

Die Anwendung von Spritzbeton aus der Sicht der Bauüberwachung

The Application Of Shotcrete From The Construction Supervisor's Point Of View

Dipl.-Ing. G. Judtmann, Ingenieurgesellschaft Lässer-Feizlmayr, Innsbruck

Der Spritzbeton ist ein wesentlicher Bestandteil des modernen Untertagebaues. Um dieser Rolle voll gerecht zu werden, muß er verschiedenen Anforderungen genügen.

Die technischen Eigenschaften leiten sich aus den konstruktiven und statischen Bedürfnissen ab, wobei im allgemeinen Spritzbeton der Klasse B 225 bzw. B 25 gefordert wird. Es gilt also zuerst durch Eignungsprüfungen nachzuweisen, daß die geforderten Eigenschaften erreicht werden. Diese Eignungsprüfung ist dabei mit dem gleichen Material und den gleichen Geräten, wie sie auf der Baustelle eingesetzt werden, aber vor in Angriffnahme der Arbeiten durchzuführen.

Während der Arbeit sind dann die Spritzbetoneigenschaften durch Güteprüfungen zu überwachen, wobei zu dieser Überwachung auch die Kontrolle der Stärke durch Bohrungen gehört. Darüber hinaus muß ständig kontrolliert werden, ob die eingesetzte Mischung der Mischung entspricht, mit der die Eignungsprüfung ausgeführt worden ist. Der Beigabe des Erstarrungsbeschleunigers kommt hier eine bedeutende Rolle zu.

Ein weiterer, in manchen Fällen entscheidender Faktor zur Herstellung eines einwandfreien Spritzbetons ist die sachgemäße Verarbeitung. Es kommt vor allem auf die richtige Handhabung der Düse an. Der Einsatz von Spritzrobotern bringt hier eine Erleichterung. Insbesondere beim Naßspritzbeton ist sehr auf die Vermeidung von Spritzschatten zu achten.

Als Abschluß werden Vergleichszahlen angegeben, die aus den 38 km zweigleisigen Eisenbahntunneln der Neubaustrecke Hannover - Würzburg, Projektgruppe Süd stammen und aus denen der Vergleich von theoretisch eingebauter, zu kalkulierter und zu tatsächlich eingebrachter Spritzbetonmenge interessante Aspekte aufzeigt.

Nowadays shotcrete plays an essential part in the construction of underground structures. In order to stand the test, the shotcrete must meet various requirements.

The technical properties are determined by the structural requirements, a B 225 or B 25 shotcrete being specified in most cases. So first of all it must be checked in qualification tests if all requirements can be met. For the qualification test, which must be carried out before the commencement of the shotcreting operations, the material and equipment to be employed on site must be used.

During construction operations the shotcrete properties must be controlled by quality checks, borings in order to determine the thickness of the shotcrete layers being part of these checks. Moreover, it must be regularly checked if the mix used corresponds to the mix that has been subjected to the qualification test. The admixture of the accelerating agent is of special importance in this respect.

Another important, in some cases even decisive factor for the production of a flawless shotcrete is the proper placing of the shotcrete, the correct manipulation of the spray jet being of special importance. Here the use of shotcrete manipulators helps to improve the method of application. Especially when using the wet shotcreting method, special care must be taken in order to avoid that there are zones lacking shotcrete.

At the end of the paper comparative figures from the 38-km-long double-track railway tunnels of the new Hannover-Würzburg Express Line, Southern Section are quoted. They give an interesting comparison between the theoretical, the calculated and the actually placed quantities of shotcrete.

1. ALLGEMEINES

Bei der Herstellung von unterirdischen Hohlräumen nach der neuen österreichischen Tunnelbauweise kommt dem Spritzbeton eine ganz besondere Bedeutung zu, da dieser ein wesentliches Element der tragenden Außenschale darstellt. Die Anwendung dieser Bauweise im großen Stil ab den 50iger Jahren ist erst durch die Entwicklung von leistungsfähigen Spritzbetonmaschinen, mit denen problemlos ohne Vorbehandlung trocken angeliefertes Spritzbetongut verarbeitet werden kann, möglich geworden.

Die Technologie des Spritzbetons hat sich in den letzten Jahren stark entwickelt und bei Einhaltung der dafür aufgestellten Regeln dürfte es keine Schwierigkeiten mehr bereiten, die geforderten Werte einzuhalten und eine technisch einwandfreie Spritzbetonschale herzustellen.

Dennoch kommt es immer wieder zu Beanstandungen durch die Überwachenden Organe, sei es, daß die Festigkeiten nicht eingehalten werden, oder daß in der Spritzbetonschale selbst Hohl- oder Fehlstellen auftreten. Die Ursachen dieser Erscheinungen sind meistens in der Nichtbeachtung von Grundregeln und in primitiven Fehlern zu suchen. Das vorliegende Referat soll neben einem kurzen Überblick über die Anforderungen und die notwendigen Prüfungen für den Spritzbeton darlegen, daß bei der Eignungsprüfung bereits die nötige Sorgfalt angewendet und bei der Ausführung auf eine einwandfreie Verarbeitung geachtet werden soll.

2. ANFORDERUNGEN AN DEN SPRITZBETON

Die Anforderungen an den Spritzbeton leiten sich aus den statischen und konstruktiven Erfordernissen ab. Um den Verlauf der Festigkeit und des E-Moduls, die bei der Berechnung der einzelnen Bauzustände eine Rolle spielen,

festzustellen, sind für die Eignungsprüfung über die Normen hinausgehende Anforderungen notwendig. Es wird dabei vorausgesetzt, daß ein B 225 bzw. B 25 verlangt wird. Es soll auch gleich noch bemerkt werden, daß es sinnlos ist, an einen Ort und Stelle gemischten Spritzbeton höhere Anforderungen zu stellen.

- Anfangsfestigkeit nach 24 Stunden mindestens 10 N/mm^2
- Druckfestigkeit in Spritzrichtung nach 1, 3, 7 und 28 Tagen, jeweils an 3 Zylindern.
- Druckfestigkeit normal zur Spritzrichtung nach 1, 3, 7 und 28 Tagen, ebenfalls an 3 Zylindern.
- E-Modul normal zur Spritzrichtung nach 1, 3, 7 und 28 Tagen, wobei die Dehnungsmessungen im mittleren Bereich der Probekörper durchzuführen sind. Die Bestimmung des E-Moduls bei verschiedenem Alter erfolgt an ein und derselben Probe, wobei die Druckfestigkeit nach 28 Tagen ermittelt wird.
- Die Spaltzugfestigkeit normal zur Spritzrichtung nach 1, 3, 7 und 28 Tagen.

Diese Eignungsprüfungen sollten vor Beginn der Arbeiten vorliegen. Sie sollen aber andererseits mit dem später zur Verwendung kommenden Material und mit den gleichen Maschinen hergestellt werden, die für den Tunnelbau selbst eingesetzt werden. Eine brauchbare Eignungsprüfung ist daher erst dann möglich, wenn die Baustelleneinrichtung vorhanden ist und wenn die Arbeiten beginnen. Die Prüfung der einzelnen Komponenten muß als Vorbereitung für die Eignungsprüfung im Labor erfolgen, die Eignungsprüfung selbst dann an Ort und Stelle, wie schon erwähnt, mit den Geräten, die auf der Baustelle echt eingesetzt werden.

Es ist sinnvoll, die Arbeiten mit einer Mischung zu beginnen, die der Erfahrung entspricht und dann über Versuchs-spritzungen, bei denen allenfalls auch verschiedene Erstarrungsbeschleuniger untersucht werden können, die endgültige Eignungsprüfung durchzuführen (Abb. 1).

Es kommt dabei der Abstimmung des Zusatzmittels mit dem Zement eine ganz besondere Bedeutung zu, wobei diese Abstimmung nicht nur zu Beginn, sondern auch während der laufenden Arbeit durchgeführt werden soll, da sehr oft

a) Trockenspritzverfahren

- 0 - 2 mm Natursand, 670 kg je m³ oder 38 %
- 2 - 8 mm Kalksplitt, 870 kg je m³ oder 46 %
- 8 - 16 mm Kalksplitt, 286 kg oder 16 %
- Zement PZ 35 F, 360 kg je m³

Erstarrungsbeschleuniger
pulverförmig, Tricosal 7 - 9 % des Zementgehaltes

flüssig, Sigunit L61 3 - 6 % des Zementgehaltes, Beigabe über das Anmachwasser.

| Prüfung nach: Prüfrichtung | 24 Std. | | 3 Tagen | | 7 Tagen | | 28 Tagen | |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| | Raumgew. kg/dm ³ | Druckfest. N/mm ² | Raumgew. kg/dm ³ | Druckfest. N/mm ² | Raumgew. kg/dm ³ | Druckfest. N/mm ² | Raumgew. kg/dm ³ | Druckfest. N/mm ² |
| In Spritzrichtung | 2,283 | 12,0 | 2,262 | 18,0 | 2,270 | 25,0 | 2,230 | 31,7 |
| | 2,301 | 11,7 | 2,263 | 17,1 | 2,290 | 25,5 | 2,220 | 30,8 |
| | 2,296 | 10,7 | 2,228 | 14,4 | 2,300 | 24,9 | 2,280 | 30,1 |
| | | ∅ 11,4 | | ∅ 16,5 | | ∅ 25,1 | | ∅ 30,9 |
| Normal zur Spritzrichtung | 2,280 | 10,6 | 2,287 | 19,8 | 2,240 | 24,7 | 2,260 | 31,1 |
| | 2,260 | 11,5 | 2,267 | 16,2 | 2,280 | 25,3 | 2,240 | 31,0 |
| | 2,270 | 11,1 | 2,200 | 14,3 | 2,280 | 25,1 | 2,250 | 32,1 |
| | | ∅ 11,1 | | ∅ 16,8 | | ∅ 25,0 | | ∅ 31,4 |

Abb. 1: Eignungsprüfung für Spritzbeton B 25
Ergebnisse von Druckfestigkeitsprüfungen an Bohrkernen d = 100/h = 200 mm

der Zement Schwankungen unterliegt, die ausgeglichen werden müssen.

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Beigabe von Zusatzmitteln durch die Norm mit 50 g je 100 kg Zement begrenzt. Beim Trockenspritzverfahren mit pulverförmigen Zusatzmitteln kann damit kaum das Auslangen gefunden werden. In der Praxis werden bis zu 10 % verwendet und dies ist auch sehr oft die Ursache von unbefriedigenden Festigkeiten. Bei flüssigen Zusatzmitteln, die nunmehr in erhöhtem Maß Verwendung finden, sieht es etwas anders aus.

Beim Naßspritzverfahren kann, solange Wasserglas verwendet wird, die angegebene Dosierung nicht eingehalten werden. Sie liegt in der Praxis um 12 bis 16 % des Zementgewichtes. Erst die Verwendung von Aluminaten kann hier Abhilfe bringen. Es ist hier die Entwicklung noch nicht abgeschlossen.

Als Beispiel für tatsächlich in Einsatz gekommene Spritzbetone wird nachstehend eine Rezeptur sowohl für das Trockenspritzen als auch für das Naßspritzverfahren angegeben.

b) Naßspritzverfahren

- 0 - 2 mm Natursand, 750 kg je m³ oder 45 %
- 2 - 8 mm Kalksplitt, 921 kg je m³ oder 55 %
- Zement PZ 35 F, 420 kg je m³
- W/Z Wert 0,45

Erstarrungsbeschleuniger

Natron - Wasserglas flüssig, Typ 37 - 40,
12 - 14 % des Zementgehaltes.

Es sei hier noch auf eine Entwicklung hingewiesen, daß einige Zementfabriken fabrikmäßig fertig gemischtes Spritzbetongut herstellen, das in Säcken oder Großbehältern auf die Baustelle transportiert wird. Diese Entwicklung ist sicher sehr positiv zu bewerten, da diese fabrikmäßige Fertigung die Gleichmäßigkeit der Mischung garantiert, die Festigkeitsreserven so groß sind, daß Schwankungen in der Verarbeitung viel leichter aufgefangen werden können. Unter ungünstigen Bedingungen wurde ein derartig vorgemischtes Spritzbetongut beim Bau des Ergänzungsstollen der Zugspitzbahn

verwendet, es wurden hier Festigkeiten von 50 - 60 N/mm² erreicht. Die etwas höheren Kosten können sicher durch verminderten Rückprall und durch die gleichmäßige Qualität ausgeglichen werden. Es sei hier auf eine ähnliche Entwicklung bei den Ankermörteln hingewiesen.

3. SPRITZBETONPRÜFUNGEN

3.1 Güteprüfungen

Die Festigkeit des Spritzbetons wird im allgemeinen durch Güteprüfungen festgestellt. Es gelten die Festlegungen in den einschlägigen Normen. Darüber hinaus soll aber die verwendete Mischung laufend dem Augenschein nach überwacht werden, damit ein gleichmäßiges und klumpenfreies Zementzusatzstoffgemisch verwendet wird. Die Eigenfeuchtigkeit des angelieferten Materials spielt zwar für die Bontechnologie keine Rolle, da die Zugabe des Wassers erst an der Düse erfolgt, aber für die Verarbeitung ist sie von Bedeutung. Am günstigsten ist die Verarbeitung von erdfeuchtem Material, das beim Zusammendrücken in der Faust nur langsam zerfällt. Ist das Material zu feucht, verlegen sich die Materialwege in der Maschine und es kommt zu Verstopfungen, die in mühsamer Arbeit wieder behoben werden müssen.

Zu trockenes Material kann ebenfalls zu Störungen führen, es wird ungleichmäßig gefördert und die Staubeentwicklung ist größer. Die ungleichmäßige Förderung erschwert es dem Düsenführer gleichmäßig Wasser zuzugeben und einen gleichmäßigen Spritzbeton zu erzeugen.

Für die Prüfung des Festbetons, insbesondere der Druckfestigkeit, hat sich bewährt, daß einmal im Monat an jeweils 3 Zylindern die Druckfestigkeit in Spritzrichtung nach 1 und 28 Tagen festgestellt wird. Ebenso ist die Spaltzugfestigkeit einmal monatlich nach 28 Tagen an 3 Zylindern zu prüfen.

Zweckmäßig ist die Entnahme aus dem Bauwerk mit Bohrkernen. Die Festigkeit braucht dann nur 85 % der geforderten Werte erreichen. Bei Abweichungen von den Werten der Eignungsprüfung ist zu kontrollieren, ob auch tatsächlich die Mischung verwendet wird, die der Eignungsprüfung zugrunde gelegen ist. Sehr oft liegt die Ursache von zu geringen Festigkeiten in der zu hohen Dosierung des Erstarrungsbeschleunigers,

wenn z. B. die Eignungsprüfung mit 4 % Beigabe gemacht worden ist, die tatsächliche Beigabe aber bei 7 % liegt, kann man sich leicht vorstellen, daß der Festigkeitsabfall so groß ist, daß die geforderten Werte nicht erreicht werden können. Es sollte der laufende Verbrauch dieses Erstarrungsbeschleunigers durch Rückrechnung überprüft werden.

| Prüfergebnisse | | | | | | | | | | Spritzbeton | | Kalotte - Nord | | Blatt 1 | |
|----------------------|---------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----|----|-------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|----|
| B 25 - Sorte | | | | | | | | | | K (a.v) | | 2 | | kg/m ³ | |
| Firma, Niederlassung | | | | | | | | | | Baustelle, Feldfabrik, Werk | | Bauleiter, Werkleiter | | | |
| Probekörnr. | Herzst. Datum | Prob. Alter Tage | Ergebnis (N/mm ²) | Ergebnis (N/mm ²) | Größtkörnung | | | Probekörnr. | Herzst. Datum | Prob. Alter Tage | Ergebnis (N/mm ²) | Ergebnis (N/mm ²) | Größtkörnung | | |
| | | | | | 0 | 16 | 32 | | | | | | 0 | 16 | 32 |
| 7 | 12.4. | 88 | 27 | | | | | 1 | 22.10 | 25 | 37 | | | | |
| 8 | " | " | 30 | | | | | 2 | " | " | 35 | | | | |
| 9 | " | " | 28 | | | | | 3 | " | " | 34 | | | | |
| 11a | 14.8. | 28 | 19 | 19a | | | | 1 | 9.11. | 17 | 28 | | | | |
| 11b | " | " | 19 | | | | | 2 | " | " | 20 | | | | |
| 11c | " | " | 19 | | | | | 3 | " | " | 20 | | | | |
| 12a | " | " | 29 | | | | | 1 | 9.11. | 20 | 33 | 15a | | | |
| 12b | 7.8. | 28 | 30 | | | | | 2 | " | " | 37 | | | | |
| 12c | " | " | 28 | | | | | 3 | " | " | 37 | | | | |
| 18 | " | " | 30 | | | | | 1 | 8.11. | 18 | 25 | | | | |
| 1 | 22.7. | 49 | 25 | | | | | 2 | " | " | 24 | | | | |
| 2 | " | " | 28 | | | | | 3 | " | " | 24 | | | | |
| 3 | " | " | 17 | | | | | 1 | 10.12. | " | 17 | | | | |
| 7 | 30.6. | 21 | 28 | | | | | 2 | " | " | 32 | | | | |
| 7 | " | " | 18 | | | | | 3 | " | " | 30 | | | | |
| 3 | " | " | 14 | | | | | 4 | 10.11. | " | 17 | | | | |
| 7 | 19.7. | 28 | 35/11 | 19a | | | | 2 | " | " | 17 | | | | |
| 2 | " | " | 55/21 | | | | | 6 | " | " | 19 | | | | |
| 3 | " | " | 47/10 | | | | | 1 | 16.01. | 27 | 32 | | | | |
| 7 | 22.7. | 28 | 23 | | | | | 1 | " | " | 33 | | | | |
| 2 | " | " | 19 | | | | | 3 | " | " | 26 | 15a | | | |
| 3 | " | " | 30 | | | | | 1 | 16.01. | 28 | 32 | | | | |
| 1 | 8.10. | 28 | 26 | | | | | 2 | " | " | 34 | | | | |
| 2 | " | " | 20 | | | | | 3 | " | " | 38 | | | | |
| 3 | " | " | 29 | | | | | 1 | | | | | | | |
| | | | | | | | | 2 | | | | | | | |

Abb. 2

In den Tabellen (Abb. 2, 3, 4) sind tatsächlich erreichte Festigkeiten angegeben, wobei hier ein B 25 gefordert worden ist. Insbesondere bei der Tabelle für die Kalotte Süd ist deutlich zu erkennen, wie nach anfänglich zu niedrig liegenden Werten und einer größeren Streuung sich die Werte eingependelt haben. Es wurden hier nach umfangreichen Probeprozessen Verbesserungen an der Ausgangsmischung vorgenommen.

Wird die geforderte Festigkeit durch die Güteprüfungen nicht nachgewiesen, kann dies durch die Vergrößerung der theoretischen Stärke ausgeglichen werden. Es gilt dann die Formel

| Prüfsergebnisse | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------|------------------|----------|-------------------|---|---|-----------------|-----------------|--------------|--------------------|----------|-------------------|----------------|---|
| B 22 Sorte K(a,v) 2 kg/m³ w/z-Soll | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma, Niederlassung Baustelle, Feldfabrik, Werk Bauleiter, Werkleiter | | | | | | | | | | | | | | | |
| Probekörper-Nr. | Druckfestigkeit | | | w/z-Wert | Grafische Urliste | | | Probekörper-Nr. | Druckfestigkeit | | | w/z-Wert | Grafische Urliste | | |
| | Herst.-Datum (t.g.) | Prüf.-alter (Tage) | Ergebnis (N/mm²) | | Ergebnis (w/z) | 2 | 3 | | 4 | Herst.-Datum | Prüf.-alter (Tage) | | Ergebnis (N/mm²) | Ergebnis (w/z) | 2 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 14.2. | 14 | 22 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 3

| Prüfsergebnisse | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|--------------------|------------------|----------|-------------------|---|---|-----------------|-----------------|--------------|--------------------|----------|-------------------|----------------|---|
| B 22 Sorte K(a,v) 2 kg/m³ w/z-Soll | | | | | | | | | | | | | | | |
| Firma, Niederlassung Baustelle, Feldfabrik, Werk Bauleiter, Werkleiter | | | | | | | | | | | | | | | |
| Probekörper-Nr. | Druckfestigkeit | | | w/z-Wert | Grafische Urliste | | | Probekörper-Nr. | Druckfestigkeit | | | w/z-Wert | Grafische Urliste | | |
| | Herst.-Datum (t.g.) | Prüf.-alter (Tage) | Ergebnis (N/mm²) | | Ergebnis (w/z) | 2 | 3 | | 4 | Herst.-Datum | Prüf.-alter (Tage) | | Ergebnis (N/mm²) | Ergebnis (w/z) | 2 |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 11.4. | 14 | 21.9 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 11.4. | 14 | 26.6 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 12.3. | 14 | 21.7 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 4.8. | 14 | 23 | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 11.6. | 14 | 21 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 6.8. | 14 | 14 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | 7.8. | 14 | 12 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | 9.8. | 14 | 14 | | | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | | | | | | | | | | | |

Abb. 4

$$d_1 = \left(\frac{F}{M} - 1\right) \times d$$

wobei F die geforderte Festigkeit in N/mm²
 M die gemessene Festigkeit in N/mm²
 d die geforderte Stärke in cm
 d₁ die Mehrstärke in cm bedeutet.

werden. Bei Nichterreichen der Spritzbetonfestigkeit sind unbedingt Maßnahmen zu treffen, um die Festigkeit zu verbessern. Diese Formel soll nur helfen, vorhandene Mehrstärken auszunützen.

Falls eine größere Stärke nicht vorhanden ist und auch nicht nachträglich hergestellt werden kann, dann kann ein Ausgleich in der Abminderung des Preises erfolgen, wobei man sich dann überzeugen muß, ob die nun geringere Tragfähigkeit ausreichend ist.

3.2 Überprüfung der Stärke

Die Stärke des Spritzbetons wird im Zuge der Festlegung der Sicherungsmaßnahmen bestimmt und muß, beispielsweise in einer Ausbaufestlegung, dokumentiert werden (Abb. 5).

| | | |
|--|--|-----------------------|
| Deutsche Bundesbahn PGR H/W SÜD der Bahnbauzentrale OBJEKT : | | |
| AUSBAUFESTLEGUNG LFD. NR.: | | |
| AUSBRUCH-BEREICH K Kalotte St Strosse S Sohle | STATION von m bis m | AKL : |
| Maßstab 1:200 | | |
| | | |
| ABSCHLAGSLÄNGE : M | | |
| SPRITZBETONSTÄRKE : CM | | |
| BETONSTAHLMATTE : | | |
| AUSBAUBOGEN Typ Abstand | | |
| ANKER Typ Länge Anzahl Längsabstand Patrone Vorspannung | | |
| SCHLAPPE /- GEWÖLBE : | | |
| SONSTIGES : | | |
| FÜR DIE DEUTSCHE BUNDESBahn BÜ : | FÜR DEN AUFTRAGNEHMER ARGE : | DATUM |

Abb. 5

Deutsche Bundesbahn PGR H/W SÜD der Bahnbauzentrale
 OBJEKT :
 SPRITZBETON - ÜBERPRÜFUNG DER STÄRKE LFD. NR. /...

STATION m

| PROFIL - BEREICH | SOLLSTÄRKE : GEMÄSS AUSBAUFEST- LEGUNG LFD. NR. /... | GEMESSENE STÄRKE: (MITTELWERT) |
|------------------|--|-----------------------------------|
| KALOTTE | cm | cm |
| STROSSE | cm | cm |

FÜR DIE DEUTSCHE BUNDESBAHN FÜR DEN AUFTRAGNEHMER DATUM:
 ILF: ARGE:

Abb. 6

Die Kontrolle der Stärke soll in regelmäßigen Abständen, beispielsweise alle 100 m, erfolgen und nach einem Schema vorgenommen werden. Als Beispiel gilt beiliegendes Formular (Abb. 6), aus dem zu ersehen ist, daß über einem Tunnelquerschnitt 14 Punkte festgelegt werden, an denen die Stärke durch Bohrungen überprüft wird. Bei hervorspringenden und im festen Verband mit dem Gebirge stehenden gesunden Felsecken braucht die Spritzbetonstärke nicht immer erreicht werden. Für die Mindestdeckung dieser Stellen kann folgende Regel gelten:

Bei Spritzbetonstärken kleiner 10 cm $1/2$ der angeordneten Stärke

bei Spritzbetonstärken größer/gleich 10 cm $2/3$ der angeordneten Stärke.

Ein Verstärken einer Spritzbetonschale durch Nachspritzen soll nur in Ausnahmefällen erfolgen, es muß dann durch zusätzliches Anbringen und Verankern eines Baustahlgewebes eine Verbindung hergestellt werden. Es ist schon öfters beobachtet worden, daß der Verbund von solchen nachgespritzten Schichten mit der

Unterlage gering ist und bei Beanspruchungen sich die komplette Schale löst.

4. HINWEISE FÜR DIE AUSFÜHRUNG

Neben diesen Prüfungen, die der effektiven Qualität und der Stärke des Spritzbetons dienen, ist die augenscheinliche Überprüfung der richtigen Anwendung des Spritzbetons notwendig. Auf den Einfluß der Feuchtigkeit des Spritzbetongutes wurde bereits hingewiesen.

Für die einwandfreie Verdichtung des Spritzbetons am Gebirge und für die Größe des Rückpralles ist die Richtung des Spritzstrahles und der Abstand der Düse maßgebend. Die Richtung soll normal zur Tunnelaibung, der Abstand der Düse soll nicht mehr als 2 m betragen.

Eine Verbesserung der Gesamtqualität bringt das Vorspritzen vor dem Aufbringen der 1. Lage Baustahlgitter, bei dem die größten Unebenheiten bereits ausgefüllt werden (Abb. 7). Es wird dadurch vermieden, daß größere Mengen Spritzbeton durch das Baustahlgitter, das an den Stößen doppelt liegt, gespritzt werden muß.

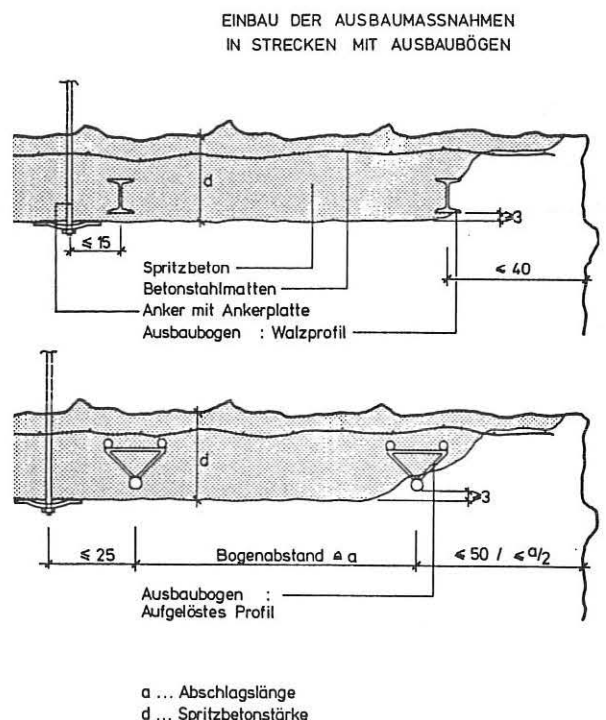


Abb. 7

Beim Naßspritzbeton und bei Verwendung von Wasserglas kommt noch dazu, daß beim Spritzen durch ein Baustahlgitter Feinteile durch das

rasche Erstarren an den Stäben haften bleiben und es so zu dem Zuwachsen des Gitters kommt. Nur durch sehr umsichtige Düsenführung können derartige Erscheinungen, die zu Hohlraumbildungen hinter dem Spritzbeton führen, vermieden werden.

Ein weiteres Problem ist das Einspritzen der Tunnelbögen. Ein Tunnelbogen ist nur dann voll wirksam, wenn er satten Kontakt mit dem Gebirge hat. Dieser satte Kontakt kann nur erreicht werden, wenn insbesondere bei den Walzprofilträgern auch von der Brustseite her gespritzt werden kann. Hier bringt der Einsatz von Spritzrobotern Vorteile, da wegen der kurzen Düsenlänge und der guten Manövrierbarkeit auch von der Brustseite her gespritzt werden kann.

Bei aufgelösten Profilen ist wieder darauf zu achten, daß es nicht hinter den einzelnen

Stäben zu Spritzschatten kommt. Auch hier muß die Düse entsprechend geführt werden, um dies zu vermeiden.

Bei diesen Profilen ist es zweckmäßig, wenn der an der Ortsbrust aufgestellte Tunnelbogen zuerst nur mit den außenliegenden Stäben eingespritzt wird. Das Einspritzen der innenliegenden Stäbe erfolgt dann mit dem nächsten Abschnitt.

5. SPRITZBETONVERBRAUCH

Anschließend soll eine Zusammenstellung über den tatsächlichen Verbrauch des Spritzbetons an den 38 km zweigleisigen Eisenbahntunneln der Deutschen Bundesbahn, Neubaustrecke Hannover/Würzburg dargelegt werden (Abb. 8). Es wurden die theoretische Spritzbetonkubatur,

SPRITZBETON-AUßENSCHALE-VERBRAUCH

| Angaben zum Tunnel | | Länge | m | 37.908 | 2.126 | 5.513 | 753 | 4.472 |
|------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------|--------|---------|--------|---------|-------|
| | Fläche Außenschale | m ² | 1.110.239 | 62.445 | 149.245 | 21.107 | 139.493 | |
| SPRITZBETON MENGENANGABEN | IST | m ³ | 544.006 | 28.559 | 58.655 | 11.637 | 92.200 | |
| | KALK | m ³ | 394.800 | 32.785 | 55.271 | 5.717 | 46.673 | |
| | THEOR | m ³ | 231.774 | 14.800 | 23.358 | 5.275 | 32.051 | |
| | m ³ / 1fm IST | m ³ /1fm | 14.351 | 13.433 | 10.639 | 15.454 | 20.617 | |
| | m ³ / 1fm KALK | m ³ /1fm | 10.415 | 15.421 | 10.026 | 7.593 | 10.437 | |
| | m ³ / 1fm THEOR | m ³ /1fm | 6.114 | 6.962 | 4.237 | 7.006 | 7.167 | |
| ANGABEN DER STÄRKE | d IST | cm | 48.999 | 45.735 | 39.301 | 55.133 | 66.096 | |
| | d KALK | cm | 35.560 | 52.503 | 37.034 | 27.086 | 33.459 | |
| | d THEOR | cm | 20.876 | 23.701 | 15.651 | 24.993 | 22.977 | |
| FAKTOREN | KALK / THEOR | | 1.703 | 2.215 | 2.366 | 1.084 | 1.456 | |
| | IST / THEOR | | 2.347 | 1.930 | 2.511 | 2.206 | 2.877 | |
| | IST / KALK | | 1.373 | 0.871 | 1.061 | 2.035 | 1.975 | |

Geologie

Mittl. Muschel-
kalk

Ob. Mittl.
Unt. Buntsand-
stein

Mittl.
Buntsand-
stein

Mittl. Bunt-
sandstein

Abb. 8

das ist theoretische Fläche mal vereinbarter Stärke, den Werten gegenübergestellt, die die einzelnen ausführenden Firmen kalkuliert haben. Weiters wurde die tatsächliche Menge angeliefertes Spritzbetongut mit der theoretischen Menge verglichen. Alle Werte beziehen sich auf feste m^3 .

Es ist dabei nur der Spritzbeton für die Außenschale in Betracht gezogen worden. Nicht berücksichtigt wurden Brustversiegelungen, Sicherung von Zwischenbauzuständen, Kalottensohlgewölbe und dergleichen.

Als erstes ist die Gesamtmenge aller 37,908 km Tunnel angegeben. Es ist daraus zu sehen, daß der Faktor der theoretischen Stärke zur kalkulierten Stärke 1,703 beträgt, d. h. im Mittel haben die Firmen rund 70 % Mehrverbrauch an Überprofil und Rückprall gerechnet. Der Faktor von ist zu theoretisch beträgt 2,347. Der Faktor von ist zu kalkuliert 1,373, d. h. es wurden 37,3 % mehr Spritzbeton in den Tunnel gebracht als kalkuliert und damit bezahlt wurde. In Zahlen ausgedrückt sind das rund 145.000 m^3 Spritzbeton.

In den weiteren Spalten sind dann einzelne Tunnel angeführt, wobei hier die Extremwerte herausgegriffen wurden. Man sieht, daß ein Tunnel weniger Spritzbeton gebraucht hat als kalkuliert wurde, und ein weiterer Tunnel doppelt so viel als kalkuliert wurde, verbraucht hat. Diese Zahl soll den Kalkulanten zu denken geben und sie sind mit ein Grund, warum viele Baustellen negativ abschließen.

Ich möchte daher als Abschluß darauf hinweisen, daß eine richtige Kalkulation mit kostendeckenden Preisen unbedingt Voraussetzung für ein gutes Gelingen eines Bauwerkes ist. Es liegt mit in der Verantwortung des Bauherren, Aufträge zu kostendeckenden Preisen zu vergeben. Angebote mit offensichtlichen Spekulationen sollten ausgeschieden werden. Unterpreise führen unweigerlich zu einer Verschlechterung der Qualität. Außerdem wird bei negativem Abschneiden einer Baustelle immer wieder versucht werden, durch Nachforderungen die Bilanz aufzubessern. Die angeführten Angaben über den Spritzbetonverbrauch sollen sowohl ein Denkanstoß sein, Maßnahmen zu überlegen, diesen Mehrverbrauch zu vermeiden als auch ehrlich zu kalkulieren.