



## **Einfluss der Zementeigenschaften auf beschleunigten Nassspritzbeton**

### **- Möglichkeiten und Grenzen -**

Walter Steinwender, Zementwerk Wietersdorf, Entwicklung & Qualitätskontrolle

#### **Allgemeines**

Der Einsatz von beschleunigtem Nassspritzbeton im Tunnelvortrieb ist heute ein etabliertes Verfahren, das gegenüber dem Trockenspritzverfahren eine Reihe von Vorteilen aufweist. Die Technik gilt als ausgereift und zuverlässig.

Trotzdem treten immer wieder Unregelmäßigkeiten bei der Festigkeitsentwicklung des „Jungen Spritzbetons“ auf, die in den meisten Fällen von der Tunnelbaufirma bzw. der Spritzbetonhersteller auf die Zementeigenschaften zurückgeführt werden.

#### **Vergabepaxis für den Spritzbetons**

Es ist üblich, abhängig von der Gebirgsart, „Jungen Spritzbeton“, der Klasse J2 oder J3 auszuschreiben.

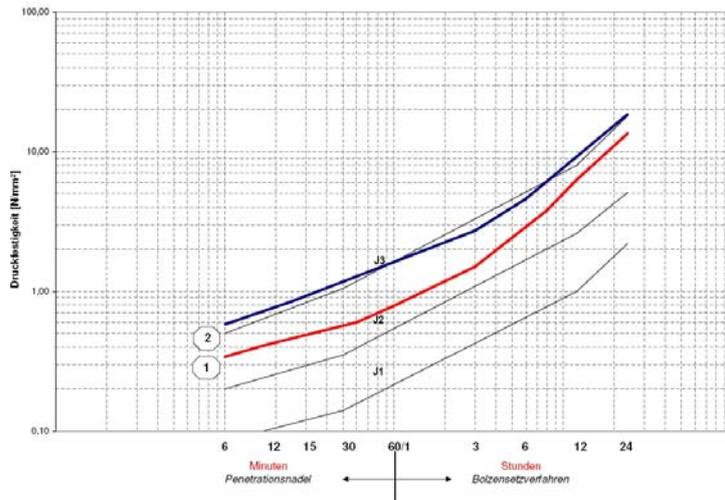
Da selbst bei derart heiklen Bauvorhaben wie dem Tunnelbau den Kosten eine wesentliche Bedeutung zukommt, werden meist bestbietende Betonlieferanten beauftragt. Dies bedingt den Einsatz kostengünstiger Gesteinskörnungen sowie in vielen Fällen die Verwendung eines marktüblichen Normzements. Der Betonhersteller sucht sich weiters einen Beton-Zusatzmittellieferanten für Fließmittel und Verzögerer.

Die Auswahl des Beschleunigers, erfolgt durch die Tunnelbaufirma meist ohne Abstimmung mit dem Betonlieferanten. Im Rahmen der Erstprüfung wird der bereits festgelegte Beton mit verschiedenen Spritzbetonbeschleunigern getestet. Unter dem Gesichtspunkt der Kostenoptimierung wird jener Beschleuniger gewählt, der im festgelegten Betonsystem gerade noch die Anforderungen an die Spritzbetonklasse erfüllt.

Als Beispiel ist in *Abbildung 1* die Frühfestigkeitsentwicklung eines „J2-Spritzbetons“, wie sie bei der Erstprüfung (Kurve 1) gemessen wurde, abgebildet.

Für den normalen Tunnelvortrieb reichen diese Betoneigenschaften auch aus. Im praktischen Vortrieb können sich die Anforderungen an den Spritzbeton durch schlechtes Gebirge, Wasserandrang oder hohe Auftragsstärken erhöhen.

Kommen zu den unvermeidlichen Schwankungen aller Betonbestandteile noch die erwähnten erschwerten Vortriebsbedingungen, ist ein gerade noch funktionierendes System in der Regel diesen erhöhten Anforderungen nicht mehr gewachsen. In solchen Fällen kommt es fast immer zur Reklamation, die durch eine sorgfältigere Abstimmung aller Bestandteile vermeidbar gewesen wäre.



**Abbildung 1: Festigkeitsverlauf von beschleunigtem Nassspritzbeton**

Aus diesem Grund mussten während einer laufenden Tunnelbaustelle der gelieferte Normzement so modifiziert werden, dass die Festigkeitsentwicklung im applizierten Nassspritzbeton nahe des „J3“-Bereiches (*Abbildung 1*; Kurve 2) zu liegen kam, um eine kostspieligen Unterbrechung des Tunnelvortriebs zu verhindern. Ursache für die erhöhten Anforderungen war der Vortrieb in schlechtem Gebirge, der Spritzbeton-Auftragsstärken bis 30 cm erforderte.

### Optimierung des Zementes

Für die Optimierung der Zementeigenschaften war die Entwicklung einer Labormethode notwendig, die die Beurteilung der Zementeigenschaften im Labor erlaubte. Mithilfe der bewährten Vicat-Methode wird die Eindringtiefe der Nadel in Zementleim, versetzt mit dem Fließmittel und Beschleuniger nach 5, 8, 10, 12 und 15 Minuten gemessen. Eine Verringerung der Eindringtiefe über die Zeit weist auf die zunehmende Erhärtung des Zementleims hin. Mit dieser relativen Methode konnten ausgehend von einem Zement bekannter Wirkungsweise im Nassspritzbeton die Einflussparameter untersucht und optimiert werden. Zu den Eigenschaften im applizierten Spritzbeton konnte eine gute Korrelation gefunden werden.

Als wesentliche Einflussparameter wurde

- Die Art des Sulfatträgers (Gips)
- Die Klinkermineralogie, speziell der Alit-Gehalt, die Kristallmodifikation des Kalziumaluminats und der Alkaligehalt
- Die Kornverteilung des Zements in Form der Mahlfeinheit nach Blaine, Kornfraktionen <math><40\mu\text{m}</math> und <math><10\mu\text{m}</math> sowie die Steilheit  $n$  der Siebkurve im RRS-Netz
- Die Art und Menge des Chromatreduktionsmittel

gefunden.

### Grenzen des Bindemittels; betontechnologische Einflüsse

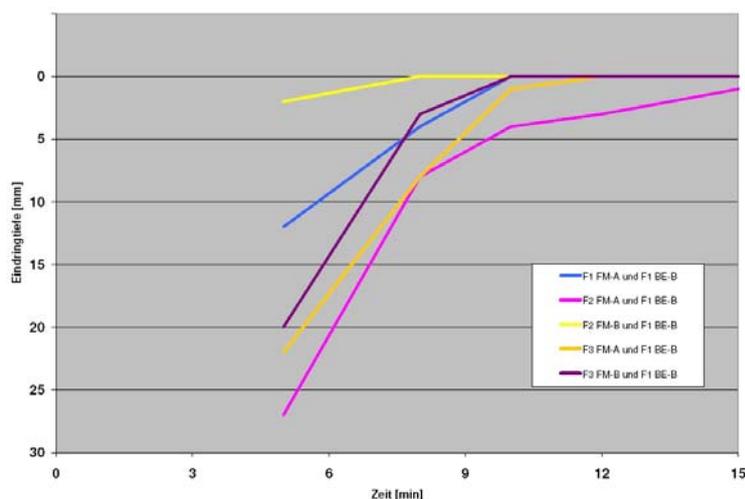
Weitergehende Laboruntersuchungen mit der Vicat-Methode am Zementleim sowie betontechnologischen Untersuchungen zeigten auf, dass die gängige Vorgangsweise der getrennten Auswahl von Gesteinskörnungen, Zement, Betonzusatzmittel und Beschleuniger in den meisten Fällen kaum das volle Potential eines Nassspritzbeton ausschöpfen kann.

Sehrwohl wird jedoch gerade in schwierigen Vortriebsbereichen von den Tunnelbaufirmen höchste Leistungsfähigkeit des Spritzbetons gefordert. Wertvolles Potential des aufwändig optimierten Zements bzw. des Betons bleibt ungenutzt.

Bislang sind folgende betontechnologische Einflussgrößen auf die Spritzbetoneigenschaften bekannt:

- Qualität der Gesteinskörnung, besonders der Feinanteil
- Bindemittelgehalt
- Betonzusatzmittel wie Fließmittel und Verzögerer
- Art und Menge des Beschleunigers
- Kombination von Fließmittel und Beschleuniger

Besonders der starke Einfluss der Kombination von Fließmittel und Beschleuniger auf die Festigkeitsentwicklung des jungen Spritzbetons konnte mit der beschriebenen Labormethode herausgearbeitet werden. In *Abbildung 2* ist die Festigkeitsentwicklung am Zementleim mittels der Vicat-Methode mit einem ausgewählten Beschleuniger bei Verwendung von Fließmittel unterschiedlicher Hersteller innerhalb der ersten 15 Minuten dargestellt. Die Beschleunigerwirkung zeigt eine starke Abhängigkeit vom Fließmitteltyp. Diese Ergebnisse gelten nur für eine bestimmte Zementsorte und sind nicht auf andere Zementsorten oder Zemente anderer Hersteller übertragbar.



**Abbildung 2: Einfluss verschiedener Fließmittel auf die Beschleunigerwirkung**

Abgerundet wurden diese Ergebnisse durch betontechnologische Untersuchungen im Labormaßstab. Bei der Auswahl der Betonkomponenten ist auch zu berücksichtigen, dass der Beton im Dickstromverfahren zur Spritzdüse gefördert wird, d.h. gut pumpbar sein muss. Auch diese Laborergebnisse konnten am applizierten Spritzbeton verifiziert werden.

## Ausblick

Ein wesentlicher Aspekt der Präsentation der erarbeiteten Zusammenhänge ist, Verständnis für die komplexen Zusammenhänge bei beschleunigtem Nassspritzbeton allen Verantwortlichen im Tunnelbau nahe zu bringen. Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen ist eine Intensivierung der Zusammenarbeit der Tunnelbauer, der Betonherstellern, der Zementlieferanten und nicht zuletzt der Zusatzmittelhersteller dringend notwendig. Denn letztlich sollte es das Ziel aller Beteiligten sein, dem Tunnelbauer einen optimalen, sicheren Spritzbeton für die Vortriebsarbeit zu liefern.