
Erfahrungen mit neuen Spritzbindemitteln im Lainbergtunnel

PRACTICAL EXPERIENCE WITH NEW SPECIAL CEMENT FOR SHOTCRETING DURING THE CONSTRUCTION OF THE LAINBERG TUNNEL

JOHANN KEIL, ALPINE BAU GES.M.B.H., SALZBURG/WALS; RUDOLF RÖCK, SCHRETTNER & CIE, VILS

Der erste Teil des Beitrages befaßt sich mit der Bindemittel- und Betontechnologie. Es werden Einflußgrößen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Zuschlagtemperatur und Flugaschezusatz auf das Erstarrungsverhalten, die Festigkeitsentwicklung und die Verarbeitbarkeit erörtert.

Vor- und Nachteile diverser Einstellungen, insbesondere bezüglich der Abbindegeschwindigkeit, werden gegenübergestellt.

Im zweiten Teil wird das Trocknen mittels vor Ort installierter kombinierter Trocknungs- und Mischanlage und Bevorratungssilo für Nachtversorgung sowie die maschinentechnische Ausrüstung der Spritzmobileinheiten vorgestellt.

Weiters wird über die Erfahrungen bezüglich Mobilität, Handhabung und Spritzleistung berichtet.

In the first part of the paper, the authors will deal with drying by means of a site-installed combined drying and mixing plant and a silo for night storage, and will describe the mechanical equipment of shotcreting vehicles.

The pros and cons of various mix designs of the cement, especially in terms of the rate of setting, will be presented.

The second part of the paper focuses on cement and concrete technology. Essential parameters, such as temperature, air humidity, temperature of aggregates and admixture of fly ash, and their effects on initial setting, strength development and workability will be discussed.

Last but not least, the authors will discuss their experience with regard to mobility, handling and shotcreting output.

1. Einleitung

Mit der Beauftragung der Bauarbeiten am Lainbergtunnel (Pyhrnautobahn) an unsere Firma stellte sich die Frage, welches Spritzbetonsystem zur Erfüllung der vertraglich geforderten Spritzbetone zur Anwendung gelangen sollte.

2. Anforderungen gemäß Ausschreibung

Frühfestigkeit:	J 2
Endfestigkeit:	B 225
Besondere Eigenschaften:	WU
Erstarrungsbeschleuniger:	alkalifrei
bzw. Verwendung von Spb - Bindemittel	

3. Möglichkeit der Ausführungsart des Spritzbetons

- Naßspritzverfahren
- Trockenspritzverfahren

- Feuchte Zuschläge
 - konventionell mit alkalifreiem Erstarrungsbeschleuniger
 - System Mobilcret mit Spritzbeton-Bindemittel

- Trockene Zuschläge
 - Fertigprodukt mit Spritzbeton-Bindemittel
 - Trocknung der Zuschläge und Mischen mit Spritzbeton - Bindemittel auf der Baustelle

Anlagenkonzept Trocknung

Heißluftrückführung zum Brenner

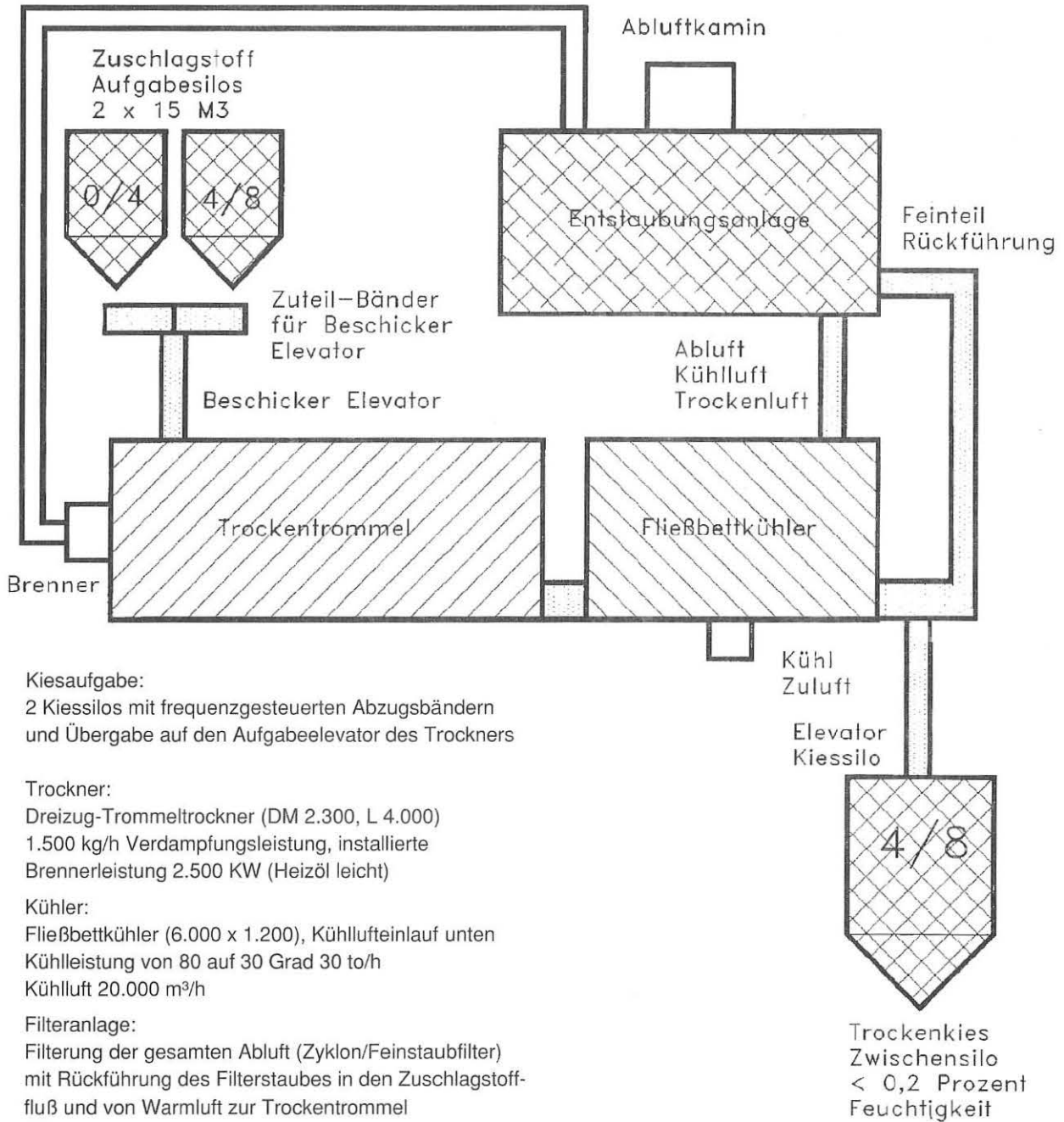


Bild 1: Anlagenkonzept Trocknung - Transmobil

4. Gewählte Art der Ausführung

- Trockenspritzverfahren mit Spritzbeton-Bindemittel
- Trocknung der Zuschläge und Herstellen des Rohgemisches in Baustellenanlage
- Einbringen des Spritzbetons mittels auf LKW montierten Kesselspritzgeräten

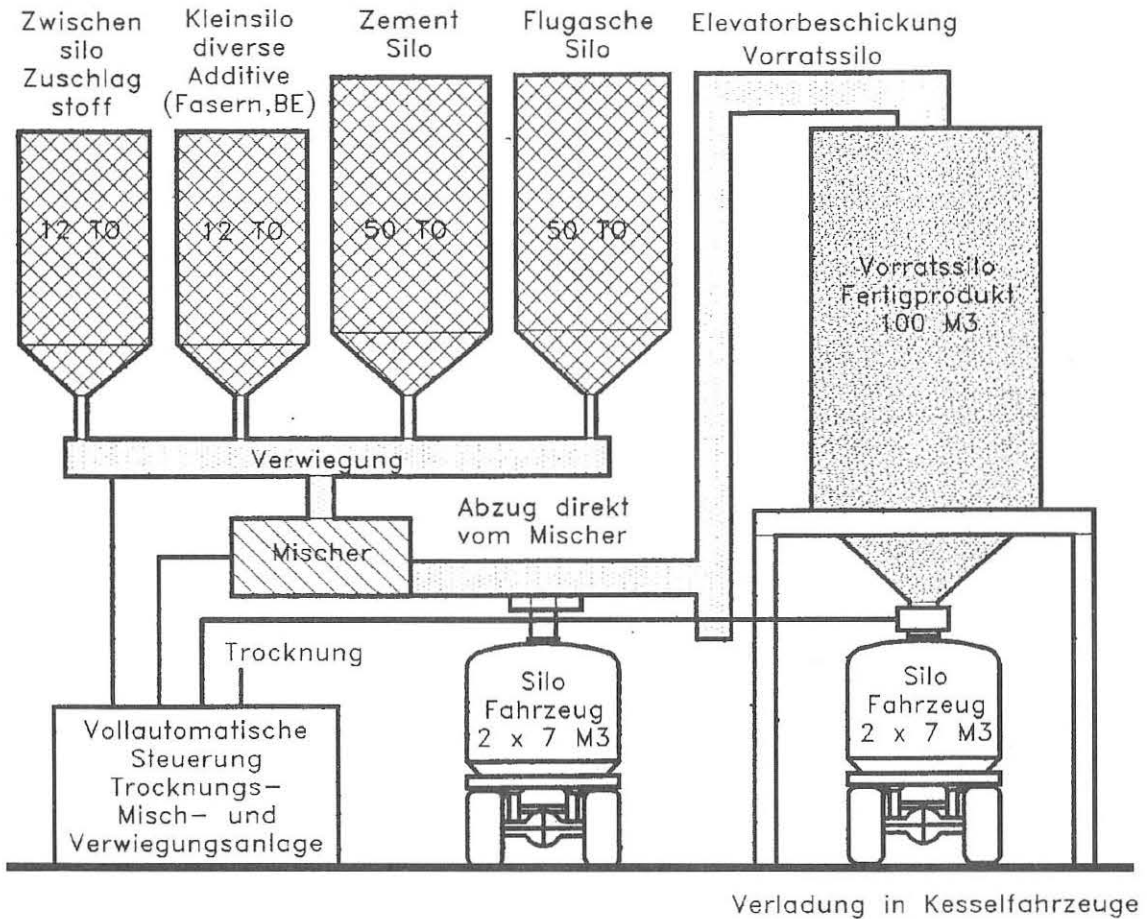
In Zusammenarbeit mit der Firma Transmobil (Bild 1 und 2) wurde nach Festlegung des Systems ein Anforderungskatalog an die zu errichtende Baustellen-Spritzbetonanlage erarbeitet.

5. Anforderungen an die Spritzbetonanlage

5.1 Trocknungsgruppe

- Mindesttrocknungsgrad unter 0,2 Prozent Restfeuchte im Zuschlagstoff
- Beschickungsmöglichkeit von 2 Kornfraktionen und beliebige Einstellung der Sieblinie
- Kühlung des Zuschlages auf unter 50 Grad
- Vollenstaubung der Trocknungsanlage
- Rückführung des Filterstaubes
- Trocknungsleistung mind. 30 to/h bei 5 Prozent Aufgabefeuchte

Anlagenkonzept Mischanlage, Abfüllung



Silos für Einzelkomponenten:

Durch die Pufferung des Zuschlagstoffes über einen kleinen Silo ist der kontinuierliche Parallelbetrieb Trocknungs-/Mischanlage gewährleistet.

Der Kleinsilo für diverse Additive erlaubt gegebenenfalls die Zugabe von Erstarrungsbeschleunigern, Fasern, Rückprallminderern u. dgl.

Verwiegen, Mischen:

Verwiegung der Einzelkomponenten erfolgt vollautomatisch über Computersteuerung, das Zuschalten der Mischanlage analog dem Kiesfüllstand im Zwischensilo. Die Abgabemenge vom Vorratssilo kann wahlweise nach Vorwahl oder effektiv geladener Tonnage erfolgen mit automatischem Lieferscheinausdruck.

Bild 2: Anlagenkonzept Mischanlage, Abfüllung - Transmobil

- Zwischenbunkerung des trockenen Zuschlages vor der Mischerguppe
- Vollautomatische Steuerung der Durchsatzmenge über den Trocknungsgrad

5.2 Mischerguppe

- Vollkommene Kapselung der Anlage nach außen (Feuchtigkeit, Staub)
- Zugabemöglichkeit von 3 Komponenten (Spritzbeton-Bindemittel, Flugasche, Fasern o. dgl.)
- Vorratssilo von 100 m³ für Nachtbedarf
- Austragsmöglichkeit zwischen Mischer und Vorratssilo

(Rezepturänderung etc.)

- Automatische Verwiegung der dem Bunker entnommenen Spritzbeton-Tonnage
- Entstaubung der Übergabe am Bunker
- Frei programmierbare Steuerung mit Chargen- und Tagesprotokollausdruck
- Vollautomatikbetrieb der Gesamtanlage (Trocknungs- und Mischteil)

Gemäß diesen Anforderungen ist die Trocknungs- und Mischanlage zur Ausführung gelangt. Der prinzipielle Aufbau ist den folgenden Ablaufskizzen zu entnehmen. Zum Aufbringen des Spritzbetones entwickelte die Firma Alpine

mobile Spritzgeräteeinheiten auf Basis von Kesselfahrzeugen mit Schnecken-zuteilung des Spritzbetonrohrgutes zum Spritzschlauch.

6. Anforderungen an das mobile Spritzgerät

- Vollkommene Mobilität durch Montage der Gesamtanlage auf allradgetriebenem Fahrzeug
- Straßentaugliches Gerät (Maximalbreite 2,5 m)
- Reduktion der Rüstzeiten - zentraler Wasser-, Druckluft- und Stromanschluß
- Minimierung der Spritzschlauchlängen (max. 30 m) durch Anfahren des Gerätes direkt vor Ort
- Minimierung der Verschleißteile durch Vermeidung schleifender Zellendosierung oder dergleichen
- Stufenlose Fördermengenregelung von 0 - 10 m³/h und Düse
- Kontinuierlicher Förderstrom und damit höhere Durchsatzleistung bei handgeführter Düse
- Hochdruckbenetzung des Spritzbetons und damit ein Entfall von Vorbenetzungseinrichtungen

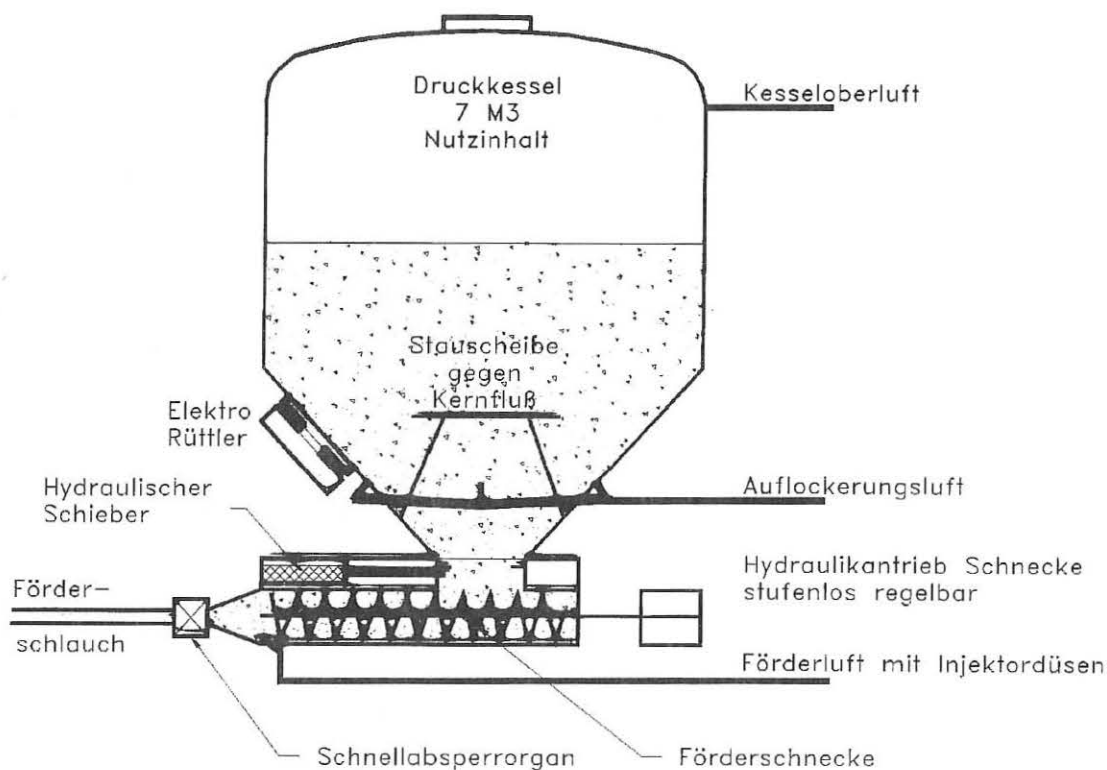
- Staubminimierung durch geschlossenes Kesselsystem
- Permanente Verfügbarkeit von Spritzbeton vor Ort durch Lagerfähigkeit des Rohgutes im Spritzmobil
- Einfache Bedienung des Gerätes, Vermeidung komplizierter Steuerungsmechanismen

Der Einsatz des Spritzbetonsystems mit auf der Baustelle hergestelltem, ofentrockenem Spritzbetonrohrgut ergab ein äußerst zufriedenstellendes Ergebnis. Die Erfahrungen mit diesem System sind im folgenden kurz umfaßt (siehe dazu auch **Bild 3**).

6.1 Trocknung und Mischen - Rohgut

- Das Trocknen unter 0,2 % Eigenfeuchte stellt unter laufender Kontrolle des Feuchtigkeitsgehaltes kein Problem dar. Dies wurde durch das einwandfreie Erstarrungsverhalten des Spritzbetons bei tagelanger Lagerung belegt.
- Die Rückführung des Abluftfiltermaterials ergab anfänglich bei den Anfahr- und Abstellvorgängen der Trocknungsanlage Schwankungen in der Sieblinie. Dies wurde durch eine Umstellung bei der Trockenanlage behoben.

Anlagenkonzept mobiles Spritzgerät



Spritzmobil:

2 Kesseleinheiten auf Fahrgestell VOLVO A 25 mit kompletter Luft-Wasser-Stromverteilung montiert. Je Kessel getrennte Hydraulikanlage, sowie Hochdruckwasserpumpen

Druckkessel:

Je Kessel 7 m³ Spritzbeton Nutzinhalt mit ovalem Innendruckdeckelverschluß. 4 Anschlüsse für Auflockerungsluft, sowie 1 Elektrorüttler für eventuelle Brückenbildung

Schneckengehäuse:

Druckdichtes Gehäuse mit innenliegendem Hydraulikabsperrschieber, Schneckenförderer und abnehmbarem Übergangskonus und Schieber zum Förderschlauch. Einbringen der Förderluft über paarig seitlich am Schneckenende angebrachte Injektordüsen.

Bild 3: Anlagenkonzept: Mobiles Spritzgerät - Transmobil

- Beim Vorratssilo (große Höhe) ist zu achten, daß dieser nicht restlos entleert wird, da dabei die Gefahr von Entmischungen besteht.
- Zur Überbrückung des Wochenendbedarfes ist eine Silokapazität von 200 - 300 m³ anzustreben.

6.2 Verarbeitung Spritzbeton

- Die angestrebte hohe Mobilität des Systems konnte vollständig erreicht werden, die Rüstzeiten beschränken sich auf das Anschließen von Wasser und Energie.
- Die Staubentwicklung konnte großteils ohne Verwendung von Vorbefeuuchtungseinheiten in einem vertretbaren Maß gehalten werden. Ausschlaggebend dafür ist die sorgfältige Reinigung der Düsenkörper, sowie ein Umgewöhnen des Personals auf „nasseres Auftragen“ dieses Spritzbetons, als beim konventionellen Spritzbeton (verbreitete Angst des Herunterfallens). Die Gleichmäßigkeit der Sieblinie ist unbedingt zu gewährleisten. Eine Weiterentwicklung der Spritzdüsen könnte noch Vorteile bringen.
- Der Verschleiß am Gerät (Schnecke) kann als vernachlässigbar eingestuft werden, jener an den Schläuchen ist stark von der Form des Zuschlages abhängig, beim trockenen Zuschlag etwas höher, als beim erdfeuchten.
- Der Rückprall ist wie bereits oben erwähnt von mehreren Komponenten stark abhängig (Befeuchtung, Gleichmäßigkeit der Sieblinie, Düsenführer, Erstarrungsverhalten des Bindemittels) und bewegt sich im üblichen Rahmen des Trockenspritzverfahrens.
- Durch die stufenlose Regelbarkeit der Förderleistung ist die Möglichkeit einer Optimierung Rückprall, Handling der Düse etc. gegeben. Als optimale Förderleistung sind ca. 7 - 8 m³/h und Düse anzusehen.

6.3 Festigkeiten, Qualität

- Die Frühfestigkeiten liegen generell im oberen Bereich von J2, in der Regel J3.
- Die Endfestigkeit liegt bei weitem über der geforderten (B 300 - B 350). Der Forderung nach Wasserundurchlässigkeit wurde immer entsprochen.
- Qualitätsschwankungen konnten kaum festgestellt werden. Durch die exakt definierte Rezeptur des Rohgutes können Schwankungen nur durch fehlerhaftes Aufbringen des Spritzbetones entstehen. Der Einfluß schwankender W/Z-Faktoren verursacht keine gravierenden Festigkeitsänderungen.

7. Spritzbetontechnologie

Die inzwischen 14-jährige Erfahrung mit Spritzbindemitteln befähigen die Zementindustrie, ein ausgewogenes Sortiment von Spritzbindemitteln mit der gleichen Zielsicherheit und Gleichmäßigkeit zu produzieren, wie man es von normalen Portlandzementen her in Europa gewohnt ist. Neben den Spritzbindemitteln für ofentrockene Zuschläge, stehen auch Bindemittel für feuchte Zuschläge mit verschiedenen Erstarrungszeiten zur Verfügung, sodaß je nach verwendeter Art der Spritzbetonaufbereitung bzw. je nach Dauer der

Feuchtekontaktzeit und Höhe der Umgebungstemperatur eine Anpassung an die jeweiligen Baustellenverhältnisse möglich ist.

Auch die jeweils sulfatbeständigen Varianten für trockene und feuchte Zuschläge können mittlerweile angeboten werden. Die Bindemittel erfüllen bei üblicher Spritzbetonzusammensetzung (370 kg/m³) die Anforderungen des Tunnelbaus (Spritzbeton 22,5 II oder III, J2) mit großem Vorhaltemaß.

Am Lainbergtunnel kam das Bindemittel ST für trockene Zuschläge in Standardqualität zur Anwendung.

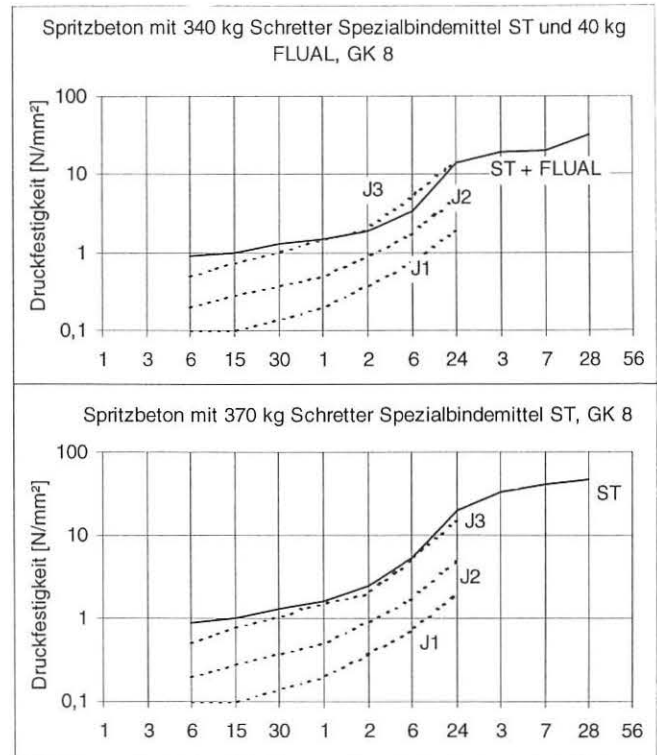


Bild 4: Eignungsprüfungen - Tunnel Lainberg

Zu Beginn der Lieferungen im Juni 1995 wurden 370 kg Bindemittel pro m³ Festbeton dosiert. Damit konnte in der Regel die Frühfestigkeitsklasse J3 und eine Bohrkernfestigkeit nach 7 bzw. 28 Tagen von 40 bzw. 48 N/mm² erzielt werden. Dies gab Anlaß, in weiterer Folge dem Bindemittel Flugasche zuzugeben, um erstens die Wirtschaftlichkeit zu verbessern und in zweiter Linie den Rückprall zu optimieren. Die neue Rezeptur enthielt 40 kg Asche St. Andrä (FLUAL) mit etwa 4500 cm³/g Blaine und 340 kg Bindemittel ST im Kubikmeter Festbeton. Die Abbindezeiten und die Frühfestigkeiten blieben von dieser Maßnahme nahezu unberührt, wie der Vergleich im Bild 4 ergibt. Die Festigkeitsentwicklung zeigte erst am 6-Stunden Druckfestigkeitswert ein leichtes Nachgeben. Wie erkennbar ist, rutschten die Werte knapp unter die J3-Grenze, behielten jedoch weiterhin ein übergroßes Vorhaltemaß auf die 1,7 N/mm² der J2-Grenze. Der niedrigste Wert trat bei einer mit Spritzschatten versehenen Probe auf und konnte zu 3,4 N/mm² ermittelt werden (Bild 5). Damit war nachgewiesen, daß auch bei nicht optimaler Düsenführung, wie sie auf jeder Baustelle

bisweilen vorkommt, die geforderte Spritzbetonqualität hundertprozentig gesichert ist.

7.1 Eigenschaften des Bindemittels

Blaine-Wert:

Der Blaine-Wert bewegt sich zwischen 3800 cm²/g und 4100 cm²/g.

Bindezeiten:

Die Bindezeit ist relativ kurz und beträgt unter Laborbedingungen 30 bis 60 Sekunden für den Erstarrungsbeginn. Das Erstarrungsende, gemessen am Bindemittel-Wasser-Gemisch mit W/B=0,4, erfolgt nach etwa 15 bis 20 Sekunden. Mit diesen Erstarrungszeiten, bei der gleichzeitig kräftigen Frühfestigkeitsentwicklung, war es stets möglich gefahrlos bis zu 30 cm Spritzbeton in einem Arbeitsgang zu spritzen. Die Frühfestigkeiten, gemessen nach einer in Diskussion stehenden Prüfmethode für Schnellbindemittel (Zylindermethode), erwiesen sich bei den 10-Minuten-, 1-Stunden- und den 24-Stunden-Werten durchaus vergleichbar mit den erzielbaren Spritzbetonfestigkeiten. Lediglich die 6-Stunden-Werte lagen deutlich niedriger als die zugehörigen Spritzbetonfestigkeiten. Sie befanden sich jedoch damit auf der sicheren Seite (Bild 5).

- Feuchtigkeit

Das Bindemittel ist gegenüber Feuchtigkeit empfindlich. Die Zuschläge dürfen deshalb nicht mehr als 0,3 % Wassergehalt aufweisen. Mehrmaliges Umblasen mit 2 bar Druckluft beeinträchtigen die Abbindeigenschaften jedoch nicht. Hochgespannte Preßluft sollte jedoch auf keinen Fall für Umblasvorgänge verwendet werden, da sie im allgemeinen viel zu viel Wasser mit sich führt.

- Lagerfähigkeit

Im geschlossenen vollen Silo ist die Lagerfähigkeit durchaus mit einigen Monaten anzugeben.

- Temperatur

Das Bindemittel ist gegenüber erhöhten Lagerungstemperaturen, wie sie aufgrund der Beimengung ofengetrockneter Zuschläge auftreten können, absolut unempfindlich.

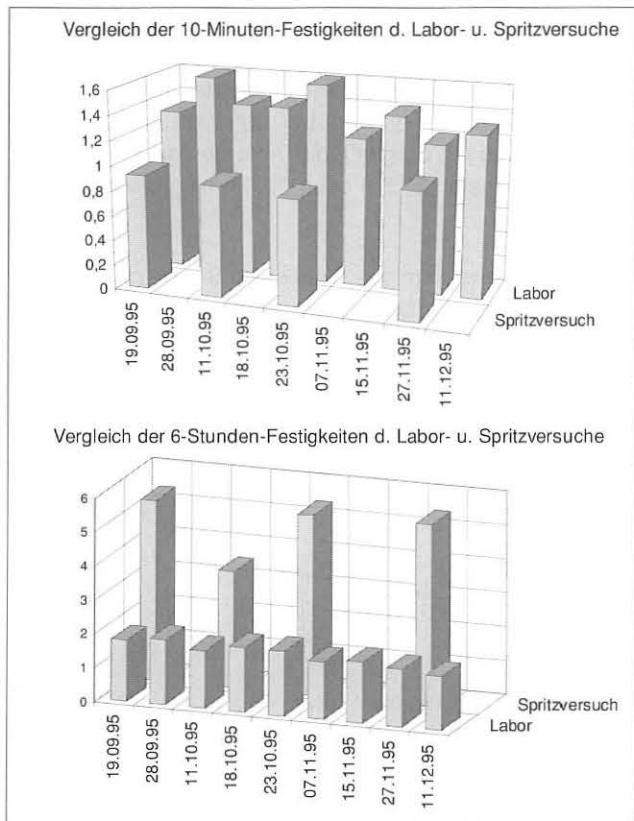


Bild 5: Vergleich der Festigkeiten - Spritzbindemittel -ST

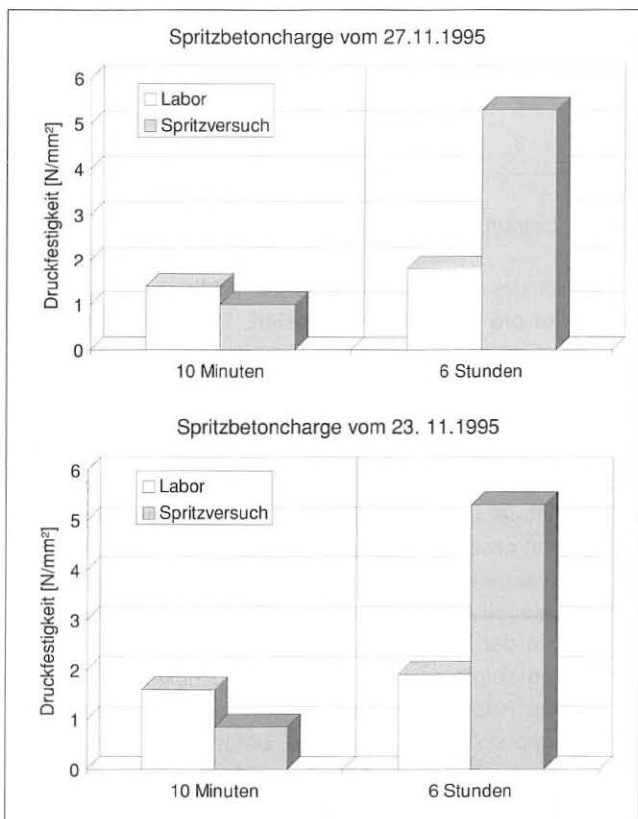


Bild 6: Spritzbindemittel ST; Vergleich zwischen Praxis- und Laborversuchen

Datum	Festigkeitsentwicklung in N/mm ²		
	10 Minuten	6 Stunden	24 Stunden
19.09.1995	1,3	1,8	19,3
28.09.1995	1,6	1,9	16,2
11.10.1995	1,4	1,7	15,7
18.10.1995	1,4	1,9	18,5
23.10.1995	1,6	1,9	17,1
07.11.1995	1,2	1,7	15,4
15.11.1995	1,4	1,8	15,2
27.11.1995	1,2	1,7	16,2
11.12.1995	1,3	1,6	20,7
Mittelwert	1,38	1,78	17,14
Standardabw.	0,15	0,11	1,93

Tab. 1: Eigenüberwachung des Spritzbindemittels ST

- Gleichmäßigkeit:

Was die Gleichmäßigkeiten der Eigenschaften betrifft,

brauchen die gemessenen Werte (Tab. 1) einen Vergleich mit normalem Portlandzement nicht zu scheuen.

Die Produktionsschwankungen innerhalb des Lieferzeitraumes lagen bei weitem niedriger, als es das jeweilige Vorhaltemaß zugelassen hätte, sodaß davon ausgegangen werden kann, daß keine einzige der etwa 1900 Spritzbetonchargen (Kesselfüllungen des verwendeten Spritzmobils) den Anforderungen nicht entspricht (Bild 7 und Tab. 1).

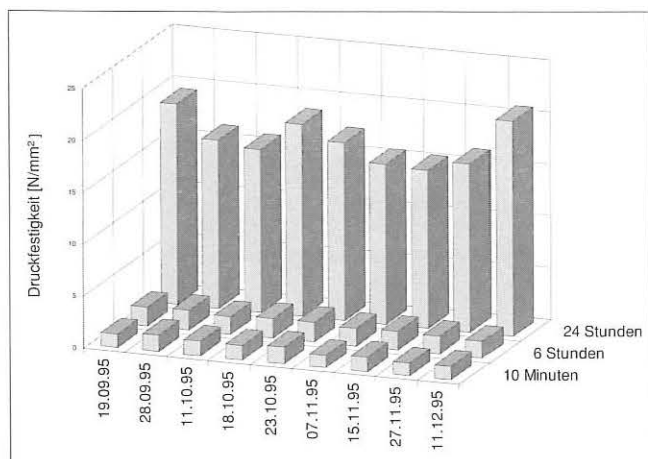


Bild 7: Spritzbeton ST: Streuung der Frühfestigkeit

Auch bei fallweise aufgetretenen Verarbeitungsfehlern in Form von Spritzschatten infolge schlechter Benetzung konnten die Anforderungen bezüglich Festigkeit und der Wasserdichtigkeit mühelos eingehalten werden (Bild 8).

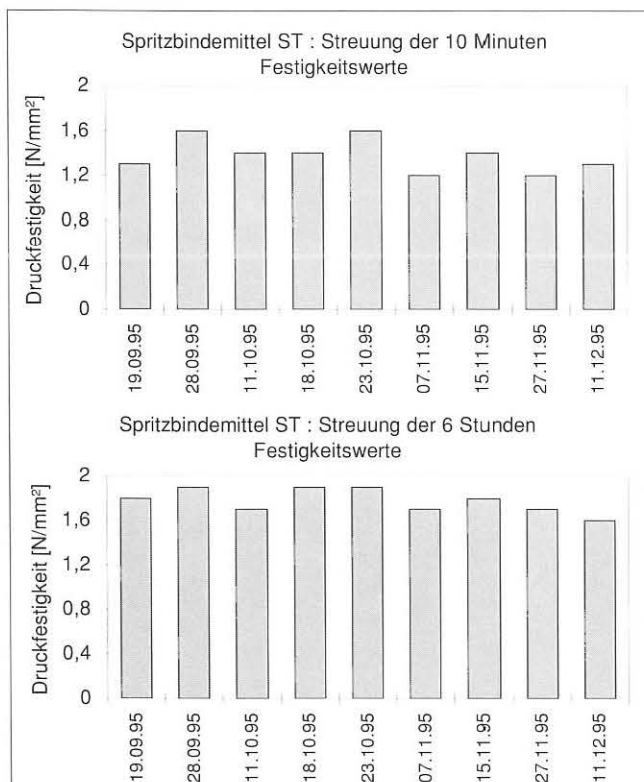


Bild 8: Vergleich der Streuung der Festigkeitswerte - Spritzbeton ST

7.2 Prüfmethode zur Überwachung von Spritzbindemitteln (Zylindermethode)

An dieser Stelle ist es vielleicht erforderlich, einige Worte über die Prüfmethodik zur Überwachung der Frühfestigkeitseigenschaften von Spritzbindemittel zu verlieren (Bild 9).



Bild 9: Geräte zur Probenherstellung

Die gängigen Methoden der Zementnormenprüfung nach ÖNORM B 3310 oder EN 196 bzw. DIN 1164 eignen sich für schnellerstarrende Bindemittel in keiner Weise.

An der Materialversuchsanstalt der Tauernplan Prüf- und Meßtechnik (Dr. Huber) wurde deshalb in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern eine Prüfmethode ausgearbeitet, die geeignet ist, die Gleichmäßigkeit von Spritzbindemittel bezüglich Frühfestigkeitsentwicklung zu überwachen. Wie anhand der Bilder festgestellt werden kann, muß wegen der schnellen Erstarrung das Rührgefäß, ein Zylinder der Ausmaße $h = 6 \text{ cm}$ und $\varnothing = 6 \text{ cm}$, gleichzeitig als Schalung Verwendung finden. Eine abgewogene Bindemittelmenge (300 g) wird in den Zylinder mit aufgesetztem Trichter vorgelegt und Wasser (W/B 0,4 oder 0,35 je nach Wasserbedarf) zugegeben. Mit einem Akkuschauber, der mit einem in der Form geeigneten Rührwerkzeug bestückt ist, wird das Bindemittel-Wassergemisch für 15 Sekunden bei ca. 1000 Umdrehungen pro Minute gemischt. Anschließend wird mit einer Glasplatte eine glatte Zylinderstirnfläche hergestellt.

8. Zusammenfassung

Für den Hersteller ist es von besonderem Interesse, ob aus seinem Produkt, das er mit viel Aufwand an Überwachungstätigkeit mit möglichst gleichbleibenden Eigenschaften herstellt, auch ein entsprechend gleichmäßiges Endprodukt, in diesem Falle Tunnelspritzbeton, entstanden ist. Aus den Ergebnissen der begleitenden Güteüberwachung durch die Prüfstelle der Tauernplan Prüf- und Meßtechnik ist zu erkennen, daß dies in durchaus zufriedenstellendem Maße der Fall war.

