) gibt folgende Rückprallwerte beim Trockenspritzen an:

	Rückprall %
Spritzbeton ohne Zusatzmittel	15 - 25
Spritzbeton mit pulverförmigem Microsilica 8 %	10 - 20
Spritzbeton mit Microsilica-Slurry 15 %	8 - 15

Neueste Untersuchungen mit auf 5 % bzw. 10 % reduzierter Zusatzmenge (beim Slurry beträgt der Feststoffanteil ebenfalls 5 %) bei max. 6 bar Druckluft sinken diese Werte nochmals um 2 - 5 %. Es hat sich gezeigt, daß ein steigender Preßluftdruck zu einer Vergrößerung des Rück-

pralls und der Staubeentwicklung führt. Optimale Werte werden bei einem Preßluftdruck zwischen 4 und 5 bar erreicht.

Beim Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahren lassen sich diese Werte nochmals reduzieren. Zwischen pulverförmigem und slurryförmigem Microsilica verwischen sich die Unterschiede, aber es lassen sich Rückprallwerte zwischen 3 und 10 % erreichen. Auch hier liegt der optimale Preßluftdruck zwischen 4 - 5 bar.

Man kann also davon ausgehen, daß beim Einsatz von Spritzbetonrobotern in kreisförmigen TBM-Querschnitten die Rückprallwerte echt auf einem Minimum von wenigen Prozenten gehalten werden können.

	Trockenspritzbeton	Naßspritzbeton
Einheit (Materialmenge)	m <sup>3</sup> Trockengemisch (~ 1 450 kg)	m <sup>3</sup> Beton (~ 2 350 kg)
Pumpe	z.B. Aliva, Meyco	z.B. Schwing
Förderung	Druckluft	Dichtstrom
Förderleitung	Ø 40 - 50 mm	Ø 60 - 80 mm
Düsenführung in der Regel	von Hand	Manipulator
Förderleistung/ Stunde	3 - 6 m <sup>3</sup> TG	8 - 15 m <sup>3</sup> Beton
Leistung pro Schicht entspricht Auftrag von	ca. 30 m <sup>3</sup> TG	ca. 80 m <sup>3</sup> Beton
bzw. 10 cm auf Tunnel Ø 10 m	170 m <sup>2</sup> x 10 cm	700 m <sup>2</sup> x 10 cm
Staubeentwicklung	6 Lfm hoch	25 Lfm gering

Tab. 3: Gegenüberstellung der Spritzverfahren

Es scheint zudem so zu sein, daß auf dem Gebiete der Microsilica noch einige Neuentwicklungen zu erwarten sind. So hat z.B. die Reaktivität von Microsilica im kolloidalen Teilchengrößenbereich mit dem Ca(OH)<sub>2</sub> des Zementes sehr positive Ergebnisse gebracht, die zu einem neuen Produkt dem SikaTell geführt haben. Hier sei auf die Literatur verwiesen.

Untersuchungen und Entwicklungen bezüglich einer wesentlichen Verbesserung der Haftzugfestigkeit Spritzbeton-Fels, welche bekanntlich stark von der mineralogischen Zusammensetzung des letzteren abhängt, stehen noch aus bzw. sind noch in den Anfängen.

Im Herbst 1991 führten die AUVA, die TBG, die STUVA sowie die SUVA im Versuchsstollen Hagerbach umfangreiche Forschungsarbeiten durch, die unter dem Titel: Baustellenerprobung von chemischen Zusätzen zur Staubreduzierung am Arbeitsplatz bei Spritzbetonarbeiten, standen. Untersucht wurde das Trockenspritzverfahren, das jedoch das angestrebte Ziel einer klaren Unterschreitung des MAK-Wertes nicht erreichen ließ. Bereits im November 1991 wurde in Zusammenarbeit mit den Firma SIKA AG, Meynadier AG und Abatrag AG unter der Führung der SUVA weitere Untersuchungen unter dem Titel: Erprobung von chemischen Zusätzen, sowie technischer Einrichtungen zur Staubreduzierung am Arbeitsplatz bei Naß-Spritzbetonarbeiten, durchgeführt. Die Arbeiten fanden wiederum im Versuchsstollen Hagerbach statt und wurden übrigens 1992 fortgesetzt. Unabhängig davon führten die genannten Firmen zahlreiche eigene Versuchsarbeiten durch.

Bei den Staubmessungen zeigte es sich wiederum, daß eine relativ große Zahl von Versuchen unter Berücksichtigung aller relevanten Einflußgrößen notwendig ist, um Aussagen zu erhalten, die einigermaßen quantifizierte Schlußfolgerungen erlauben, die allgemeingültig sind.

Eine Gegenüberstellung Trockenspritz-/Naßspritz ergab:

Trocken:	11,4 mg/m <sup>3</sup> Luft
Naß:	7,4 mg/m <sup>3</sup> Luft

Diese Werte stellen ein Mittel aus allen Messungen aller Versuche unter den verschiedensten Bedingungen dar. Die Aussage ist eindeutig.

Die besten Werte beim Naßverfahren lagen bei 5,1 mg/m<sup>3</sup> Luft.

Im Dezember 1992 wurden weitere Versuche durchgeführt, wobei neue Staubbindemittel getestet wurden. Mit diesen konnte beim Trockenspritzverfahren eine deutliche Verbesserung festgestellt werden. Die Auswertungen sind zur Zeit noch im Gange.

Vergleicht man die erreichten Staubkonzentrationen mit den MAK-Werten, so ist auf den ersten Blick das Ziel theoretisch noch nicht ganz erreicht (Tab. 4).

Praktisch kann man sagen, das mit dem Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahren die MAK-Werte eingehalten werden können, da sich infolge der eingesetzten Manipulatoren niemand im

näheren Bereich der Spritzdüse aufhalten muß. Mit zunehmendem Abstand wird die Staubkonzentration infolge Verdünnung geringer, wobei sie einem konstant bleibenden Wert zustrebt.

Quarzgehalt [Gew.-%]	MAK-Wert [mg/m <sup>3</sup> ]	Bezugskonzentration	
Q < 1	6,0	Allgemeiner Staubgrenzwert	Inert
1 ≤ Q ≤ 3,75	4,0	Quarzhaltiger Feinstaub	Silikogen
Q > 3,75	0,15	Quarzfeinstaub	Silikogen
Stäube mit weniger als 1 % Quarzgehalt gelten als nicht silikogen.			

Tab. 4: MAK-Grenzwerte für inerten und silikogenen Feinstaub

Interessante Folgerungen ergaben die Versuche bezüglich des Einflusses verschiedener Faktoren, auf die hier kurz eingegangen werden soll:

- Zunehmende Korngröße der Zuschlagstoffe erhöht den Feinstaubanteil
- Die Reduktion der Luftmenge bewirkt eine Feinstaubverminderung
- Microsilica gibt eine Verminderung
- Neue Staubbindemittel führen offenbar zu einer weiteren Staubverminderung. Die Auswertungen der Versuche sind noch im Gange. Tyndaloskopmessungen ergaben Werte, die unter 2 mg/m<sup>3</sup> Luft lagen.

Da bei allen Versuchsarbeiten gleichzeitig nebst den Staubmessungen auch andere einschlägige Untersuchungen durchgeführt wurden, ergab sich eine Fülle von Informationen, wovon eine Aussage über die erreichten Wasserdichtigkeiten noch von besonderem Interesse sein dürfte. Es kann festgestellt werden, daß die Wasserdichtigkeitsprüfung nach DIN 1048 zwar keine bedeutende Verminderung der Wassereindringtiefe bei Beimengung von Microsilica ergibt, daß aber vor allem die aufgenommene Wassermenge deutlich kleiner ist (Tab. 5).

In diesem Sinne ist eine Verbesserung der Wasserdichtigkeit festzustellen. Die Erfahrung zeigt dies auch an Bauwerken, die einschalig ausgebaut worden sind. Häufig konnte die Beobachtung gemacht werden, daß ausgesprochene Feuchtstellen sich innerhalb Wochen wahrscheinlich durch Versinterungsvorgänge von selbst abdichteten.

Trockenspritzten, PC 400 kg/m <sup>3</sup> , 0 - 8 mm		
Wassereindringtiefe	Wassereindringmenge	MS-Dosierung
30 mm	28 ml	-
31 mm	23 ml	14 % Slurry
Naßspritzten, PC 400 kg/m <sup>3</sup> , 0 - 8 mm, 1 % Verflüssiger, 2 - 4 % Beschleuniger		
35 mm	38 ml	-
43 mm	25 ml	5 % Pulver

Tab. 5: Wasserdichtigkeit von Spritzbeton gemäß DIN 1048

So kann z.B. im Eisenbahntunnel der Centovalli-Bahn unter der Stadt Locarno, der in einem stark wasserführenden Gebirge einschalig ausgebaut worden ist, nach 2 Jahren in der Felsstrecke keine Feuchtstelle mehr festgestellt werden.

Trotz der deutlichen Verbesserung der Wasserdichtigkeit, die übrigens nach der Definition der DIN Norm 1048 erreicht ist, bleibt hier noch viel zu tun.

Es kann somit zusammenfassend folgende Aussage gemacht werden:

- Die Beigabe von Microsilica hat zu einer markanten Festigkeitssteigerung geführt.
- Diese Steigerung wirkt sich vor allem im Bereich 0 - 28 Tage aus, verlangsamt sich darüber hinaus, behält aber ein höheres Niveau.
- Da im Zeitraum von etwa 30 Tagen die Felsstabilisierungsmaßnahmen zu einer weitgehenden Stabilisierung des Tunnelhohlraumes führen sollten, besteht kein Interesse an einer extrem

hochgezüchteten Spritzbetonfestigkeit, was einer steifen, ev. spröden Schale gleichkommen würde. Allfällige Festigkeitseinbußen bedingt durch die Zugabe von Beschleunigern und Staubbindern sind daher bei den mit Microsilica erreichbaren hohen 28-Tage-Festigkeitswerten nicht nachteilig.

- Die Zunahme der 28-Tage-Festigkeit auf 40 - 50 N/mm<sup>2</sup> erhöht jedoch die Steifigkeit der Spritzbetonschale im Sinne eines zunehmenden Ausbauwiderstandes.
- Am Betonmischer können Verflüssiger zugegeben werden, die einen relativ niedrigen W/Z-Faktor begünstigen. Microsilica-Zugaben erfolgen ebenfalls am Mischer.
- Microsilica im Naß-Spritzbeton, der mit dem Dichtstromverfahren aufgebracht worden ist, begünstigt Schichtstärken von 5 - 10 cm.
- Der Manipulator, bzw. Roboter muß eingeführt werden. Mit ihm in Kombination lassen sich die Rückprallwerte auf wenige Prozente vermindern.
- Die Feinststaubmenge läßt sich mit dem Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahren unter den MAK-Wert drücken, was für die Belegschaft unbedingt notwendig ist, aber auch den eingesetzten Maschinen zugute kommt.
- Die Wasserdichtigkeit ist verbessert worden, wobei vor allem die eingedrungene Wassermenge zurückgeht.
- Die Leistungsfähigkeit des Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahrens ist mehr als doppelt so

1988: Versuche VSH für KW Vetsch, Furna	Trockenspritzbeton mit 14 % Microsilica-Slurry	56 - 61 N/mm <sup>2</sup>
1988: Versuche VSH für KW Zindel, Landquart	Trockenspritzbeton mit 15 % Microsilica-Slurry	46 - 49 N/mm <sup>2</sup>
1989: Steinachstollen St. Gallen	Trockenspritzbeton mit 15 % Microsilica-Slurry	53 - 68 N/mm <sup>2</sup>
1989: Schöllenen Tunnel, KW Flüelen	Trockenspritzbeton mit 15 % Microsilica-Slurry	56 - 66 N/mm <sup>2</sup>
	Trockenspritzbeton mit 8 % Microsilica-Pulver	65 - 71 N/mm <sup>2</sup>
1991: Versuch VSH für die Firma Sika	Trockenspritzbeton mit 9 bis 15 % Sikafume-Slurry	48 - 57 N/mm <sup>2</sup>
	Naßspritzbeton mit 5 % Sikafume-Pulver und anderen Zusatzmitteln (kein Beschleuniger)	45 - 60 N/mm <sup>2</sup>
	wie oben, jedoch mit Abbindebeschleuniger	35 - 45 N/mm <sup>2</sup>
1991: Vereinatunnel Süd	Naßspritzbeton mit 10 % Microsilica-Slurry und anderen Zusatzmitteln (kein Beschleuniger)	72 - 80 N/mm <sup>2</sup>
	wie oben, jedoch mit Abbindebeschleuniger	54 - 63 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 6: Hochleistungsspritzbeton: Bohrkern-Druckfestigkeitswerte von verschiedenen Spritzbetonen mit Siliciumdioxid-Zusatzstoffen (28-Tage-Werte)

groß, wie diejenige des Trockenspritzverfahrens. Zusammen mit der Rückprallverminderung ergibt sich eine beachtliche Einsparung.

Es bleibt hinzuzufügen, daß sich diese Aussagen vor allem auf den Tunnelbau beziehen und daß daneben das Trockenspritzverfahren keineswegs als überholt bezeichnet werden dürfte (Tab. 6).

Abschließend müßte eigentlich noch darauf hingewiesen werden, daß die Entwicklungen

weitergehen und weitergehen müssen.

Die Verminderung des zementbedingten Schwindens ist sehr dringlich, können doch dadurch zahlreiche Rißbildungen vermieden werden, die oft zu Feucht- oder sogar Tropfstellen führen.

Man kann aber heute feststellen, daß die Bemühungen vieler Fachleute, Instanzen und Firmen in den letzten 3-4 Jahren das Naß-Spritzbeton-Dichtstromverfahren auf ein sehr hohes, einsatzreifes Niveau angehoben hat.

