
Spritzzement - Eigenschaften, Qualitätssicherung

Anwendung

SPECIAL CEMENT FOR SHOTCRETE - CHARACTERISTIC FEATURES, QUALITY ASSURANCE AND APPLICATION

DIPL.-ING. KLAUS EICHLER, DIPL.-CHEM. BRANIMIR SUTEJ, E. SCHWENK KG, ULM

Aus Gründen der besseren Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit wurde auf Basis von Portlandzementklinker ein Zement entwickelt, der ohne Zusatz von Erstarrungsbeschleunigern im Spritzbeton verwendet werden kann. Sein Erstarrungsverhalten entspricht dem des konventionell beschleunigten Portlandzements; er kann darüber hinaus gezielt bestimmten Anforderungen angepaßt werden. Die Frühfestigkeit des Spritzbetons mit Spritzzement entspricht der üblich erreichbaren, die Endfestigkeit ist höher und außerdem zielsicher zu erreichen. Die Anwendungsgebiete des Spritzzements sind bei Spritzbeton im Bereich Tunnelbau und verschiedenen Sicherungsmaßnahmen und bei Spritzmörteln im Bereich Betoninstandsetzung. Durch die Verwendung des Spritzzements wird ein dichtes Gefüge erreicht, die Elutionsraten werden niedriger. Weitere Verringerung der Elutionsraten ist durch besondere Zusätze im Rahmen der Spritzbetonoptimierung möglich.

For ecological and economical reasons, a cement was developed on the basis of Portland cement clinker which can be used in shotcrete without adding accelerators. Its initial setting behavior corresponds to conventional Portland cement with accelerators; furthermore, it can be adjusted to specific requirements. The early strength of shotcrete with this special cement comes up to the usually attainable value, the final strength is greater and, moreover, can be achieved with accuracy. Fields of application cover shotcrete in tunneling, different support measures and concrete repair. This special cement leads to a tight texture and to lower elution rates. A further reduction of elution rates can be achieved by special admixtures.

1. Einführung

Wenn ein Spritzbeton mit schnellem Erstarren eingesetzt wird, müssen die üblichen Eigenschaften des Betons bzw. des Zements durch die Zugabe von Erstarrungsbeschleunigern geändert werden. Die Beschleuniger sind ein Kostenfaktor, beeinflussen negativ die Festigkeit des Betons in späterem Alter, stellen auf der Baustelle eine potentielle Gefahr für die Anwender und die Umwelt dar (Grundwassergefährdung) und können aus dem Festbeton ausgelaugt werden. Bislang gab es dazu jedoch keine Alternative. Die nachfolgenden Ausführungen sollen eine solche Alternative aufzeigen.

Die wichtigsten Überlegungen bei der Entwicklung eines Bindemittels auf Portlandzementbasis sollen dargelegt, seine Eigenschaften im Zement, Mörtel und Beton umrissen und dies mit einigen Anwendungsfällen illustriert werden.

2. Portlandzement und sein Erstarren

Das schnelle Erstarren des Zements, das durch die Beschleuniger bewirkt wird, kann auch auf andere Weise erreicht werden. Da es bekannt ist, daß der Zement ohne Gipsbeimahlung schnell erstarrt, ist der naheliegende Gedanke, beim

Mahlen von Zement auf den als Erstarrungsregler wirkenden Gips bzw. Sulfatträger zu verzichten. Der zugemahlene Sulfatträger ist jedoch nicht nur ein Erstarrungsverzögerer, sondern eben ein Erstarrungsregler, der eine Verarbeitungsspanne des üblichen Betons ermöglicht und darüber hinaus einen wesentlichen Einfluß auf die Festigkeitsentwicklung ausübt. Läßt man ihn weg, wird man feststellen, daß das Erstarren unkontrolliert verläuft, die Schwankungen zwischen den Chargen hoch sind und die Festigkeit eines solchen Zementes gegenüber dem üblichen Portlandzement niedriger liegt. Die Aufgabe lautete also, einen Zement für die Spritzbetonarbeiten zu entwickeln, dessen Eigenschaften im frühen Stadium der Hydratation dem beschleunigten Portlandzement und im späteren Alter dem üblichen Portlandzement (ohne Nachteile durch die Beschleuniger) entsprechen und zielsicher erreicht werden, der sich also ohne Einsatz von Beschleunigern verwenden läßt.

SO ₃ %	Erstarren (w/z = 0,50)		Normenmörtel Festigkeit N/mm ²	
	Anfang min.	Ende min.	12 h	28 d
0,58	0,6	48,0	1,3	41,6
0,92	0,5	6,2	1,2	43,7
1,21	0,6	20,0	1,4	44,7
1,49	0,7	89,0	2,2	45,0
3,43	95,0	220,0	9,6	72,3

Tab. 1: Erstarren und SO₃-Gehalt - Klinkermehl ZM 7 (Blaine 4060 cm²/g)

Die Tabelle 1 zeigt beispielhaft, welchen Weg man gehen kann: durch Zugabe von Calciumsulfat zu einem gemahlene Klinker, der 0,58 % SO₃ (gebunden an Alkalien und nicht an das Calcium) enthält, verkürzen sich die Erstarungszeiten wesentlich, wenn geringe Mengen an Calciumsulfat zugemahlen werden. Die Erstarungszeiten sind für den Spritzbeton günstig. Die weitere Erhöhung führt irgendwann zum Umschlagen und zur Verlängerung des Erstarrens in die eines normalen Portlandzements. Gleichzeitig mit der Erhöhung des SO₃-Gehaltes steigt auch die Druckfestigkeit des Normenmörtels an.

Auf diese Weise kann das Erstarrungsverhalten des Portlandzementklinkers optimiert und dem Anwendungsfall angepaßt werden.

Die Messungen des Erstarrens und der Festigkeiten im Labor sind durch die hohe Reaktivität solcher Gemische manchmal recht um-

ständig, die Ergebnisse können, meßtechnisch bedingt, schwankend ausfallen. Die Effekte, die gemessen werden, sind eindeutig den Reaktionen zuzuordnen, die bei Zugabe von Calciumsulfat zum Klinker im System C₃A-SO₃-H₂O ablaufen. Das kann auch anhand anderer physikalischen Messungen bewiesen werden. Dazu eignet sich die Differentialkalorimetrie, mit der die Wärmemengen gemessen werden, die beim Versetzen des Bindemittels mit Wasser im Laufe der Zeit frei werden /1,2/.

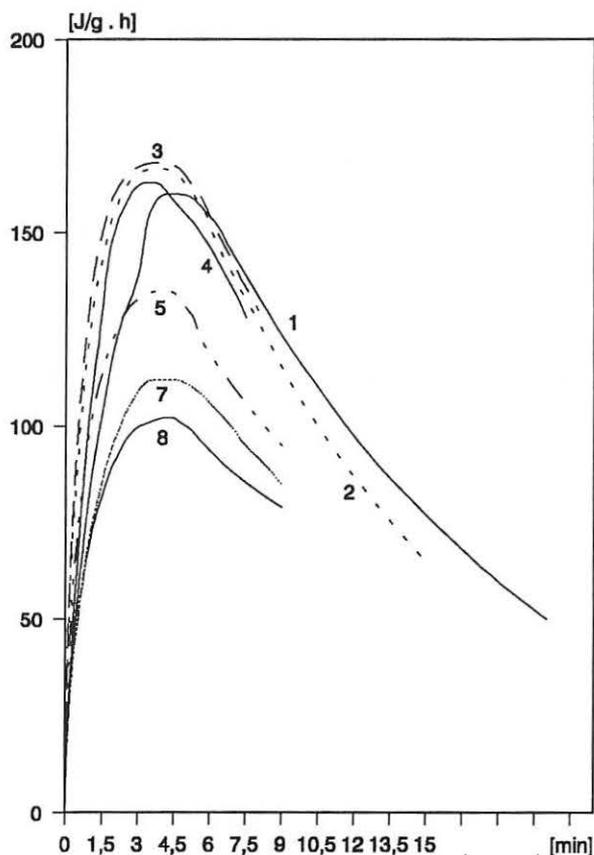


Bild 1: Wärmeentwicklung im Spritzzement

Das Bild 1 zeigt die stürmische Reaktion einer Reihe von Spritzzementen mit Wasser. Die Reaktion fängt praktisch sofort vom Beginn der Wasserzugabe an. Die Spritzzemente 1 bis 8 enthalten unterschiedliche Mengen an SO₃ aus Calciumsulfat. Die Kurve Nr. 1 stellt die Wärmeentwicklung eines reinen Klinkers, ohne Calciumsulfat, dar. Der Spritzzement in der Kurve Nr. 2 enthält rd. 0,1% SO₃ aus Gipszusatz, Nr. 3 rd. 0,2% SO₃ usw., jeweils um rd. 0,1% mehr gegenüber der Probe zuvor. Es ist deutlich, daß mit steigendem SO₃-Gehalt des Spritzzements die freiwerdende Wärmemenge zunächst ansteigt, um später, bei weiterer Erhöhung des Calciumsulfats, zu fallen. Das geht parallel mit Veränderungen der Erstarrungszeiten.

Bereits kleine Veränderungen des Calciumsulfatzusatzes haben deutliche Auswirkung auf das Erstarrungsverhalten. Das ist das Instrument, mit dem die gewünschte Einstellung der Erstarrungszeit für den jeweiligen Verwendungszweck möglich ist; das Erstarren kann, in Abhängigkeit vom Klinker und von der Verwendung, gezielt beeinflußt werden.

3. Spritzzement-Eigenschaften

3.1 Feinheit

Um die gewünschten Eigenschaften zu erreichen, wurde der Spritzzement im Zementwerk Mergelstetten der Schwenk KG auf eine Feinheit von 4000 bis 4500 cm²/g gemahlen.

3.2 Erstarren

Um das Erstarren messen zu können, müssen andere Methoden als die üblichen Normverfahren angewendet werden, da die Reaktion des Zements mit Wasser, wie schon gezeigt, sehr schnell erfolgt. Der Wasserzement wird fest vorgewählt und es wird nur sehr kurz gemischt. Die Methode /3/ der Richtlinie Spritzbeton eignet sich hierzu sehr gut.

Wie man das Erstarren beeinflussen kann, wurde gezeigt. Die inzwischen hergestellten und eingebauten Zemente hatten folgende Erstarrungszeiten, gemessen am Zementleim mit w/z=0,50:

bei 20 °C: Anfang: 20 bis 60 s
 Ende : 1 bis 20 min.

Der Einfluß der Temperatur auf das Erstarren ist an einer Charge gemessen worden:

Temperatur Ausgangsstoffe	Anfang	Ende	Endtemperatur (150 g Zementleim)
°C	min.	min.	°C
8	2,1	3,4	23,0
15	1,8	3,3	26,4
25	1,0	2,2	31,3

Tab. 2: Erstarren und Temperatur

Wie ersichtlich, wird die Erstarrungszeit von der Temperatur zwar beeinflußt, aber auch bei niedrigen Temperaturen ist das Erstarren, bedingt durch die freiwerdende Wärmemenge, für die Spritzbetonarbeiten kurz genug.

3.3 Druckfestigkeit im Normenmörtel

Für die Qualitätssicherung ist auch die Mes-

sung der Normenfestigkeiten des Spritzzements von Bedeutung. Auch hier muß das Verfahren der DIN EN 196 abgeändert werden. Die Mischzeiten sind sehr kurz, die Reihenfolge der Zugaben der Ausgangsstoffe in den Mischer ist eine andere; außerdem ist es nötig, die Ausgangsstoffe auf Temperaturen um 0 °C abzukühlen, um den Mörtel überhaupt in die Form zu bekommen und verdichten zu können. Die Schwankungen der Meßwerte sind naturgemäß höher, vor allem in jungem Alter.

Folgende Festigkeitsentwicklung wurde erreicht.

Alter	Druckfestigkeit N/mm ²
12 h	1 - 2
24 h	5 - 10
2 d	18 - 22
7 d	35 - 40
28 d	45 - 52

Tab. 3: Druckfestigkeit des Normenmörtels

3.4 Auslaugbarkeit

Die Abwesenheit der Erstarrungsbeschleuniger - bei Verwendung des entwickelten Spritzzementes - führt, neben anderen Vorteilen, zu einer verringerten Auslaugung der Alkalien aus dem Gefüge des Betons. Eine weitere Verringerung kann man durch gezielte Maßnahmen im Beton erreichen, über die weiter unten berichtet wird. Verbesserungen sind jedoch bereits durch die Wahl der Zusammensetzung des Spritzzements möglich. Das soll an einem Beispiel gezeigt werden.

Die auslaugbaren Bestandteile des Spritzbetons sind die löslichen Anteile des Zements bzw. Betons: Alkalien und Kalkhydrat. Im Gegensatz zum Portlandzement sind diese Bestandteile aus dem Hüttensand weniger auslaugbar. Die Anwesenheit von Hüttensand ermöglicht außerdem ein dichteres Gefüge des Zementsteins. Es wurde daher versucht, die Zusammensetzung des Spritzzements so zu verändern, daß die positiven Eigenschaften des Portlandzementanteils weitgehend erhalten bleiben, wobei ein gewisser Anteil des Hüttensandes im Zement die Auslaugbarkeit des Betons verringern sollte. Naturgemäß werden dabei die Erstarrungszeiten etwas verlängert und die Festigkeitsentwicklung verlangsamt. Nach 28 d hat auch dieser Zement bzw. Beton die vergleichbaren Eigenschaften wie derjenige auf reiner Portlandzementbasis, sein Gefüge ist jedoch dichter.

Folgende Meßwerte wurden mit 30 % Hütten- sand im Spritzzement erreicht.

		Spritzzement	
		100 % PZ	70 % PZ + 30 % HÜS
pH		11,1	10,8
Ca ²⁺	mg/l	120	50
Na ⁺	mg/l	2	2
K ⁺	mg/l	13	3

Tab. 4: Auslaugbarkeit

Der Beton enthielt rd. 370 kg Spritzzement je m³ Spritzbeton. Im Alter von 28 Tagen wurden im Eluat die Werte aus der Tabelle 4 gemessen. Die Methode ist weiter unten beschrieben, nur der relative Vergleich ist hier von Bedeutung. Die Verringerung der ausgelaugten Bestandteile ist bei Verwendung von modifiziertem Spritzzement sichtbar.

4. Spritzbeton

Spritzbeton kommt im Tunnelbau, insbesondere bei der NÖT (Neuen Österreichischen Tunnelbauweise) eine besondere Bedeutung zu; er muß schnelle und hohe Frühfestigkeiten aufweisen, es müssen zielsicher geforderte Endfestigkeiten erreicht werden und darüber hinaus werden Anforderungen an dichte Gefüge, an hohe Widerstandsfähigkeit und Dauerhaftigkeit u.a. gestellt.

Zum Schutze der Menschen, die die Tunnel bergmännisch auffahren, wurde in der Vergangenheit primär auf schnelle und hohe Frühfestigkeiten geachtet. Diese wurden unter Verwendung von Normzementen und verschiedenen Beschleunigerarten i.d.R. auch erreicht, oft ungeachtet der unterschiedlich hohen Dosismengen und der damit verbundenen schwankenden Endfestigkeiten.

Darüber hinaus können diese Produkte grundwasser- und gesundheitsgefährdend sein und in Berührung mit Bergwasser zumindest teilweise eluiert werden, weshalb die Forderungen nach umweltfreundlichem Spritzbeton immer lauter werden.

Schwenk Baustofftechnik hat diese Herausforderung angenommen und den Schwenk Spritzzement (vergl. 3.1-3.3) entwickelt; durch Veränderungen in der Zusammensetzung (vergl. 3.4) sowie durch Verwendung von synthetischen Kieselsäuren /7/ können Dichtigkeit und Eluti-

onsrate von Spritzbetonen weiter optimiert werden.

Im folgenden wird u.a. von Ergebnissen an Spritzbetonen mit Kalksteinsplitt /8/ berichtet; insbesondere stammen einige Ergebnisse aus den begleitenden Prüfungen /9/ für die Erlangung der Zustimmung im Einzelfall beim Objekt Tunnel Botnang.

4.1 Bautechnische Anforderungen

Spritzbetoneigenschaften im Tunnelbau - obgleich zumeist nur von temporärer Bedeutung - werden bzgl. der bautechnischen Anforderungen i.a. nur durch den Nachweis der Druckfestigkeit bewertet; dabei wird für die Frühdruckfestigkeit das Anforderungsprofil aus /4/ vergl. Bild 2, für die statische Endfestigkeit (Bemessung der Tunnelschale) der Nachweis der 28 d - Druckfestigkeit einer Betongüte (i.d.R. B25) nach DIN 1045 gefordert.

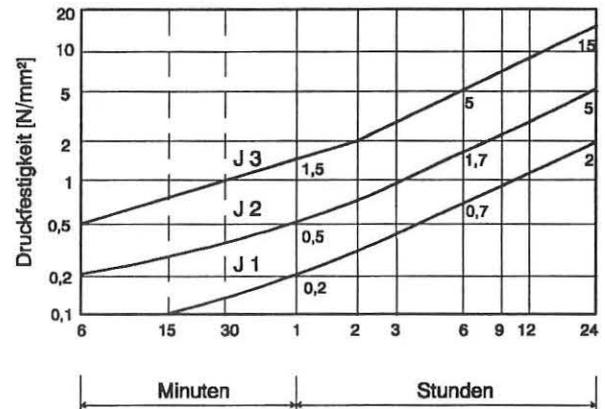


Bild 2: Junger Spritzbeton Frühfestigkeitsanforderungen nach /4/

Die einzelnen Festigkeitsbereiche lassen sich vereinfacht wie folgt beschreiben :

- J1 Bei Wasserzutritt und als Folge der Beanspruchung durch unmittelbar nachfolgende Arbeitsgänge (z.B. das Bohren von Ankerlöchern, Eintreiben von Dielen, Erschütterungen durch Sprengschlag)
- J2 Rasch auftretender Gebirgsdruck
- J3 Sonderfälle

Neben der Festigkeit bzw. Festigkeitsentwicklung sind Kriechen, Schwinden, E-Modul und Dichtigkeit (Rohdichte, WU-Prüfung, Porosität) von Bedeutung.

4.1.1 Verfahren zur Ermittlung der bautechnischen Eigenschaften von Spritzbeton

Für den Nachweis der Frühfestigkeiten haben

sich das Penetrationsnadelverfahren /5/ und das Meyco-Kaindl-Ausziehverfahren /6/ bewährt. Der weitere Festigkeitsverlauf wird an Bohrkernen nach DIN 1048 ermittelt.

Der statische Elastizitätsmodul wird i.a. nach DIN 1048 an Bohrkernen im Alter von 28 Tagen bestimmt; ebenfalls an Bohrkernen wird das Schwind- und Kriechverhalten untersucht.

Aussagen bzgl. der Dichtigkeit können durch die Ermittlung der Rohdichte, den Nachweis der WU-Prüfung nach DIN 1048 und die Ermittlung der Porosität (Gesamtporosität, Porenradialverteilung) mittels Quecksilberdruckporosimetrie gemacht werden.

4.1.2 Verarbeitung von Spritzbeton mit Spritzzement

Schwenk Spritzzement wird mit trockenen Zuschlägen im Trockenspritzverfahren verarbeitet. Durch Weiterentwicklung der dazugehörigen Maschinenteknik sind Leistungen von 12 - 15 m³/h /10/ inzwischen möglich; beim Einsatz synthetischer Kieselsäuren sind spezielle Dosier- und Pumpeinrichtungen vonnöten. Mit derartigen Geräten ist eine Verarbeitung im Hochdruckverfahren möglich.

4.1.3 Eigenschaften von Spritzbeton mit Spritzzement

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde bzgl. den bautechnischen Anforderungen dem Festigkeitsverhalten (Frühfestigkeit, Endfestigkeit) die größte Aufmerksamkeit gewidmet. In der Mehrzahl der Fälle wurde Trockenbeton aus Kalksteinsplitt 0/8 mit 350 kg/m³ Zement /11/ verwendet. Als Beschleuniger kam ein handelsüblicher Natriumaluminatbeschleuniger (flüssig, Dosiermenge 5 M-%) zum Einsatz; aus der Produktreihe synthetischer Kieselsäuren wurde zunächst Sypernat 22S /12/ (darüber wurde während des Vortrages berichtet) und im späteren Verlauf der Untersuchungen ein Kiesel-sol verwendet. Die Kombination Spritzzement und Kiesel-sol wurde zwischenzeitlich zum Patent angemeldet.

Da die Produkteigenschaften des Kiesel-sols - im Vergleich zum Sypernat 22S - sich von Vorteil erwiesen haben, wird im folgenden von Ergebnissen berichtet, bei denen ein Kiesel-sol (Dosierung im Mittel von 2 M-%) verwendet wurde.

In den Bildern 3 - 7 bedeuten :

45 F - Normzement PZ45F

45F/S - Normzement PZ45F mit einem speziellen Sulfatträger

45S - Spritzzement

BE - flüssiger Natriumaluminatbeschleuniger (5 M%)

SI - Kiesel-sol (2 M%)

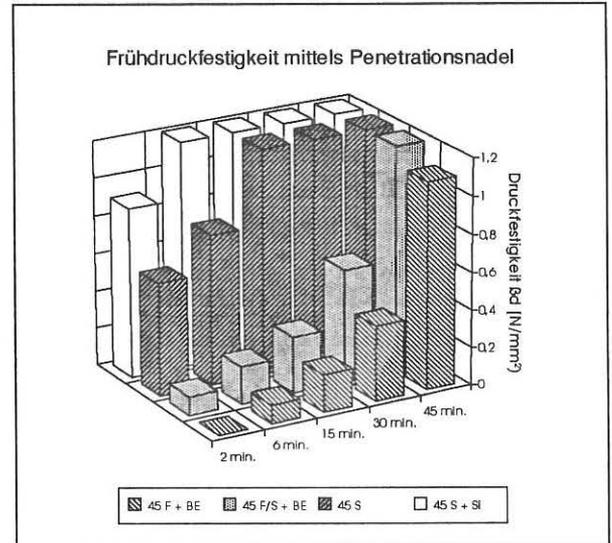


Bild 3 : Frühdruckfestigkeit mittels Penetrationsnadel /5/

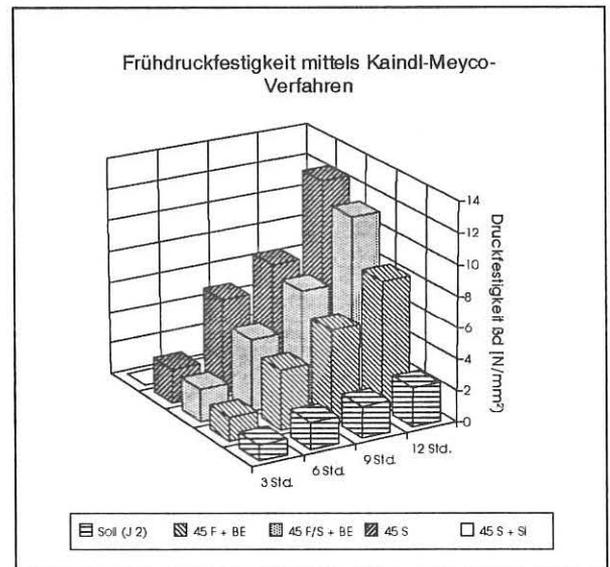


Bild 4 : Frühdruckfestigkeit mittels Kaindl-Meyco Verfahren /6/

In der Bild 3 wird deutlich, daß im Frühfestigkeitsverhalten im Zeitraum von 2-45 Minuten das Festigkeitsniveau eines Spritzbetons mit Spritzzement im Vergleich zum gleichen Spritzbeton mit Normzement plus Beschleuniger deutlich erhöht liegt. Eine weitere Steigerung,

wenn auch nicht mehr so deutlich, ist durch den Einsatz eines Kieselols möglich. Dieser Trend setzt sich im weiteren Festigkeitsverlauf (vergl. Bild 4) fort. Insbesondere liegt bei ansonsten gleichen Bedingungen und Rezepturen der 28 d-Wert eines mit Spritzzement plus Kieselol hergestellten Spritzbetons um eine Festbetonfestigkeitsklasse höher als der gleiche Spritzbeton mit PZ 45 F plus Beschleuniger (Bild 5).

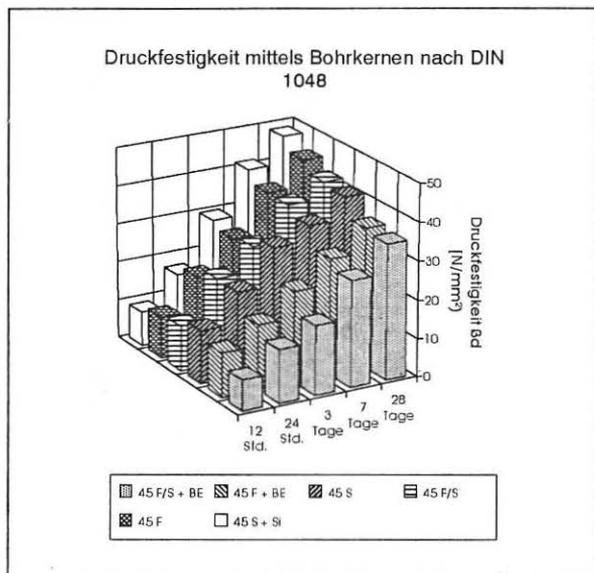


Bild 5 : Druckfestigkeit mittels Bohrkernen nach DIN 1048

Der statische E-Modul des Spritzbetons mit Spritzzement liegt bei ca. 27.000 N/mm², der mit Kieselol etwas darüber. Bewertende Aussagen können diesbezüglich, genauso was das Kriechen und Schwinden betrifft, mangels ausreichender Prüfergebnisse, nicht vorgenommen werden.

In Bild 6 wird deutlich, daß Spritzbeton unter Verwendung von Normzementen plus Beschleuniger und Spritzbeton unter Verwendung von Spritzzement größere Wassereindringtiefen aufweisen wie die gleichen Spritzbetone ohne Beschleuniger. Der Grund liegt im früheren und schnelleren Hydratationsverlauf und der damit verbundenen gröberen Zementsteinstruktur. Eine deutliche Verbesserung bringt die Verwendung von Spritzzement plus Kieselol.

In Bild 7 wird die Erkenntnis aus Bild 6 bestätigt. Insbesondere verschiebt sich die mittlere Festbetonrohddichte eines Spritzbetons mit Spritzzement von 2.31/2.32 kg/dm³ auf 2.36 kg/dm³ bei dem gleichen Spritzbeton unter zusätzlichem Einsatz von Kieselol.

Strukturuntersuchungen mittels Quecksilberdruckporosimetrie stehen noch aus.

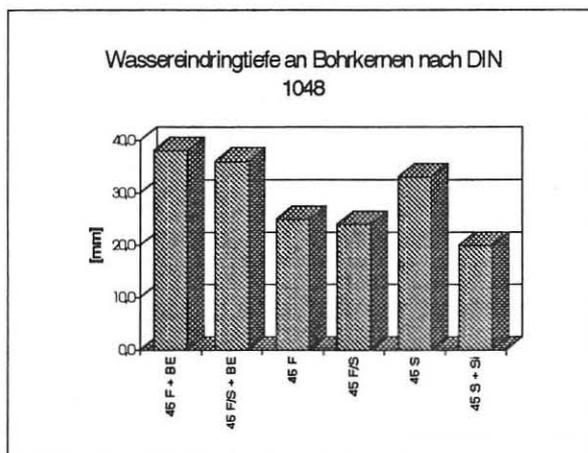


Bild 6 : Wassereindringtiefe an Bohrkernen nach DIN 1048

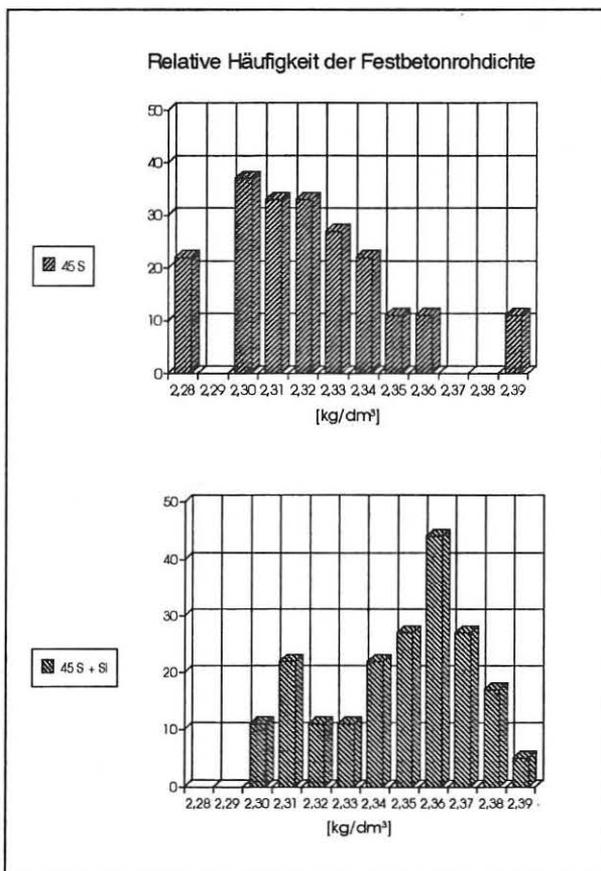


Bild 7 : Relative Häufigkeit der Festbetonrohddichte

4.2 Umweltrelevante Anforderungen

Ökologie, Umwelt und Arbeitsschutz rücken mehr und mehr in den Vordergrund; als umweltrelevante Anforderungen beim Spritzbeton

sind Rückprall, Staubentwicklung und das Elutionsverhalten zu sehen.

Kommt dem Rückprall noch eine wirtschaftliche Bedeutung zu, so ist die Staubentwicklung zusätzlich unter arbeitshygienischen- und gesundheitsgefährdenden Gesichtspunkten zu betrachten.

Dem Elutionsverhalten kommt aus 2 Gründen eine Bedeutung zu; zum einen, weil durch Auslaugungen und Ausfällungen z.B. Drainagerohre funktionsunfähig werden und zum anderen, weil herausgelöste chemische Elemente aus dem Spritzbeton die Qualität des Grundwassers beeinträchtigen können.

4.2.1 Prüfverfahren zum Nachweis der Umweltverträglichkeit von Spritzbeton

Der Rückprall wird quantitativ durch Erfassung der Ausgangsmengen und dem Wiegen des Rückprallgutes (exaktes Erfassen nur durch Auslegen einer Folie) ermittelt.

Die Staubentwicklung wird durch spezielle Meßgeräte /13/ erfaßt; der zulässige MAK-Wert liegt bei 4 mg/m³ Luft.

Bei der Beurteilung des Elutionsverhaltens von Spritzbeton im Tunnelbau werden im Moment drei Prüfverfahren diskutiert :

- 1) Durchflußzelle Prof. Dr. Springenschmid/
Dr. Dorner /14/
- 2) Umströmungsplatte Dr. Breitenbücher /15/
- 3) Trogverfahren ÖNORM S 2072 /16/

4.2.2 Möglichkeiten der Spritzbetonmodifikation

Um die Auslaugbarkeit von Spritzbeton zu verringern, sind grundsätzlich folgende Möglichkeiten denkbar

- 1) Zementmodifikation allgemein
- 2) Spritzzement
- 3) Spritzzementmodifikation
- 4) Synthetische Kieselsäuren
- 5) Microsilika
- 6) Kombinationen aus 1) - 5)

Ohne hierauf näher eingehen zu wollen, werden im Punkt 4.2.3 teilweise über Ergebnisse derartiger Modifikationen berichtet.

4.2.3 Eigenschaften von modifizierten Spritzbetonen

Bei einigen Bundesbahntunneln der Strecke Würzburg-Hannover traten durch Gebirgswässer erhebliche Auslaugungen von Calciumhydroxid aus der Spritzbetonschale auf, das im

weiteren zeitlichen Ablauf zu Calciumcarbonat ausfällte. Diese wasserunlösliche Verbindung führte zu Verstopfungen bzw. zur Versinterung diverser Drainagen.

Da Calciumhydroxid bis zu einem Massenanteil von ca. 25 % in vollständig hydratisiertem Zementstein - je nach Zementart - vorhanden sein kann ist verständlich, daß bei der Beurteilung des Elutionsverhaltens von Spritzbeton das Ca-Eluat besonders betrachtet wird. Darüber hinaus stellte man fest, daß die verwendeten Beschleuniger zumindest teilweise eluiert werden und u.U. eine Gefahr für das Grundwasser darstellen können.

Im folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse unserer Versuche dargestellt und kurz erläutert. Leider war es nicht möglich, alle Spritzbetone nach allen Verfahren prüfen zu lassen. Bei der Abkürzung 45 S mod. handelt es sich um einen in 3.4 beschriebenen modifizierten Spritzzement.

Bei den durchgeführten Rückprallmessungen ergab sich bei Verwendung von Kieselöl eine um etwa 25 M-% kleinere Rückprallmenge im Vergleich zu den Spritzbetonen ohne Kieselöl. Ansonsten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Staubuntersuchungsergebnisse liegen noch nicht vor.

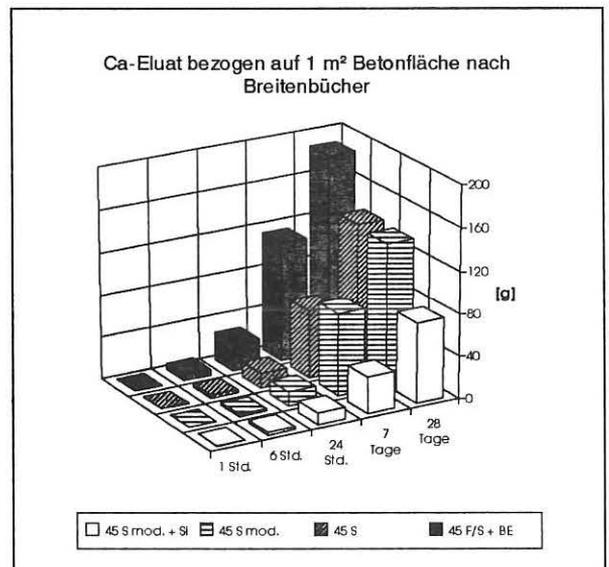


Bild 8 : Ca-Eluat bezogen auf 1 m² Betonoberfläche nach Dr. Breitenbücher

In Bild 8 wird das Ca-Eluat von verschiedenen Spritzbetonen, geprüft nach dem Verfahren Dr. Breitenbücher, gezeigt. Es wird deutlich, daß durch Verwendung von Spritzzement im Vergleich zu Normzement plus Beschleuniger be-

reits eine Verbesserung eintritt (ca. 1/3 besser) und daß durch Verwendung eines modifizierten Spritzzements plus Kieselsol eine weitere Reduzierung der Ca-Eluatmenge möglich ist.

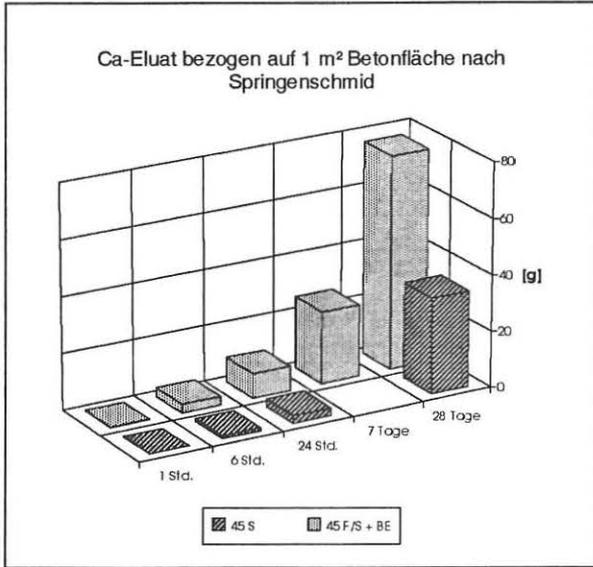


Bild 9: Ca-Eluat bezogen auf 1 m² Betonoberfläche nach Prof. Dr. Springenschmid

In Bild 9 ist der Vergleich von Ca-Eluat von Spritzbeton mit Spritzzement und von Spritzbeton mit Normzement plus Beschleuniger, geprüft nach dem Verfahren Prof. Springenschmid, gezeigt. Nach diesem Verfahren stellt sich eine Reduzierung der Ca-Eluatmenge beim Spritzbeton mit Spritzzement auf ca. 1/3 des konventionellen Vergleichsbetons ein.

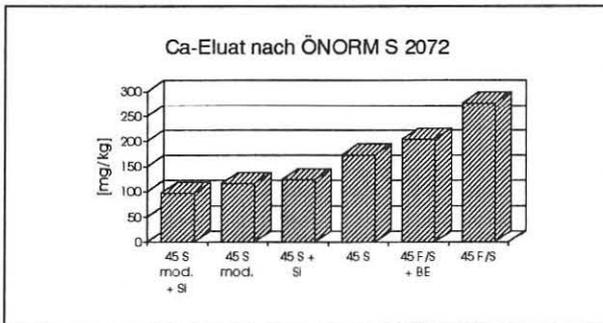


Bild 10: Ca-Eluat nach ÖNORM S2072

In Bild 10 werden 6 verschiedene Spritzbetone, geprüft nach dem Verfahren der ÖNORM S2072, gegenübergestellt. Wie aus Bild 8 und Bild 9 nicht anders zu erwarten, ergeben die mit Kieselsol hergestellten Spritzbetone die besten Ergebnisse. Der Wert für den unbeschleunigten Spritzbeton konnte auf eine gestörte Probe zurückgeführt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß unabhängig vom Prüfverfahren die Verwendung von Spritzzement bzgl. dem Ca-Eluatverhalten von Spritzbeton eine merkliche Verbesserung im Vergleich zu Normzementen plus Beschleuniger bringt. Eine weitere, deutliche Reduzierung der Ca-Eluatmengen ist durch Verwendung von modifiziertem Spritzzement plus Kieselsol möglich.

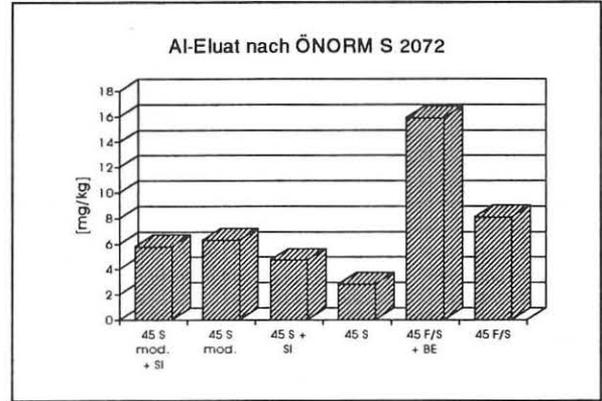


Bild 11: Al-Eluat nach ÖNORM S2072

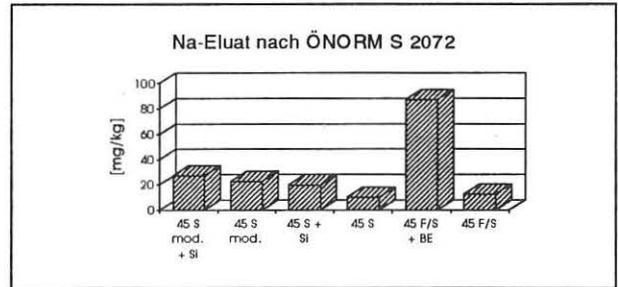


Bild 12: Na-Eluat nach ÖNORM S2072

In Bild 11 und 12 wird gezeigt, daß übliche Betonbeschleuniger (Natrium-Aluminat) zumindest teilweise wieder eluiert werden können. So liegen die Eluatmengen für Natrium und Aluminium bei dem beschleunigten Spritzbeton, geprüft nach dem Verfahren ÖNORM S2072, deutlich über den Werten der vergleichbaren anderen Spritzbetonen.

5. Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche sowie die praktischen Erfahrungen zeigen, daß die Forderungen nach umweltfreundlichem Spritzbeton erfüllt werden können. Die einfachste und sicherste Methode ist die Verwendung von modifiziertem Spritzzement plus Kieselsol mit trockenen Zuschlägen im sogenannten Trockenspritzverfahren. Feuchter Zuschlag kann mit Spritzement im Moment nicht verarbeitet werden.

6. Literatur

- (FMPA Stuttgart)
- /1/ **Wächtler, H.-J.; Stephan, G.; Lutsch, R.:**
Silikattechnik 34 (1983), Heft 4, S.121-125
 - /2/ **Wächtler, H.-J.; Ilgner, R.; Feldrappe, D. :**
Silikattechnik 35 (1984), Heft 9, S. 264-268
 - /3/ **Richtlinie Spritzbeton, Teil 2 - Prüfverfahren, Abschn. 1.2.1:**
Österreichischer Betonverein, Ausgabe 1991, S. 6-11
 - /4/ **Richtlinie Spritzbeton, Teil 1, Januar 1989:**
Österreichischer Betonverein
 - /5/ **Meyco-Penetrationsnadel:**
Meyco, Winterthur (CH)
 - /6/ **Kaindl-Meyco Ausziehverfahren:**
Meyco, Winterthur (CH)
 - /7/ **Lukas, W.; Kusterle, W.:**
Das Auslaugverhalten von Spritzbeton.
BMI, Uni Innsbruck
 - /8/ **Rombold GmbH, Hirschlanden:**
Untersuchungen der Eluierbarkeit von Spritzbetonen. Bericht B10-1828 (Ph. Holzmann-Zentrallabor)
 - /9/ **Rombold GmbH, Hirschlanden:**
Prüfung eines Spritzbetons mit Spritzzement. Prüfbericht 12-13696-b/Nbt/Re
 - /10/ **SBS, Essen:**
Trockenbetonspritzmaschinen. Persönliche Mitteilungen von H. Schürenberg
 - /11/ **Rombold GmbH, Hirschlanden:**
Spritzbetoneignungsprüfungen. Prüfstelle E+W, Leiter W. Balbach
 - /12/ **Degussa:**
Synthetisches Siliciumdioxid Sypernat 22S als Betonzusatzstoff nach DIN 1045. Prüfbescheid PA VII - 21/501
 - /13/ **Handke, D.:**
Verminderung der Staubeentwicklung bei Spritzbetonarbeiten im Tunnelbau. Tunnel 2/88
 - /14/ **Breitenbücher, R.; Dorner, H.; Springenschmid, R.:**
Verringerung der Auslaugbarkeit von Spritzbeton im Tunnelbau durch besondere Auswahl von Zementen und Betonzusätzen. Betoninformationen 1/92
 - /15/ **Breitenbücher, R.:**
Verfahren wird auf dem Dt. Betontag 1993 vorgestellt. Bislang nicht veröffentlicht.
 - /16/ **ÖNORM S2072:**
Eluatklassen (Gefährdungspotential von Abfällen) Ausgabe 12/90

