
Erfahrungen mit Spritzbeton in Russland

EXPERIENCE WITH SHOTCRETE IN RUSSIA

BMSTR. DIPL.-ING. ERWIN BROCK, BETON- UND MONIERBAU, INNSBRUCK

Im Rahmen eines Vertrages über "Know How Transfer" sollte beim Bauvorhaben "Protonenbeschleuniger Protvino" in der Nähe von Moskau die Neue Österreichische Tunnelbauweise eingeführt werden.

Neben Planungsleistungen, Maschinen- und Materiallieferungen war die spritzbetontechnologische Betreuung, Schulung und Überwachung Bestandteil dieses Vertrages.

Die Herstellung und Verarbeitung von Spritzbeton ist zwar auch in Rußland keine technische Neuerung - spezielle Normen und Richtlinien waren jedoch nicht bekannt.

Ziel der Schulung und Beratung war, theoretische und praktische Grundlagen zu schaffen, die es ermöglichen, unter Baustellenbedingungen qualitativ akzeptable Spritzbetonqualitäten zu erreichen.

Voruntersuchungen von Zement und Zuschlagstoffen wurden vom Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck durchgeführt.

Die Lieferung von pulvrigen und flüssigen Zusatzmitteln war Bestandteil des Vertrages - die Abstimmung auf vorhandene Zemente wurde vom Hersteller (Fa. Sika) vorgenommen, wie auch die Durchführung der laufenden Überwachung auf der Baustelle.

Sämtliche Geräte und Maschinen für die Herstellung und Verarbeitung des Spritzbetons waren ebenfalls im Lieferumfang enthalten, und zwar für Trocken- und Naßspritzbeton.

Großangelegte Versuche unter Baustellenbedingungen mit pulvrigen und flüssigen Zusatzmitteln aus österreichischer Produktion und Beschleunigern aus russischer Produktion waren vorgesehen.

Stark schwankende Zementqualitäten und zum Teil schlechte Sieblinien der Zuschlagstoffe führten zwangsläufig dazu, daß bei den Vortriebsarbeiten nur das Trockenspritzverfahren mit pulvrigen Beschleunigern angewendet werden konnte. Der Einsatz von flüssigen Beschleunigern und die Verwendung von Naßspritzbeton beschränkte sich auf Versuche am Spritzstand.

Unter Berücksichtigung aller vorhandenen Schwierigkeiten kann das Ergebnis der 3-monatigen Schulung und Beratung trotzdem als befriedigend bezeichnet werden.

As part of a contract on the transfer of know-how, it was decided to introduce the New Austrian Tunneling Method for the construction project "Proton Accelerator Protvino" near Moscow.

Apart from engineering services and the delivery of machinery and materials, technical assistance,

training and supervision with regard to shotcrete technological aspects formed part of this contract.

Although Russia already had some experience in preparing and placing shotcrete, specific standards and guidelines were not available.

The purpose of the training and consulting scheme was to establish both a theoretical and a practical basis which should allow to achieve acceptable shotcrete qualities under construction site conditions.

Preliminary tests of cement and aggregate were performed by the Institute for Construction Materials and Material Testing at Innsbruck University.

The delivery of powdery and liquid admixtures was part of the contract. The supplier (Sika) adjusted them to the available cement and was also in charge of the day-to-day site supervision.

All machinery and equipment for shotcrete production and placing were also included in the contract; this covered dry-mix and wet-mix shotcrete.

Large-scale tests under site conditions were foreseen with powdery and liquid admixtures made in Austria and with accelerators produced in Russia.

As a result of the strongly fluctuating cement qualities and of the partly unfavorable aggregate grading curves, only the dry-mix method with powdery accelerators could be applied. The use of liquid accelerators and the placing of wet-mix shotcrete were limited to a test stand.

Despite the various difficulties, the results of the 3-month training and consulting scheme can be regarded as satisfactory.

Im Rahmen eines Maschinenlieferungsvertrages erhielt die Firma Beton- und Monierbau Ende 1989 den Auftrag beim Bau des Protonenbeschleunigers in Protvino (ca. 150 km südwestlich von Moskau) die Neue Österreichische Tunnelbauweise auf der Baustelle einzuführen.

Der Auftraggeber, das Ministerium für Verkehrswegebau, hatte eine große Teilschnittmaschine sowie Ausrüstungen für die Herstellung und Verarbeitung von Beton und Spritzbeton in Deutschland eingekauft.

Das Gesamtbauvorhaben, ein unterirdischer Ring von 24 km Länge in 50 bis 70 m Tiefe, war in einzelne Bauabschnitte aufgeteilt.

Den Zugang zu der Strecke ermöglichten insgesamt 21 vertikale Schächte. Der Kreisquerschnitt der Hauptstrecke mit 5,50 m Durchmesser wurde mit kanadischen Vollschnittmaschinen und russischen Handschilden mit Einbau von Stahlübungen aufgeföhren.

Zahlreiche kleine Umgehungsstollen, Kavernen und Experimentierhallen für den späteren Betrieb waren geplant.

Eine dieser Experimentierhallen, mit einer Länge von 500 m und einem Hufeisenquerschnitt mit einer Breite von ca. 9 m und einer Höhe von ca. 8 m, sollte nach der NÖT aufgeföhren werden.

Der Vertrag, der an die Firma Schwing-Stetter

und Beton- und Monierbau erteilt wurde, umfaßte die Lieferung von drei kompletten Tunnelbetonierzügen für die Herstellung und Verarbeitung von Ort- und Spritzbeton, die Lieferung von Spritzbetonbeschleuniger, die Planung der Vortriebsarbeiten sowie die Planung der Außen- und Innenschale samt statischen Berechnungen. Die Lieferung eines Baustellenlabors und die Lieferung von Ausrüstung für geodätische Vermessung und geotechnische Überwachung war ebenso Bestandteil des Vertrages wie die Schulung des Baustellenpersonals.

Für die vertraglich fixierte Schulungszeit von 3 Monaten wurden Bauleiter, Vermessungsingenieur, Geotechniker, Betontechnologe, Maschinenmeister, Poliere und Mineure auf die Baustelle entsandt.

Der Auftraggeber verlangte Trocken- und Naßspritzverfahren. Als Beschleuniger sollten Wasserglas aus russischer Produktion, sowie pulvrigen und flüssige Beschleuniger aus westlicher Produktion verwendet werden.

Betontechnologisch begleitete das Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck die Arbeiten.

Als Ausgangsstoffe für die Spritzbetonherstellung standen ein russischer Zement PZ 500 sowie Zuschlagstoffe aus der näheren Umgebung

der Baustelle zur Verfügung, die im Baustofflabor der Universität Innsbruck untersucht wurden, mit dem Ziel eine Spritzbetonrezeptur zu entwickeln und einen für den Zement geeigneten Beschleuniger zu empfehlen.

Der Zement:

Drei Zementproben standen für Untersuchungen zur Verfügung. Der Vergleich der Analysen hinsichtlich der chemischen und physikalischen Zusammensetzung ergab sehr große Schwankungen - als bezeichnendes Beispiel sei hier nur der Blaine-Wert erwähnt, der Streuungen von 2640 cm²/g bis 3290 cm²/g erreichte - für Spritzbeton ohnehin zu geringe Werte.

Die technologischen Daten, wie Siebrückstände, Biegezug- und Druckfestigkeiten waren gleichermaßen unterschiedlich und mit heimischen Zementen nicht vergleichbar.

Das Ergebnis der Zementanalysen deutete darauf hin, daß dieser Zement für Spritzbeton nicht sonderlich gut geeignet war.

Die Zuschlagstoffe:

Zur Auswahl standen Sand 0/4 mm und Kies 5/10 mm, 5/20 mm und 10/20 mm; für den Spritzbeton sollten die Fraktionen 0/4 und 5/10 verwendet werden.

Zur Untersuchung im Baustofflabor stand nur der Sand zur Verfügung; die Siebanalyse ergab einen sehr hohen Anteil zwischen 0,25 mm und 0,5 mm, die Anteile an Körnung kleiner 0,25 mm bzw. größer 0,5 mm waren sehr gering, Anteile unter 0,063 mm fehlten zur Gänze, der Wasseranspruch hielt sich dadurch in Grenzen. Für die Baustellenrezeptur wurde ein Mischungsverhältnis von 70% Sand und 30% Kies 5/10 vorgeschlagen.

Erstarrungsbeschleuniger:

Auf Wunsch des Auftraggebers sollte neben der im Vertrag vorgesehenen Lieferung von Beschleunigern aus dem Westen, Wasserglas aus russischer Produktion zum Einsatz kommen, zumindest sollte jedoch eine entsprechende Dosierung empfohlen werden.

Die Laborversuche mit dem vorliegenden Zement und Wasserglas ergaben eine notwendige Dosierung von mindestens 19% um brauchbare Erstarrungszeiten zu erreichen.

Die Auswahl der Erstarrungsbeschleuniger gestaltete sich infolge der stark schwankenden Zementqualität als sehr schwierig.

Versuche mit handelsüblichen pulverigen Beschleunigern für das Trockenspritzverfahren zeigten, daß kein ausreichendes Erstarrungsverhalten zu erzielen war.

Flüssige Beschleuniger sollten für das Trocken-

und Naßspritzverfahren gleichermaßen verwendet werden.

Sowohl die vertraglichen Voraussetzungen, wie auch die finanziellen Mittel ließen nachträgliches Ändern des Produktes nicht zu; Zahlungsvereinbarungen und starre Lieferungsbedingungen machten es auch notwendig die gesamte Menge an gekauften Zusatzmitteln (50 t Pulver und 10 t flüssiger Beschleuniger) in einem Transport nach Rußland zu bringen.

Spritzversuche vor Ort ließen also nur noch Dosierungsänderungen zu, Modifikationen und Einstellungen auf unterschiedliche Zementqualitäten waren nicht mehr möglich.

Nach Abschluß der Voruntersuchungen fiel die Entscheidung für Produkte der Fa. Sika.

Der flüssige Beschleuniger Sigunit L 61 mußte in seiner Zusammensetzung nicht geändert werden und konnte für beide Spritzverfahren angewendet werden. Man ging davon aus, daß auch die Pumpbarkeit des Betons beim Naßspritzverfahren ohne weitere Zusatzmittel zu erreichen war.

Da die Vorversuche mit Pulver kein befriedigendes Ergebnis erbracht hatten, wurde die Formulierung des Pulvers ohne Füllstoffe vorgenommen um das Risiko des Versagens möglichst auszuschalten, was unter Umständen die Nichterfüllung des Vertrages bedeutet hätte.

Damit waren die Vorversuche abgeschlossen.

Ein umfangreicher Bericht mit vielen praktischen Vorschlägen für Kiesaufbereitung, Zementhersteller und Baustelle wurde übergeben und die Zusicherung eingeholt, bis zum Beginn der Arbeiten optimalere Baustoffe zur Verfügung zu stellen.

Im Juni 1990, - die maschinelle Ausrüstung wie Teilschnittmaschine, Betonierzug, Baustellenlabor und Material war nach wochenlangen Schwierigkeiten auf der Baustelle angekommen und montiert, - begann das praktische Schulungsprogramm und die Vortriebsarbeiten nach der NÖT.

Erst kurz vor Beginn der Arbeiten stellte sich heraus, daß die vom Auftraggeber zu erstellende Mischanlage für das Vormischen der Zuschlagstoffe noch nicht fertiggestellt war - sie stand dann auch während der gesamten Vertragsdauer nicht zur Verfügung.

Die russische Tunnelbaufirma stellte eine behelfsmäßige Mischvorrichtung direkt neben dem Anfahrschacht auf.

Die obertägige Installation bestand aus zwei offenen Boxen für Sand und Kies; gemischt wurde volumetrisch über die Stellung von Schiebern bei den Abzughändern. Genaues Do-

sieren der beiden Fraktionen war damit nicht möglich.

Trockene Lagerung, zumindest des Sandes, war wegen fehlender Überdachung nicht möglich - die Schwankungen des Feuchtigkeitsgehaltes des Sandes lagen zwischen 4% und 17% und beim Kies zwischen 3% und 7%.

Erst als der Versuch scheiterte, die Zuschläge mit einem Drehrohrföhrer der mit Flammenwerfern bestückt war, zu trocknen, konnten die Verantwortlichen von der Vergrößerung der Boxen mit Überdachung überzeugt werden.

Die auf diese Art gemischten Zuschläge gelangten aus einem Zwischensilo über eine 50 m tiefe Bohrung mit eingebautem Fallrohr Durchmesser 400 mm in den Tunnel. Eine zweite Bohrung knapp daneben diente der Zementversorgung aus einem darüber aufgestellten Silo.

Spezielle Abzugskonstruktionen im Tunnel sorgten für eine beinahe staubfreie Übergabe in geschlossene Zement- und Kiestransportwaggons.

Zweigleisiger Ausbau im Vortriebsbereich ermöglichte einerseits die Schutterung und andererseits das ständige Vorhandensein des Betonierzuges vor Ort. (Bild 1)

Der Betonierzug, ein TBZ 15 der Fa. Stetter mit Komponenten der Firmen Mühlhäuser und Aliva, bestand aus einer mit Wiegevorrichtung ver-

sehenen vollautomatischen Mischtrommel (Mischerleistung 15 m³/h), Förderband und Förderschnecken um aus den Waggons das Material abziehen, einem Zwischensilo um kontinuierliches Mischen zu gestatten, einem Materialabzugsband mit aufgebauter Pulverdosiereinrichtung und der Spritzmaschine. Auf einem vorgeschalteten Plateauwagen waren die Vorratsbehälter für Wasserglas oder flüssige Beschleuniger mit den entsprechenden Dosierpumpen untergebracht.

Die Spritzmaschine konnte wahlweise gegen eine Betonpumpe für Naßspritzbeton oder Ort beton ausgetauscht werden.

Um die erwähnten Spritzverfahren mit den verschiedenen Beschleunigern vorzuführen, verschiedene Rezepturen testen zu können und die russischen Düsenführer einzuweisen, wurde das Tunnelprofil im Maßstab 1:1 als Spritzstand auf der Baustelleneinrichtungsfläche aufgebaut.

Nachdem 3 identische Betonierzüge auf der Baustelle vorhanden waren, wurde einer direkt neben dem Spritzstand montiert. Damit war gewährleistet, daß die Herstellung des Spritzbetons für die Testreihen mit der im Tunnel übereinstimmte; gleichzeitig diente diese Anlage als idealer Ersatzteilträger.

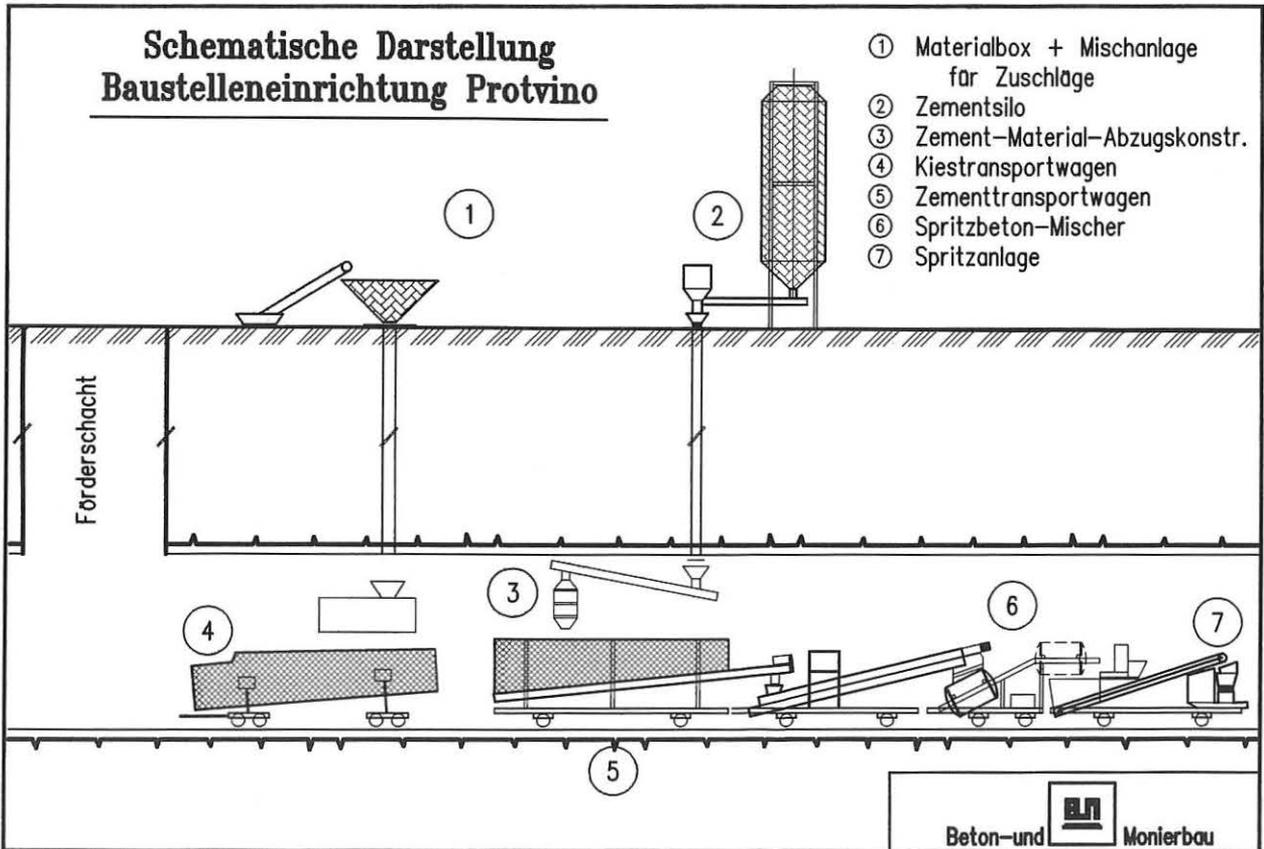


Bild 1: Schematische Darstellung Baustelleneinrichtung Protvino

Begonnen wurden die Arbeiten im Tunnel im Trockenspritzverfahren und mit Pulver als Erstarrungsbeschleuniger.

Eine Rezeptur mit

500 kg Zement

614 kg Sand 0/4

896 kg Kies 5/10

40 kg Sigunit (= 8 % des Zementgewichtes)

erwies sich als verwendbar.

Gleichzeitig wurden auf dem Spritzstand Versuche mit flüssigem Beschleuniger und Wasserglas gefahren. Bei gleicher Rezeptur konnten mit

6% flüssigem Beschleuniger L61 oder 19% Wasserglas befriedigende Ergebnisse hinsichtlich der Auftragsstärke und Klebefähigkeit erzielt werden.

Bereits nach den ersten Wochen entschied sich die russische Bauleitung generell für das Trockenspritzen im Tunnel und zwar mit Pulver als Beschleuniger. Der Aufwand für Wartung und Reinigung der Dosierpumpen schien zu groß.

Wasserglas wurde vorerst von der Bauleitung abgelehnt.

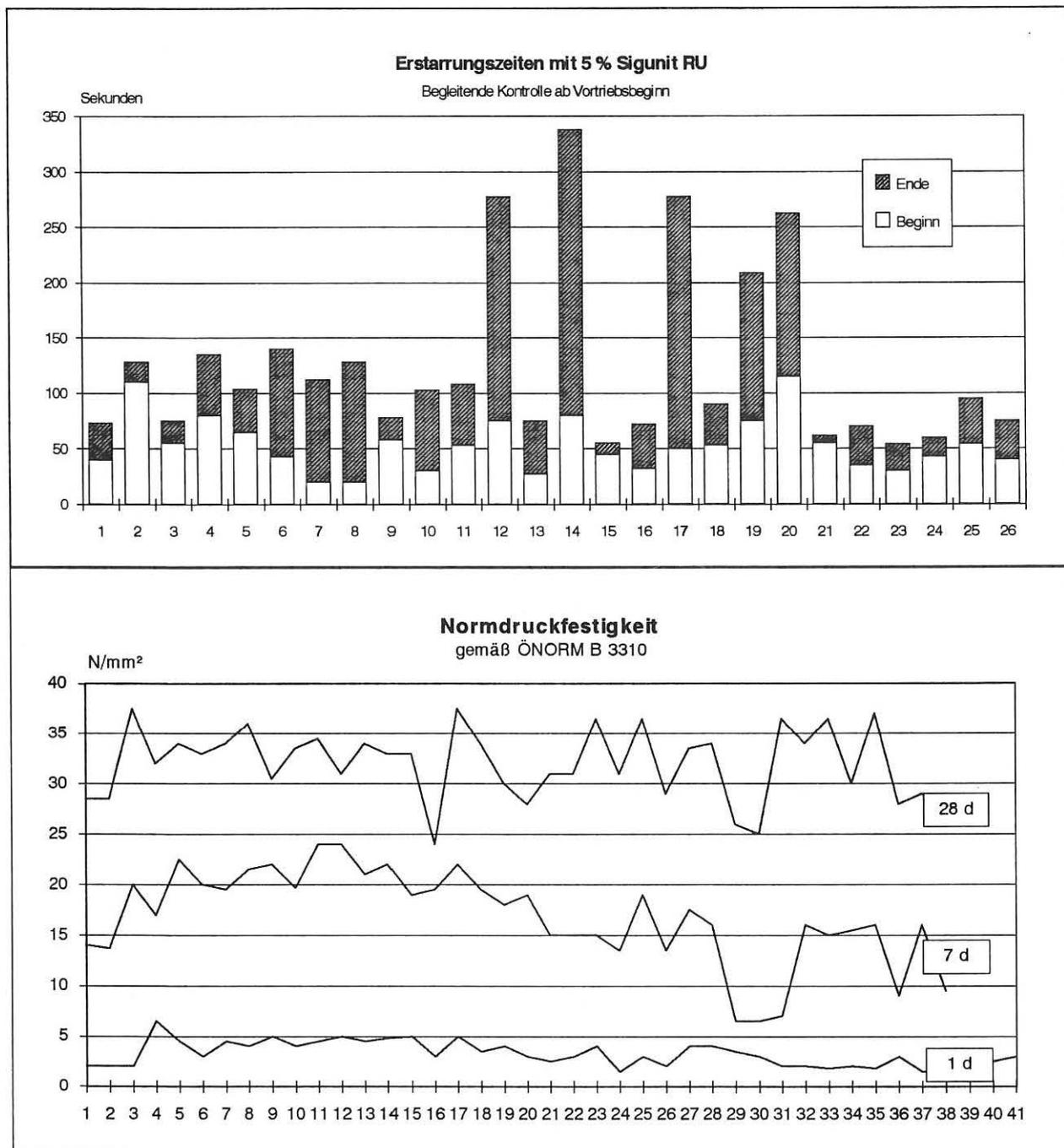


Bild 2: Darstellung der Erstarrungszeiten und der Normdruckfestigkeiten

Das Naßspritzverfahren wurde wegen des zu erwartenden Aufwandes für Maschinenwartung und Reinigung bei geringen Vortriebsleistungen und damit kleinen Spritzbetonmengen ebenfalls abgelehnt - die gekauften Betonpumpen sollten beim späteren Einbau der Innenschale Verwendung finden.

Damit beschränkte sich das Naßspritzbetonverfahren auf die Erstellung einer Rezeptur und verschiedenen Versuchsreihen am Spritzstand.

Die Rezeptur mit

- 520 kg Zement
- 562 kg Sand 0/4
- 843 kg Kies 5/10

230 l Wasser
5 % L61 oder 22% Wasserglas
wurde erstellt und getestet.

Wegen der erwarteten Schwankungen der Zementqualität wurden beinahe täglich Prüfungen angeordnet.

Ein Betontechnologe der Fa. Sika hatte die Aufgabe übernommen, russische Technologen und Betonlaboranten vor Ort einzuschulen und die russische Bauleitung von der Sinnhaftigkeit einer permanenten Überwachung zu überzeugen.

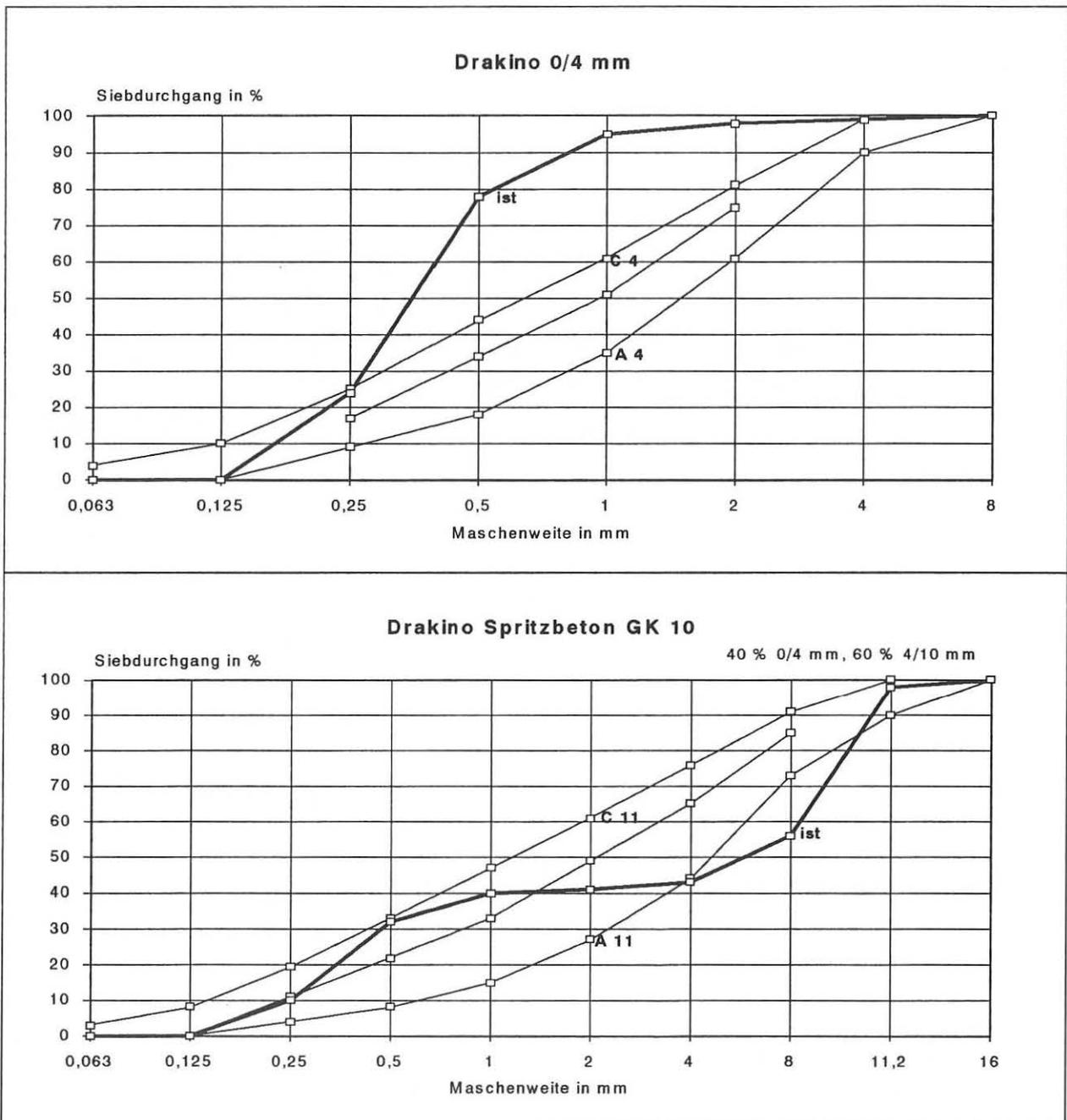


Bild 3: Darstellung der Sieblinien Sand 0/4 und Gesamtsieblinie 0/10

So wurden beim Zement die Normdruckfestigkeiten und die Erstarrungszeiten mit und ohne Beschleuniger geprüft.

Die Diagramme zeigen die festgestellten Bandbreiten (Bild 2).

Trotz fachgerechter Durchführung der Normdruckfestigkeitsprüfungen zeigten sich in der Regel geringe 24 Stunden Druckfestigkeiten. Die 28 Tage Festigkeiten bewegten sich zwischen 25 und 37 N/mm².

Diese Erscheinungen, in Verbindung mit den Unzulänglichkeiten der Zuschlagstoffdosierung, führten zu erheblichen Problemen im Tunnel.

Um Vortriebsstillstände zu vermeiden mußte der Zementgehalt bis auf 750 kg/m³ erhöht werden.

Stillstände durch tagelanges Ausbleiben der Zementlieferungen mußten teilweise dadurch verhindert werden, daß andere Bereiche der Baustelle einfach eingestellt wurden und deren Zementvorrat verwendet wurde.

Die Prüfungen der Zuschläge betraf die Bestimmung der Sieblinie, der Rohdichten und Schüttdichten sowie der Eigenfeuchte von Sand und Kies (Bild 3).

Eine total veraltete Kiesaufbereitungsanlage war nicht in der Lage das natürliche Vorkommen in mehreren Fraktionen abzusieben. Brech- und Siebanlagen um fehlende Körnungen herzustellen waren nicht vorhanden und die behelfsmäßige Baustellenmischanlage ließ zudem kein vernünftiges Dosieren zu.

Die getrennte Anlieferung von Sand und Kies in den Tunnel und das genaue Einwiegen und Mischen im Tunnelbetonierzug wurde von der Baufirma nicht befürwortet, da die geplante obertägige Mischanlage von Woche zu Woche fertiggestellt werden sollte.

Zum Prüfumfang des eingebauten Spritzbetons gehörte neben Festigkeitsprüfungen mit dem Schmitt-Hammer und Ausziehversuchen, die Bohrkernentnahme aus dem Bauwerk, aus Spritzkisten und dem Spritzstand.

Die Druckfestigkeiten nach 28 Tagen ergaben folgende Werte:

Beim Trockenspritzverfahren:

Spritzbeton ohne Beschleuniger	38 N/mm ²
mit Pulver	27 N/mm ²
mit flüssigem BE	28 N/mm ²
mit Wasserglas	19 N/mm ²

Beim Naßspritzverfahren

Spritzbeton ohne Beschleuniger	36 N/mm ²
mit flüssigem BE	34 N/mm ²
mit Wasserglas	22 N/mm ²

Die anfängliche Entscheidung der Bauleitung auf Wasserglas zu verzichten wurde durch den festgestellten Festigkeitsabfall als richtig bestätigt.

In 60 Tagen Vortriebszeit konnten 100 m Tunnel (i.M. 1,70 m/Tag) aufgefahen werden.

Viele Vortriebsstillstände durch Stromausfall, Ausbleiben der Zement- und Zuschlagstofflieferungen, Engpässe bei der Schachtförderung u. dgl. mehr führten zu erheblichem Leistungsabfall.

Während dieser Zeit wurden 650 m³ Spritzbeton verarbeitet.

Der Spritzbetonverbrauch pro Laufmeter Tunnel wurde laufend optimiert und verringert.

Ging man bei den ersten Betrachtungen von 30-40% Rückprall als Folge der Zementqualität und der Sieblinie aus, so führte unter anderem der hohe Zementanteil zu einer sichtbaren und wesentlichen Verringerung des Rückpralls.

Die anfangs eingestellte BE-Mittelzugabe von 40 kg bei 500 kg Zement (also 8% des Zementgewichtes) konnte mit der notwendigen Erhöhung des Zementanteils reduziert werden.

Exakte Auswertungen zeigten BE-Mittelverbräuche von unter 4% - allerdings bei ca. 700 kg Zement pro m³ Beton.

Die Kosten für Mehrzement spielten für die Bauleitung eine untergeordnete Rolle, er konnte in Rubel bezahlt werden. Die entscheidende Frage war, wie viele Meter Tunnel konnten mit dem für teure Devisen eingekauften Zusatzmittel aufgefahen werden.

Der Einsatz der NÖT außerhalb des mit Vollschnittsmaschinen aufzufahenden Regelprofils hat sich bei diesem Baulos trotz der geringen Tagesleistungen bewährt. Die geringen Vortriebsleistungen waren immer noch um 200 % höher gegenüber der für derartige Profile gewählten Unterfangungsbauweise mit abschnittweisen Einbau der endgültigen Schale.

Der Umgang mit Spritzbeton, die Bedienung und Wartung der Ausrüstung, stellte für das Personal kein Problem dar. Sehr schnell wurde erkannt, daß mit geringerem körperlichem Einsatz größere Leistungen erzielbar sind.

Eine wissenschaftliche Betreuung der Baustelle durch das Institut für Baustofflehre vor Ort war nicht mehr angebracht, da auch seitens des Auftraggebers kein Weg gefunden werden konnte die Qualität der Ausgangsstoffe zu verändern und keine Möglichkeiten gesehen wurden auch nur schrittweise Standardverbesserungen anzubringen.

Leider hat mittlerweile die wirtschaftliche Situation in Rußland zu einem "Beinahe-Stillstand" der gesamten Baumaßnahme geführt; Informationen von der ausführenden Baufirma belegen,

daß zwar die Bauweise anerkannt ist - auch danach weiter geplant wird - aber in Ermangelung der finanziellen Mittel zur Zeit kein genereller Einsatz möglich ist.