

---

# Baupraktische Vergleiche mehrerer Spritzbetonverfahren am Siebertunnel

---

## COMPARISON OF DIFFERENT SHOTCRETING METHODS APPLIED AT THE SIEBERG TUNNEL

PETER SCHWAB

Der Siebertunnel mit seinen zwei Zwischenangriffen und seinen sechs Vortriebsorten sowie den unterschiedlichen angetroffenen Boden- und Gebirgsverhältnissen war ein ausgezeichnetes Testfeld für die verschiedenen Spritzbetonverfahren, die zur Zeit in der Praxis angewendet werden.

Die vom Projekt ausgegangenen Bedingungen und die eigenen betrieblichen Überlegungen sowie die nicht zufriedenstellenden Ergebnisse einzelner Spritzbetonverfahren führten schließlich zur Verwendung von mehreren unterschiedlichen Verfahren nebeneinander.

Die drei wesentlichen Spritzverfahren

- ofentrockenes Material mit Drehblanschnecke
- Vor-Ort-Produktion mit Spritzbindemittel und
- Naßspritzbeton mit Spritzroboter

werden unter den besonderen Bedingungen des Siebertunnels vergleichend dargestellt.

*The Sieberg Tunnel with its two intermediate points of attack, six working faces and the varying soil and rock conditions encountered proved an excellent testing field for different shotcreting methods, which are now applied in practice.*

*In the light of the project-specific conditions and the company's business and management considerations as well as unfavourable results obtained with some of the shotcreting methods, three different processes were used in the end:*

- oven-dry material in combination with screw feeder with hollow shaft
- in-situ production in combination with spray cement, and
- wet-mix shotcrete in combination with remote-controlled spraying equipment.

*The three methods will be compared taking account of the special conditions met at the construction site of the Sieberg Tunnel.*

## 1. Entwicklung

Der Entwicklungsschub in den letzten zwei Jahren im Bereich des Spritzbetones hat nicht nur die Überarbeitung der Richtlinie "Spritzbeton" erfordert, sondern verlangt jetzt bei jeder neu zu beginnenden Baustelle (Bild 1) eine Berücksichtigung aller maßgebenden Gegebenheiten, um das "richtige" Spritzverfahren zu ermitteln.

Vor einigen Jahren war nur die grundsätzliche Entscheidung "Trocken-" oder "Naßspritzen" zu treffen, danach konnte man sich auf die Einkaufsverhandlungen mit den wenigen Lieferanten von Erstarrungsbeschleunigern konzentrieren.

Zumeist wurde in Österreich für das Trockenspritzverfahren entschieden, weil die zum Großteil sehr unterschiedlichen und rasch wechselnden Gebirgsverhältnisse keine regelmäßigen Spritzzeitpunkte und unterschiedliche Spritzbetonmengen je Zyklus zur Folge hatten. Für das Naßspritzverfahren war schon immer ein Manipulator erforderlich, vor allem bei mehreren Spritzorten zur gleichen Zeit ergab dies eine sehr kostenintensive Geräteausstattung, die man nicht anschaffen wollte.

Durch die neu entwickelten Spritzbetonbindemittel, die keinen Erstarrungsbeschleuniger benötigen und alkalifrei sind, wurde mit einer Vor-Ort-Mischanlage ein Spritzbetonsystem mit vielen Vorteilen entwickelt (Feuchtspritzbeton [Feucht-Mischgut, FM-S]).

Zur selben Zeit wurde aus den bestehenden Fertigmörtelsystemen und Spritzmörtelsystemen für Sanierungen durch die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von Drehblasschnecken und druckbeaufschlagten Vorratskesseln (auch auf LKW) ein für den Tunnelbau praktikables Spritzbetonsystem geschaffen (Fertigspritzbeton [Trocken-Mischgut, TM]).

Durch die zwei nun in Vormarsch befindlichen Spritzsysteme, die das herkömmliche "alte" Trockenspritzverfahren abgelöst haben, wurden die Lieferanten der Betonzusatzmittel tätig und entwickelten für den Naßspritzbeton einerseits alkalifreie Erstarrungsbeschleuniger und sogenannte "Einschläferer", dies sind Verzögerer mit einstellbaren Verzögerungszeiten, andererseits die dazugehörigen verbesserten Gerätschaften (Naßspritzbeton [Naß-Mischgut, NM]). Gesenkte Preise für Erstarrungsbeschleuniger und Betonzusatzmittel führten zu einem kostenmäßig konkurrenzfähigen System.

Diese drei Spritzbetonverfahren stehen derzeit zur Auswahl und haben ganz unterschiedliche Vor- und Nachteile.

Die Bewertung der Stärken und Schwächen jedes Spritzbetonsystemes oder -verfahrens ist auch vom Gesamtkonzept der Tunnelbauarbeiten abhängig. Dadurch wird die Entscheidungsfindung des geeigneten (günstigsten) Spritzbetonsystemes für eine neue Baustelle noch komplexer.

Zum Beispiel: Beim Bohren, Laden, Schüttern und Sichern sind fünf Mann am Drittel erforderlich, für das Spritzbetonverfahren nur zwei. So wird es schwierig bei mehreren Zyklen pro Tag, leistungsbezogene Tätigkeiten für die drei frei werdenden Männer zu finden. Man kann daher bei der Kostenbetrachtung des Spritzbetonverfahrens für diese Baustelle nicht nur zwei Mann als Lohnfaktor ansetzen.

## 2. Gegenüberstellung

Von unserer Bauunternehmung wurde für das Bauvorhaben Siebertunnel bei der Kalkulation eine vergleichende Gegenüberstellung der drei Spritzbetonsysteme durchgeführt.

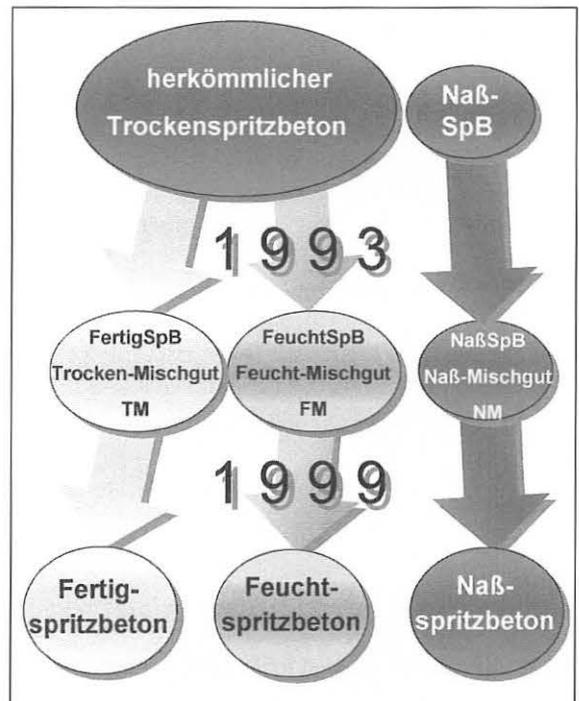


Bild 1: Baupraktische Vergleiche mehrerer Spritzbetonverfahren im Siebertunnel

- Fertigspritzbeton / Trocken-Mischgut (TM) ofentrocken
- Feuchtspritzbeton / Feucht-Mischgut (FM-S) erdfucht
- Naßspritzbeton / Naß-Mischgut (NM)

Für diese Gegenüberstellung wurden die in der Ausschreibung enthaltenen Gegebenheiten bewertet und berücksichtigt.

1. Durch den oberflächennahen Tunnel war für ein rasches Tragvermögen der Spritzbetonschale ein so schnell wie möglich erhärtender Spritzbeton von Vorteil (oberer Bereich J2).
2. Durch den Projektvorgabebauzeitplan mußte gleichzeitig an sechs Punkten mit Spritzbetonarbeiten begonnen und gearbeitet werden. (Ostportal in Deckelbauweise, Westportal mit 200 m langen Kalottenstollen und mit jeweils zwei Vortrieben von den Zwischenangriffen Pillgrab und Lembach aus)
3. Durch den Baubeginn im Spätherbst war Winterarbeit an allen sechs Angriffspunkten über mehrere Monate hin zu erwarten.
4. Bei einem Betonlieferanten in Bruck/Mur bestand für die Variante Fertigspritzbeton die Möglichkeit, sämtliche auf der Baustelle erforderlichen Gerätschaften anzumieten (Vorratssilos, fahrbarer Drucksilo mit Drehblasschnecke).

Nachdem für alle Systeme die eingeholten Preiskomponenten in den Kostenvergleich eingesetzt wurden zeigte sich, daß die Systeme Fertigspritzbeton (TM) und Feuchtspritzbeton (FM-S) günstiger waren als das Naßspritzverfahren (NM)

### 3. Entscheidungsfindung

Es wurde die Entscheidung für das Fertigspritzsystem (TM) mit folgender Begründung getroffen:

Die systemanhaftende rasche Festigkeitsentwicklung wurde als sehr wichtig angesehen, um beim oberflächennahen Tunnelvortrieb die kalkulierten Vortriebsleistungen pro Tag ausführen zu können.

Die winterbedingten Erschwernisse an den vielen Arbeitspunkten über mehrere Monate hinweg wur-

den ebenfalls als beträchtlich eingeschätzt und forderten nahezu das Spritzbetonsystem mit ofentrockenem Material.

Die bekannten höheren Staubentwicklungen und Rückprallanteile dieses Systems wollten wir in gemeinsamer Weiterentwicklung mit Lieferanten sowie der Universität Innsbruck senken.

Für eine verbesserte Bewetterung wurden erhöhte Lüfterleistungen konzipiert, wobei für die einzelnen Vortriebe bei einer Länge bis zu max. 1700 m keine Probleme erwartet wurden.

Durch die Beistellung der Gerätschaft durch den Betonlieferanten waren keine großen Investitionen zu tätigen.

### 4. Baustellenkonzept

Es war vorgesehen, die Voreinschnitte mit jeweils einem Drucksilo mit Drehblasschnecke zu bedienen.

Von den zwei Zwischenangriffen Pillgrab und Lembach aus sollten je zwei Vortriebe mit Kalotte, Strosse und Sohle beschickt werden. Dafür waren für jeden Zwischenangriff drei Spritzbetonbomber mit je zwei 10 m<sup>3</sup> Druckkesseln mit Drehblasschnecke vorgesehen.

Um die Steigung der Baugrube nicht fahren zu müssen, war das Befüllen der Spritzbetonbomber (Druckkessel - LKW) auf Sohleniveau mit zwei Förderschnecken aus den Vorratssilos geplant. Dabei war die Steuerung der Förderschnecken so konzipiert, daß der Bediener nur durch Knopfdruck mit Zuordnung einer Arbeitsstelle und Mengenvorwahl das Befüllen des Spritzbombers starten konnte. Diese an einen PC gekoppelte Steuerung, sollte die

Systeme / Bewertung	Erhärtung	Mobilität	Wintertauglichkeit	Rückprall	Staubentwicklung	Investition
Fertigspritzbeton Trocken-Mischgut TM	■	■	■	■	■	30 - 32 ← Entscheidung
Feuchtspritzbeton Feucht-Mischgut FM	■	■	■	■	■	29
Naßspritzbeton Naß-Mischgut NM	■	■	■	■	■	27

Bild 2: Entscheidungsfindung Spritzbetonsysteme

genaue Zuordenbarkeit der verarbeiteten Spritzbetonmengen in allen Tunnelabschnitten bringen.

obwohl die tiefen Temperaturen lange Zeit angehalten haben.

5. Baustellenablauf

Die Baugruben am Ost- und Westportal wurden mit stationären Silo-Blasschneckeneinheiten bedient, die Baugruben für die Zwischenangriffe mit den ersten angelieferten Spritzbomben.

Nachdem die Baugrube Pillgrab fertiggestellt war, wurden die großen Vorratssilos auf Tunnelniveau so montiert, daß die Bomberbefüllung auf diesen erfolgen konnte. Das Befüllen der Vorratssilos erfolgte vom Tunnelbetrieb ungestört vom Baugrubenrand oben.

Die Wintererschwerisse konnten mit dem System "ofentrockenes Material" wie geplant gelöst werden,

Durch das horizontale Einblasen in den Vorratssilo und durch die schlanken hohen Silos kam es zu

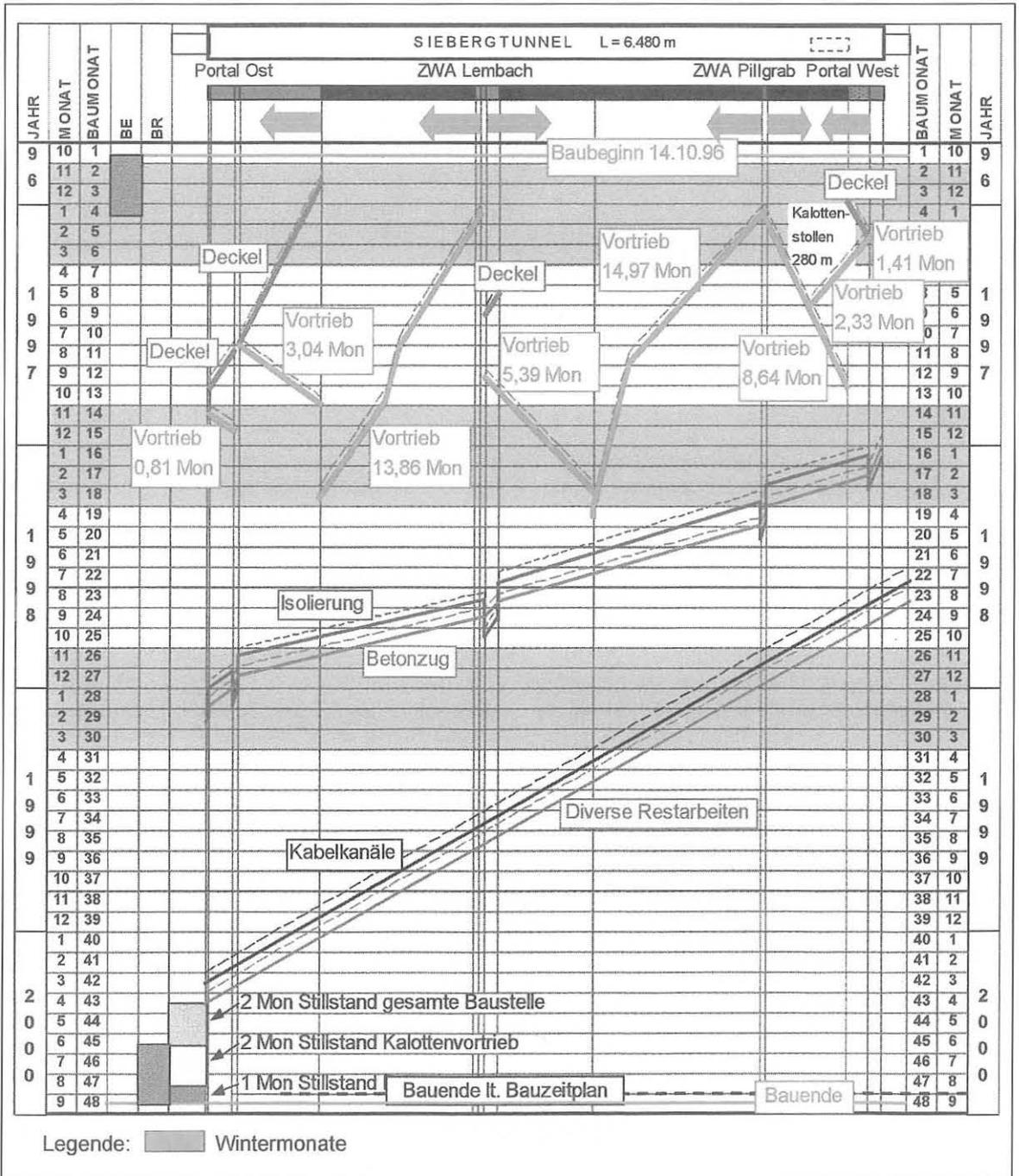


Bild 3: Bauzeitplan Siebertunnel

mehr oder minder starken Entmischungen des Spritzbetonmaterials, sodaß große Probleme bei der Verarbeitung auftraten.

- Feimaterialanhäufungen führten zu hohen Staubbelastungen,
- Grobmaterial zu überdurchschnittlichem Rückprall.

Durch Ändern des Einblasens in den Vorratssilo sowie durch den Einbau von Leitblechen im Silo und durch Halten des Silobefüllungsstandes über die Hälfte konnte noch kein befriedigendes Ergebnis erreicht werden. Die Verwendung von verschiedenen Vorbefeuchtungssystemen brachte zwar Verbesserungen aber keine ausreichende Zufriedenstellung.

Aufgrund der Materialentmischung stimmte die Mengenmessung über die Schneckenförderung nicht. Durch unterschiedliche Restmengen in den Druckkesseln war die Zuordenbarkeit des Spritzbetonverbrauches zu den verschiedenen Einbauorten nicht genau genug möglich.

Alle vier Tunnelabschnitte waren inzwischen einige hundert Meter vorgetrieben, wobei wir zur Kenntnis nehmen mußten, daß das anstehende Gebirge stärker verwittert und geklüftet war, als erwartet. Vor allem mit den aus den Klüften über große Bereiche vollflächig zudringenden Wässern und der damit ausgelösten Aufweichung im Schlier hatten wir am Ausbruchrand und in der Sohle zu kämpfen.

Die Probleme mit dem ofentrockenen Fertigspritzbeton (TM) waren der Grund, warum ein Naßspritzsystem im Vortrieb Pillgrab, wo die Ortbetonmischanlage steht, zum Einsatz kam.

Beim Projekt Siebergtunnel ist alkalifreier Spritzbeton vertraglich festgelegt, daher mußte alkalifreier Beschleuniger verwendet werden. Wie neu die Entwicklung auf diesem Gebiet ist oder besser gesagt war, bekamen wir zu spüren.

Beim Spritzmobil der Firma Sika war vorgesehen, alkalifreies Pulver als Beschleuniger beizumengen (in flüssiger Form gab es den Beschleuniger bei Sika damals noch nicht). Die Dosierung dieser Pulverbeschleuniger funktionierte nicht zufriedenstellend.

MBT hatte schon flüssige alkalifreie Beschleuniger. Leider mußten wir gemeinsam mit MBT die Erkenntnis gewinnen, daß die Dosierung mit den vorhandenen Dosierpumpen mit diesem Mittel nicht möglich war. Nach der Installation von neuen Dosierpumpen wurde über längere Zeit eine zufriedenstellende Lösung - Sika Spritzmobil und MBT-Flüssigbeschleuniger - praktiziert.

Heute bieten beide Firmen (auch Dank der Erfahrungen am Siebergtunnel) gut funktionierende Systeme an.

Bei den sehr schlechten Gebirgsverhältnissen vor allem im Pillgrab West, hatte sich eine kombinierte Verwendung von Fertigspritzbeton und Naßspritzbeton als günstig und zweckmäßig herausgestellt.

Mit dem Fertigspritzbeton wurden die zahlreichen Teilflächen an der Ortsbrust und das Vorspritzen am Ausbruchrand bewerkstelligt. Das Aufbringen der großen Spritzbetonstärken bis zu 40 cm in der Tunnelwandung und in der Sohle (auch Kalottensohle) erfolgte dann im leistungsstarken Naßspritzverfahren mit einem Spritzmanipulator.

Auf der Baustelle in Melk wurde inzwischen der Feuchtspritzbeton (FM-S) problemlos eingesetzt. Auf Grund der Fertigstellung der Arbeiten am Wachbergertunnel wurde eine Vor-Ort-Anlage, "Plodereranlage" frei und kam bei der Systemumstellung beim Zwischenangriff Lembach zum Einsatz.

Der Zuschlagsstoff konnte in den Tunnelbereichen mit betonierter Sohle gelagert werden. Die Beschickung der Spritzanlagen vor Ort erfolgte mit den Vortriebsradladern. Die Silos für die Spritzbetonlagerung am Portal wurden jetzt zur Zementlagerung verwendet und der ebenfalls frei gewordene Silowagen von Melk kam nun am Siebergtunnel zum Einsatz. Auf den Baustellen Melk und Sieberg wurde jeweils gewaschener Zuschlagsstoff angeliefert.

Der im trockenen Tunnel Melk so gut funktionierende Materialabtrocknungsvorgang funktionierte im feuchten Siebergtunnel nicht, so daß seitens der Belieferfirma kostenwirksame Maßnahmen in der Produktion getroffen werden mußten, um die Eigenfeuchte in der erforderlichen Bandbreite zu halten.

Der Durchschlag im letzten Teilabschnitt, im Vortrieb Pillgrab West, erfolgte am 11.01.1999 zum Westportal hin, sodaß die Fertigstellung des Siebergtunnels planmäßig erfolgen mußte.

## 6. Zusammenfassung

Fertigspritzbeton (Trocken-Mischgut, TM)

Vorteile:

- hohe Wintertauglichkeit
- bei bestehenden geprüften Rezepturen keine Eignungsprüfung erforderlich (rascher Beginn möglich)
- hohe Verfügbarkeit
- hohe Frühfestigkeit

## Nachteile:

- große Entmischungsprobleme verbunden mit
- erhöhtem Rückprall
- erhöhter Staubentwicklung

## Feuchtspritzbeton (Feucht-Mischgut, FM-S)

## Vorteile:

- beste Verfügbarkeit
- zufriedenstellender Rückprall
- zufriedenstellende Staubentwicklung
- keine Beschleuniger erforderlich
- verschiedene Rezepturen gespeichert für Kalotte, Strosse und Sohle möglich (wirtschaftlicher)

## Nachteile:

- großer Platzbedarf
- es war keine lückenlose Erfassung der Daten gegeben (vor allem bei Sprengbetrieb fällt die Datenaufzeichnung öfters aus)
- Abbindeverhalten nur bedingt über Zementdosierung steuerbar

## Naßspritzbeton (Naß-Mischgut, NM)

## Vorteile:

- hohe Leistungen (bei geringer Mannschaft)
- wenig Rückprall
- geringe Staubentwicklung

## Nachteile:

- schlechte Verfügbarkeit (Verbesserung durch "einschläfern" teuer)
- Platzbedarf für Spritzmanipulator und Fahrmischer im engen Vortrieb bei schlechtem Gebirge
- Restbetone

## 7. Anregungen

1. Beim Fertigspritzbeton (TM) ist die genaue Mengenerfassung der verschiedenen Spritzbetonauftragorte problematisch und noch nicht zufriedenstellend gelöst.

Neben der Entwicklung einer verbesserten Benetzung wäre eine Spritzbetonmengenmessung an der Drehblanschnecke mit Einschalttaste über Vorwahl des Spritzbetoneinbauortes wünschenswert, so daß die Zuordnung und Auswertung EDV-mäßig erfaßt werden könnte.

Dann wären rasch unterschiedliche Verbräuche erkennbar, man könnte Gegenmaßnahmen schneller einleiten bzw. hätte Nachweise für diese Tatsachen.

2. Eine Kombination aus der Vor-Ort-Produktion des Systems für feuchte Zuschläge verbunden mit der Herstellung und dem Aufbringen im Naßspritzverfahren wäre sinnvoll und würde die Vorteile der ständigen Verfügbarkeit des einen Systems mit den günstigen Rückprallwerten und der hohen Leistung des anderen Systems verbinden.

3. Als ein großes Anliegen kann ich eine bessere theoretische Ausbildung unserer Mineure bezeichnen.

Verstärkt durch das Entstehen der verschiedenen Spritzbetonsysteme, ist es dringlich erforderlich unsere Mineure besser auszubilden. Zur Sicherung der Qualität und der Wirtschaftlichkeit ist es nicht zumutbar, die Anwender vor Ort nur aus dem Stegreif zu unterrichten.

Am Siebertunnel mit bis zu 16 Vortriebsdritteln und den verschiedenen Spritzsystemen wurde dieses Problem sehr offensichtlich.

Die Bauunternehmung ÖSTU-STETTIN hat daher damit begonnen, in internen Schulungen wenigstens die Grundbegriffe des erforderlichen theoretischen Wissens an die vor Ort arbeitenden Mineure weiterzugeben.

Für die Zukunft wäre beim anstehenden Lehrstellenmangel auch ein Lehrberuf "Mineur-Tunnelbauer" sinnvoll und würde den angesehenen "österreichischen Mineur" auf Dauer noch besser stellen.