

# **Baustellengerechte Optimierung von Spritzbeton beim Roßberg-Steinberg-Tunnel, DB H/W Süd**

## **Optimization Of Shotcrete According To Site Conditions For The Construction Of The Rossberg-Steinberg Tunnel, New Hannover-Würzburg Express Railway Line, Southern Section**

Dipl.-Ing. Josef Arnold, Beton- und Monierbau GmbH, Innsbruck

Mit dem in der Würzburger Region vorhandenen Kalksplittzuschlag ist es sehr schwierig, einen Spritzbeton der Klasse B25 herzustellen. Eine sorgfältige Abstimmung der Zemente und Beschleuniger ist unbedingt erforderlich. Die Baustelle hat folgedessen eine umfassende Laborvoruntersuchung der Ausgangsmaterialien und ein Baustellenversuchsprogramm mit verschiedenen Rezepturen und Beschleunigertypen durchgeführt.

Die Spritzbetonarbeiten wurden konsequent vom Fensterstollen aus gesehen in Richtung Nord mit flüssigen BE und Richtung Süd mit pulvrigen BE ausgeführt. Vergleichende Betrachtungen von flüssigen und pulvrigen BE waren daher sowohl in betontechnologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht möglich.

Ein weiterer Schwerpunkt des Erfahrungsberichtes liegt in den aufgetretenen Schwierigkeiten des flüssigen BE's mit dem überdurchschnittlich harten Wasser von Würzburg. Ausfällungen im Wasser-BE-Gemisch und dadurch Ablagerungen in den Leitungs- und Schlauchsystemen waren die Folge.

---

With the aggregates consisting of limestone chippings available in the Würzburg area, it is very difficult to produce a class B 25 shotcrete. It is indispensable to carefully adapt the cements and accelerators used to the prevailing conditions. Therefore the base materials were subjected to a comprehensive preliminary laboratory test on site and a test program for the various concrete mix designs and types of accelerating agents was also executed on site.

Starting at the access adit, we used liquid accelerators for the shotcreting work carried out in northern direction and accelerators in powder form for the shotcreting in southern direction. Thus comparative studies of liquid and powdered accelerators were possible from the concrete technological as well as from the economical point of view.

Another part of the experience report focusses on the difficulties encountered for the liquid accelerator due to the very hard water in the Würzburg region, resulting in precipitations from the water-accelerator-mix and consequently in deposits in conduits and hoses.

---

### Einleitung

Mit dem in der Würzburger Region vorhandenen Kalksplittzuschlag ist es sehr schwierig, einen Spritzbeton der Klasse B 25 herzustellen. Eine sorgfältige Abstimmung der Zemente und Beschleuniger ist unbedingt erforderlich. Die Baustelle hat folgedessen eine umfassende

Laboruntersuchung der Ausgangsmaterialien und ein Baustellenversuchsprogramm mit verschiedenen Betonrezepturen und Beschleunigertypen durchgeführt. Die Spritzbetonarbeiten wurden konsequent vom Fensterstollen aus gesehen in Richtung Nord mit flüssigen BE und in Richtung

Süd mit pulvrigen BE ausgeführt. Vergleichende Betrachtungen von flüssigen und pulvrigen BE waren daher sowohl in betontechnologischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht möglich. Ein weiterer Schwerpunkt des Erfahrungsberichtes liegt in den aufgetretenden Schwierigkeiten des flüssigen BE's mit dem überdurchschnittlich harten Wasser von Würzburg. Ausfällungen im Wasser-BE-Gemisch und dadurch Ablagerungen in den Leitungs- und Schlauchsystemen waren die Folge.

Die angesprochenen Themen werden im weiteren in 3 Hauptabschnitten behandelt:

- Spritzbetonoptimierung
- Erfahrungen mit flüssigen Beschleunigern
- technologischer und wirtschaftlicher Vergleich flüssiger und pulvriger Beschleuniger

### 1. Spritzbetonoptimierung

## SPRITZBETONOPTIMIERUNG

- ANFORDERUNGEN GEMÄSS AUSSCHREIBUNG**
- ZUSAMMENSTELLUNG DER REGIONAL VORHANDENEN ZUSCHLÄGE, ZEMENTE, ZUSATZMITTEL, BINDEMittel**
- BEURTEILUNG DES WASSERS**
- REAKTIONSUNTERSUCHUNGEN ZEMENT/ZUSATZMITTEL IM LABOR**
- INSITU VERSUCHE (FENSTERSTOLLEN)**
- DURCHFÜHRUNG DER EIGNUNGSPRÜFUNG**
- REZEPTURÄNDERUNG AUFGRUND ERFAHRUNGEN IM LAUFENDEN VORTRIEB (GÜTEPRÜFUNG)**

Abb. 1: Schrittweiser Vorgang der Spritzbetonoptimierung

Eine baustellengerechte Optimierung von Spritzbeton mit vertretbarem Aufwand kann nur unter Berücksichtigung der im betreffenden Gebiet vorhandenen Erfahrungen und Untersuchung ausgewählter Produkte sowie in ständiger Überein-

stimmung mit den Anforderungen der Ausschreibung erzielt werden. In unserem Falle wurde folgende Vorgangsweise gewählt:

- Anforderung gemäß Ausschreibung

Zusätzlich zu DIN 18551 gilt:

Das Größtkorn ist mit 16 mm begrenzt. Der Spritzbeton muß der Festigkeitsklasse B 25 entsprechen. Die Druckfestigkeit muß nach 24 Stunden 10 N/mm<sup>2</sup> betragen. Anhand von Eignungsprüfungen sind nachzuweisen: Druckfestigkeit in Spritzrichtung und normal zur Spritzrichtung nach 1, 3, 7 und 28 Tagen. Eine monatliche Güteprüfung ist nachzuweisen. Wird die geforderte Festigkeit nicht erreicht, muß der Auftragnehmer die theoretische Stärke entsprechend einer im Vertrag definierten Formel vergrößern.

- Zusammenstellung der regional vorhandenen Zuschläge, Zemente, Bindemittel und Zusatzmittel

Als gegebene Voraussetzung ist der Zuschlag aus Mainsand und Muschelkalksplitt anzusehen. Es wurde folgende Aufteilung gewählt.

- 48 % 0/2 Mainsand
- 38 % 2/8 Muschelkalksplitt
- 16 % 8/16 Muschelkalksplitt

Um den Feinsand kostengünstig zu erhöhen, wurde die Zugabe von Füller (Arzberg) beschlossen. Die Eigenfeuchte des Sandes beträgt durchschnittlich 5,9 %.

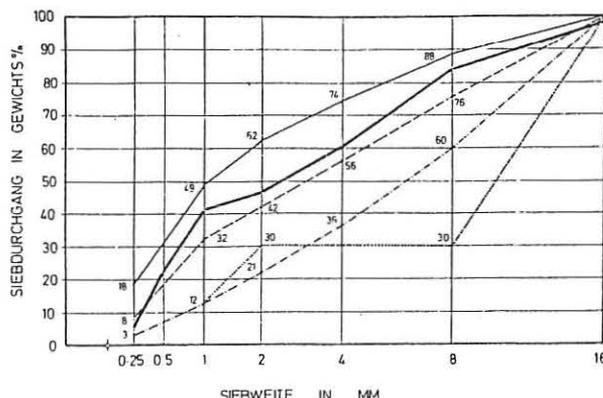


Abb. 2: Sieblinie

- Zemente: PZ 35 F  
 PZ 45 F  
 HOZ  
 HOZ 35 L NWHS alle Werk Karlstadt (Schwenk)

Zusatzmittel: Alle am deutschen Markt erhältlichen flüssigen und pulverigen Beschleuniger stehen zur Auswahl.

- Beurteilung des Wassers

Mit 40<sup>o</sup> dH Gesamthärte (entspricht etwa 300 mg Calcium/l ) ist das Würzburger Wasser als außergewöhnlich hart zu bezeichnen.

**REAKTIONSUNTERSUCHUNG LABOR**

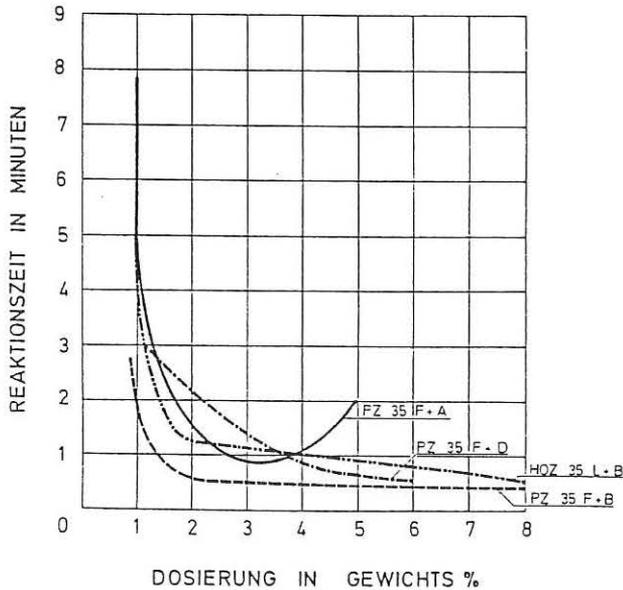


Abb. 3: Zusammenstellung Laborversuche

- Reaktionsuntersuchungen Zement/BE im Labor

Um eine Auswahl der vorhandenen Beschleuniger zu treffen, die aus technologischer Sicht (keine wirtschaftliche Betrachtung) in Frage kommen, sind Voruntersuchungen im Labor unumgänglich.

- Insitu-Versuche (im Fensterstollen) mit ausgewählten Zementen und Beschleunigern

Die auf Grund der Voruntersuchung im Labor in Frage kommenden flüssigen Zusatzmittel ( 3 verschiedene Hersteller) wurden unter Baustellenbedingungen in einem Versuchsprogramm getestet. Die Reaktion der pulverigen Zusatzmittel wurde im Zuge der Fensterstollenvortriebsarbeiten mittels Güteprüfungen optimiert.

Die Festigkeitsentwicklung wurde mit Eindringverfahren Hilti-Setzbolzenverfahren und mit Bohrkernen aus dem Bauwerk bestimmt.

Die Fensterstollenversuche zeigten, daß mit allen ausgewählten Beschleunigern die Festigkeitsanforderungen laut Ausschreibung erzielt werden konnten. Weiter war zu erkennen, daß bei Anwendung von HOZ die 24-Stunden-Festigkeit schwierig zu erreichen ist, jedoch die Endfestigkeit bei 28 Tagen den größten Wert erreicht und die beste Nacherhärtung (28 - 56 Tage) aufweist. Das sichere Erreichen der 24-Stunden-Werte entschied vorerst für den PZ 35F. Und wiederum die beste Anfangserhärtung und wirtschaftliche Überlegungen gaben den Aus-

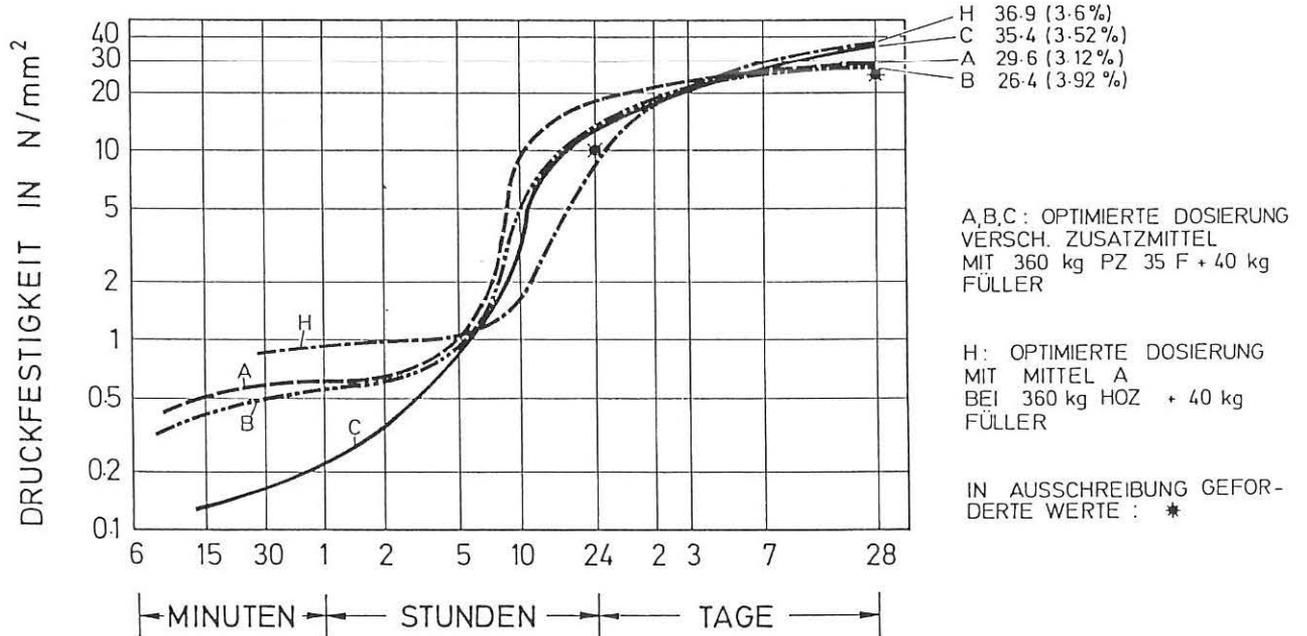


Abb. 4: Optimierte Ergebnisse bei Fensterstollenversuchsprogramm

schlag für die Wahl des Zusatzmittels A. Deutlich bewußt wurde die Tatsache, daß nur bei möglichst genauer Einhaltung der Dosierungswerte die 28-Tage-Festigkeit zu erreichen ist.

- Eignungsprüfung

Auf Grund der gewonnenen Ergebnisse im Labor und Insitu-Versuche wurde nun die Eignungsprüfung für die Anwendung des flüssigen Beschleunigers für die Spritzbetonarbeiten in Vortriebsrichtung Nord durchgeführt.

- Rezepturänderung aufgrund Erfahrungen im laufenden Vortrieb

Die monatlich durchgeführten Güteprüfungen zeigten, daß die Erreichung der 28-Tage-Festigkeitswerte speziell bei steigenden Außentemperaturen sehr schwierig wurde und in einigen Fällen sogar etwas unterschritten wurden. Die strikte Forderung seitens des Bauherrn auf Einhaltung der 28-Tage-Festigkeitswerte erwirkte eine Rezepturänderung. Die bei den Fensterstollenversuchen aufgezeigte gute Endfestigkeitsentwicklung des HOZ sprach für die Anwendung dieses Zementtyps. Silokapazitätsüberlegungen jedoch ermöglichten nur eine An-

wendung von HOZ 35 LNWS, der für die Ausführung des Sohlgewölbes im Steinbergtunnel vorzuhalten war. Gute Erfahrungen einer Nachbarbaustelle mit diesem Zement erleichterte die Entscheidung zur Anwendung. Um den Klinkeranteil im Zementgehalt zu erhöhen, wurde auf eine Rezeptur mit 400 kg Zement gewechselt und auf die Zugabe von Füller verzichtet.

## 2. Erfahrungen mit flüssigem Beschleuniger

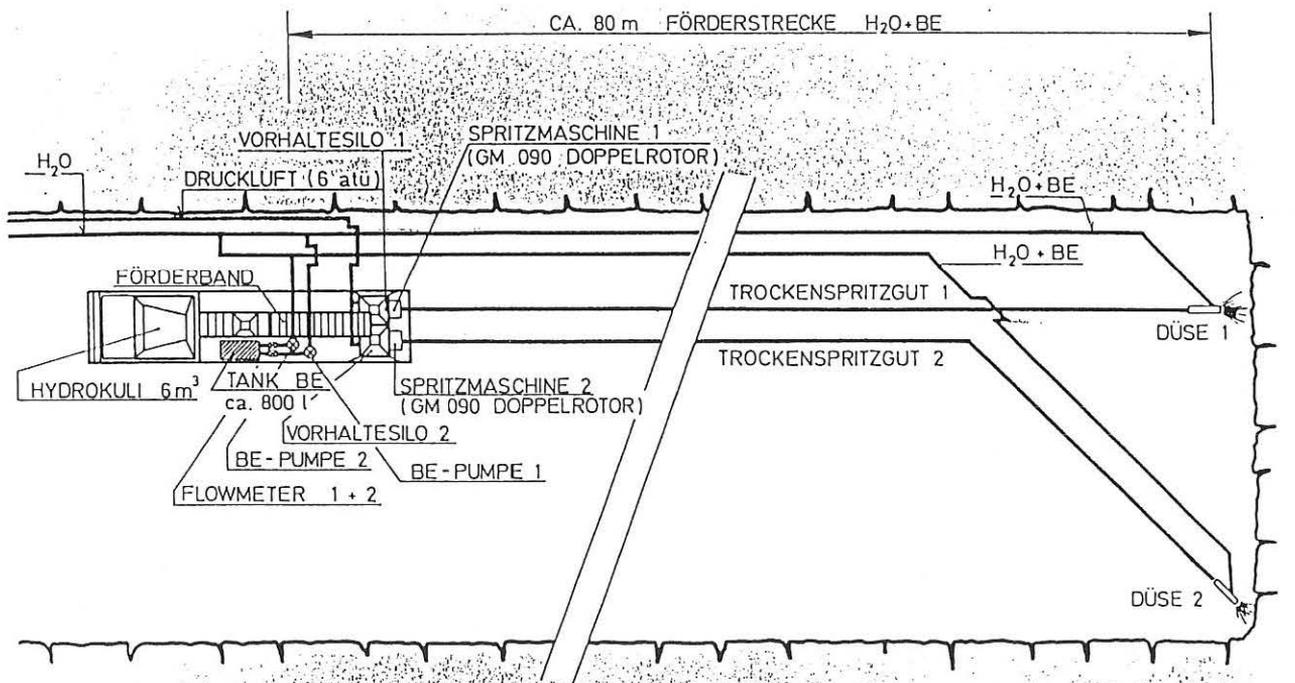
Die zwei wichtigsten Themenkreise bei der Anwendung von flüssigen Beschleunigern sind

- Verfahrenstechniken und
- Reinhalte- und Wartungsprobleme

zu Verfahrenstechniken:

Gemeinsam mit den Zusatzmittelherstellern wurden den Baustellenverhältnissen angepaßte Verfahrenstechniken überlegt und schrittweise im Zuge der Vortriebsarbeiten verbessert.

Die 3 wichtigsten Etappen dieser Entwicklung waren Reinhalte- und Wartungsprobleme



**STÖRFAKTOREN:** - LANGE Schlauchstrecke H<sub>2</sub>O/BE (Ablagerungen)  
 - STAUBENTWICKLUNG im Vorratstankbereich (Befüllung!) und Armaturen

Abb. 5: BE-Zugabe im Bereich der Spritzanlage

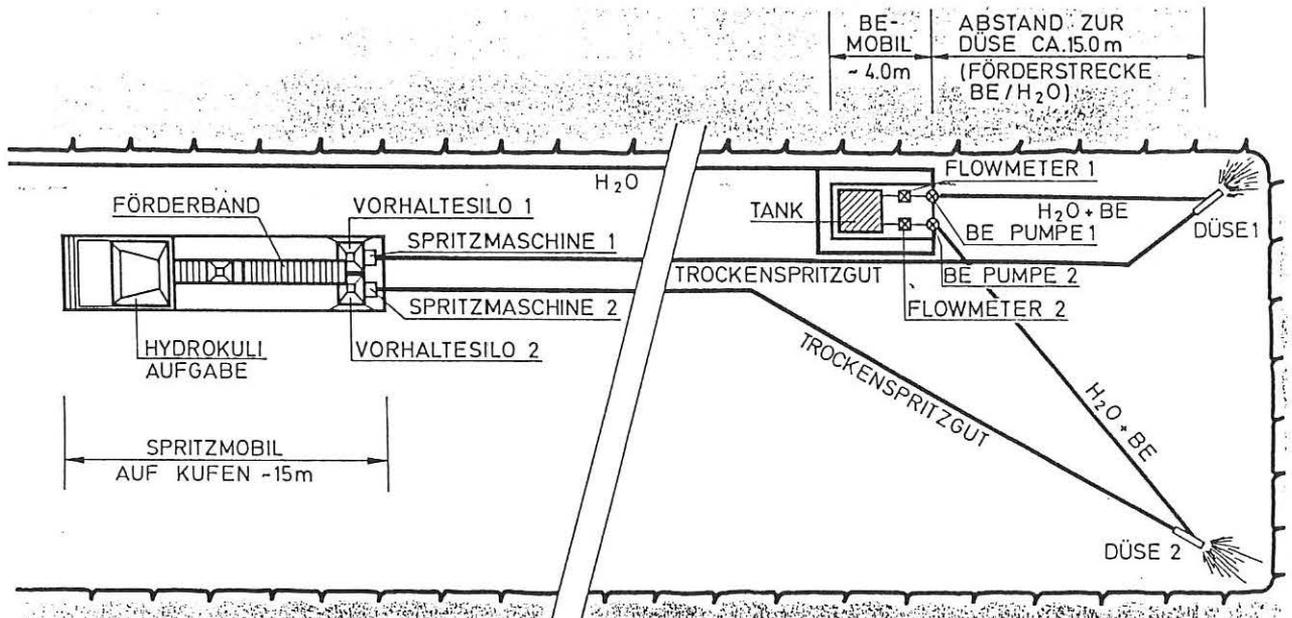


Abb. 6: BE-Zugabe zwischen Spritzanlage und Düse

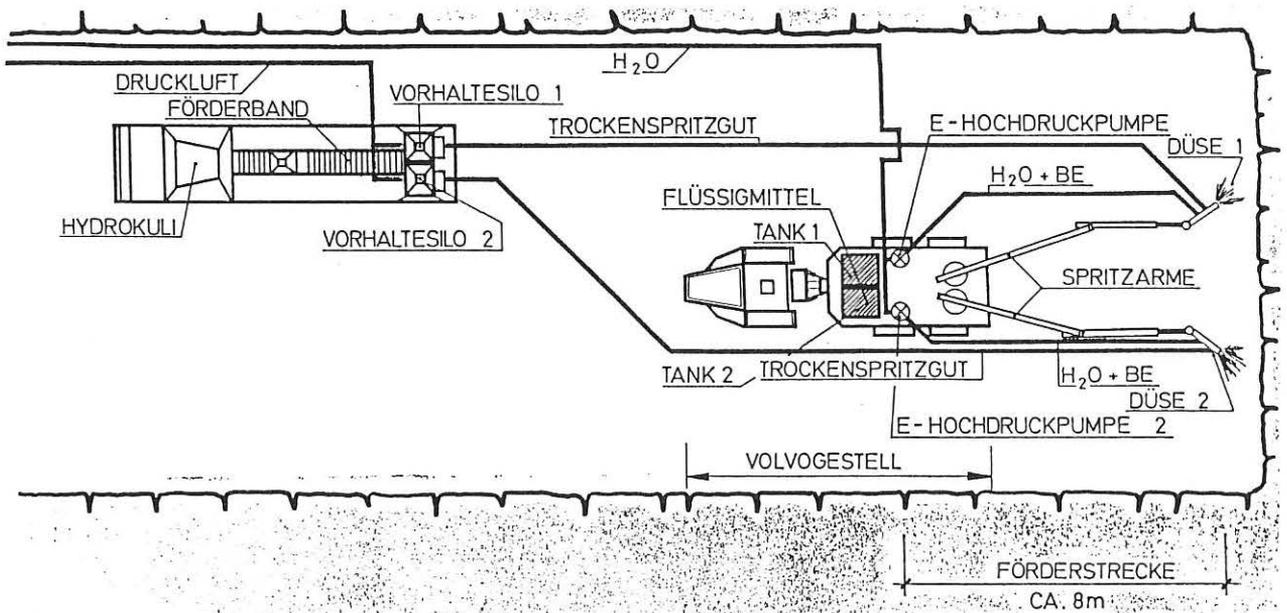


Abb. 7: BE-Zugabe auf Robojet, Anwendung von Hochdruckpumpen

- Reinhalte- und Wartungsprobleme

- Gummischläuche werden vom BE angegriffen

Die Anwendung von flüssigen Beschleunigern erfordert einen für den Tunnelbau ungewöhnlichen Wartungsaufwand. Oberstes Gebot ist Sauberkeit bei allen vom Zusatzmittel benutzten Teilen.

- Kalkablagerungen (äußerst hartes Wasser) im gesamten Schlauchsystem und an allen Metallteilen im Bereich der Mischstrecke (die Mischung BE und Wasser ergab starke Ausfällungen, durch Zwischenschaltung eines Wasserenthärter konnte dies größtenteils verhindert werden).

Probleme traten im wesentlichen auf bei:

- Verunreinigung der Zusatzmitteltanks bei Anlieferung
- Ablagerung infolge Auskristallisation im Vorratstank

- Verstopfung der Hochdruckdüsen (nach jedem Spritzvorgang wechseln und säubern)
- Verstopfung der Reinigungssiebe

Durch konsequente Wartung konnte all diesen Störungen begegnet werden.

### 3. Technologischer und wirtschaftlicher Vergleich flüssiger und pulveriger Beschleuniger

Ein Vergleich der wichtigsten technologischen Merkmale bei Spritzbeton, Klebeeffekt und Festigkeitsentwicklung fällt eindeutig zu Gunsten des flüssigen Beschleunigers aus. Beim Klebeeffekt konnte dies speziell bei extremen Verhältnissen (Feuchtstellen, Nachbrüche) festgestellt werden. Der Grund ist wohl die besonders gute Durchmischung bei Zugabe mit Hochdruckpumpen.

Eine Gegenüberstellung der Güteprüfungen zeigte, daß der Spritzbeton mit flüssigen BE immer etwas bessere Werte aufzeigte.

Es wurden keine Messungen bezüglich Staubeentwicklung und Rückprall durchgeführt, jedoch eine Beurteilung aller Beteiligten favorisiert auch in diesen Punkten die Zugabe von flüssigen BE.

Bei der wirtschaftlichen Beurteilung wird es nun schwierig. Ein Vergleich der Dosierung über einen längeren Zeitraum zeigt:

flüssiger BE	Kalotte Nord	Ø 5,5 %
pulvriger BE	Kalotte Süd	Ø 9,8 %

Dies bedeutet, daß der Kostenfaktor

$$\text{pulvriger BE} : \text{flüssiger BE} = 1 : 1,8$$

sein muß, um eine wirtschaftliche Gleichstellung zu bekommen. Dabei ist der Mehraufwand aus Dosierungspumpen, Schlauchsystemen etc. in den BE-Preis umzulegen.

Bei unserer Baustelle lagen die Kosten für Anwendung pulveriger BE niedriger. Abschließend ist zu bemerken, daß bei gemeinsamer Anstrengung von Zusatzmittelhersteller und Bauausführenden nach der Suche einer optimierten baustellengerechten Anwendung sowie einer angepaßten Preisgestaltung, der Zugabe von flüssigen BE Vorrang zu geben ist.