
Entwicklung und Einsatz einer neuartigen mobilen Anlage zur Herstellung und Auftragung von Trockenspritzbeton mit erdfeuchten Zuschlägen

DEVELOPMENT AND EMPLOYMENT OF AN INNOVATIVE MOBILE INSTALLATION FOR PRODUCING AND APPLYING DRY-MIX SHOTCRETE WITH EARTH-DAMP AGGREGATES

KARL KASSL

Von den derzeit am mitteleuropäischen Markt ungefähr gleichwertig vertretenen Systemen zur Herstellung von alkalifreiem Spritzbeton - Naßspritzen, Trockenspritzen mit vorgetrocknetem Mischgut und Trockenspritzen mit feuchten Zuschlägen und Mischung vor Ort ("Mobil-Crete-System") - verfügt jedes Verfahren über systembedingte Vor- und Nachteile. Durch Neu- bzw. Weiterentwicklung des Spritzens mit feuchten Zuschlägen ist es gelungen, Vorteile der anderen beiden Verfahren ohne signifikante Nachteile zu übernehmen. Das neue Verfahren beruht auf der seit 1911 bekannten Zweikammerspritzmaschine. Durch Installation getrennter Schleusen für Zement und Zuschlag kann vor Ort dosiert werden, ein unter Druck stehender Mischer gewährleistet eine homogene Vermischung und das gleichmäßige Einbringen des Mischguts in die Förderleitung. Herkömmliche Spritzmaschinen entfallen. Dieses neue Verfahren wird erläutert sowie über die ersten Baustellenerfahrungen berichtet.

Each of the systems used for producing alkali-free shotcrete and applied nowadays in Central Europe - i.e. wet-mix shotcrete, dry-mix shotcrete with pre-dried mix, dry-mix shotcrete with damp aggregates and mixture in situ (mobile concrete system) shows certain system-specific advantages and disadvantages. By further developing the dry-mix method with damp aggregates, it was possible to integrate advantages of the two other methods mentioned without any significant drawbacks. The new method is based on the double chamber gun known and employed since 1909. By installing separate locks for cement and aggregate, the dosing of shotcrete components can take place at the construction site, a pressure mixer assures homogeneous mixing and conveyance of the mix into the conveyor pipe; traditional shotcreting machines are no longer required in this process. The new method will be described and first construction site experience be presented

1. Einleitung

Die Entwicklung des nachfolgend vorgestellten neuen Spritzsystems beruht einerseits auf den Ursprüngen des Trockenspritzverfahrens, der Zweikammermaschine, und andererseits auf den Erfahrungen,

die in den vergangenen fünf Jahren mit dem Mobil-Crete-System mit erdfeuchten Zuschlägen gewonnen wurden.

Das Prinzip des Trockenspritzens, wie wir es heute kennen, existiert seit 90 Jahren. Am 13. September

1909 wurde die "Cementgun" von C. E. Akeley zum Patent angemeldet, die Patenterteilung erfolgte am 09. Mai 1911. Dabei wurde ein Zement-Zuschlag-Gemisch mittels Druckluft durch eine Schlauchleitung gefördert, an deren Ende über eine Düse Wasser beigegeben wurde. Diese ersten Spritzmaschinen waren händisch bediente Zweikammermaschinen. Das 1947 vorgestellte Rotorprinzip wurde in den 50-er Jahren weiterentwickelt. Dieses System ist heute nahezu unverändert und weitverbreitet am Markt vertreten. Seit ca. 20 Jahren werden Systeme eingesetzt, die aus einem Druckbehälter Material mehr oder weniger gleichmäßig direkt in den Förderschlauch abgeben.

Die Leube Zement in Gartenau bei Salzburg entwickelte und optimierte seit 1993 ein Spritz-Bindemittel, das mit feuchten Zuschlägen und ohne Zugabe von Beschleunigern die Herstellung von Spritzbeton ermöglichte, allerdings eine Mischung vor Ort erforderte. Unsere Firma entwickelte Anlagen zur Verarbeitung dieses Bindemittels. Diese Anlagen bestehen aus einem mittels Radlader zu beschickenden Kiesbunker, einem Zementbehälter, Förder- und Dosiereinrichtungen und zwei Mischschnecken mit einer Förderleistung von je 12 m³/h. Die Anlage ist durch ein Raupenfahrwerk so mobil, daß Rüstzeiten minimiert werden und durch die Ausstattung mit zwei Spritzmanipulatoren so leistungsfähig, daß das System von der Fördermenge her mit dem Naßspritzen konkurrieren kann. Aus gegebenem Anlaß muß festgehalten werden, daß Prof. Lukas parallel dazu Überlegungen über Anlagen zur Verarbeitung solcher Bindemittel anstellte.

Inzwischen verfügt beinahe jeder Zementhersteller über ein Spritz-Bindemittel für feuchte Zuschläge, und das Verfahren (FM-S) ist in die neue Richtlinie Spritzbeton aufgenommen. Nahezu alle Systeme, die heute mit erdfuchten Zuschlägen und Spritz-Bindemittel arbeiten, verwenden nach wie vor herkömmliche Spritzmaschinen und weisen somit erhebliche Verschleißkosten auf. Nicht zuletzt aufgrund dieser Kosten läßt sich ein Trend hin zum Naßspritzen feststellen. Das nun vorliegende System soll hier eine Alternative bieten. Das Projekt wurde gemeinsam mit dem Zivilingenieurbüro Ranner durchgeführt und vom Forschungsförderungs-fond für die Gewerbliche Wirtschaft unterstützt.

2. Vor- und Nachteile bestehender Systeme zur Herstellung von Trockenspritzbeton

Es soll hier keine vollständige Aufzählung der Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren zur Herstellung von Spritzbeton erfolgen - dies wurde und wird

in der Literatur laufend unter unterschiedlichen Vorzeichen versucht. Wesentlich erscheinen folgende Punkte bei der Analyse bestehender Systeme:

1. Die reinen Verschleißkosten der heute eingesetzten Spritzmaschinen liegen je nach Bauart der Maschine, Länge der Förderleitung und Konsistenz des Förderguts zwischen 20.- und 60.- öS/m³. Das Verspritzen von ofentrockenen Werksgemischen aus Druckkesseln weist hingegen deutlich geringere Verschleißkosten auf.
2. Die optimale Feuchtigkeit der Zuschlagstoffe bewegt sich in engen Grenzen: Unter ca. 1,5 % treten Entmischungen wie bei ofentrockneten Zuschlägen auf, Staub- und Rückprallerhöhung sind die Folge. Eine Eigenfeuchte über 3,5 bis 4 % abhängig vom verwendeten Zement - schafft Probleme in der Spritzmaschine durch Anpackungen und somit reduzierte Förderleistung.
3. Die stoßartige Förderung des Mischguts in Rotor-spritzmaschinen ist der Hauptgrund für mangelnde Durchmischung an der Düse und damit für übermäßige Staubbildung und hohen Rückprall.
4. Die Energiekosten für die am Tunneleingang herzustellende und mitunter über mehrere km zu fördernde Druckluft sind bedeutend. Spritzmaschinen benötigen bis zu 25 m³ Luft je Minute bei 6 bar. Aufgrund der nicht immer optimalen Wartung der Zuleitungen kommt es zu erheblichen Verlusten.
5. Die Verwendung von Waagen zur Dosierung von Zement und Zuschlagstoffen gewährleistet zwar eine - subjektiv - exaktere Dosierung als bei volumetrischen Systemen, der Einsatz gravimetrischer Dosiereinrichtungen schuf bisher vor allem im Sprengbetrieb Probleme, eine hohe Fehleranfälligkeit war die Folge. Bei mobilen Systemen mit integrierten Spritzmanipulatoren ist eine Verwiegung der Einsatzstoffe aufgrund der ständigen Erschütterungen problematisch.
6. Die Veränderung des Rezeptes auf Knopfdruck stellt eine wesentliche Bereicherung der anwendertechnischen Möglichkeiten dar.
7. Die uneingeschränkte Mobilität der Mischanlagen mit Raupenfahrwerk ermöglicht es, jederzeit zum Ort des Spritzvorgangs zu fahren und so Druckluft- und Förderkosten zu minimieren.

3. Die Entwicklung eines neuen Spritzsystems

Die angeführten Punkte flossen in ein Konzept für ein neu zu entwickelndes Spritzsystem ein. Ziel war es, die Vorteile von Naß- und Trockenspritz zu vereinigen, ohne signifikante Nachteile zu erhalten, d. h. geringe Staubentwicklung, mäßiger Rückprall und niedrige Förderkosten.

Einen wesentlichen Schritt zur Reduzierung von Staub und Rückprall stellt die Vergleichmäßigung der Förderung des Luft-Feststoffgemisches im Schlauch dar. Der maßgebliche Schritt zur Reduzierung von Verschleißkosten an der Spritzmaschine ist die Verringerung von Geschwindigkeiten und Drücken. Um diese Punkte zufriedenstellend lösen zu können, wurde mit einem Schleusensystem experimentiert, das die kontrollierte Dosierung der Komponenten feuchte Zuschläge und Spritzbindemittel in einen unter Druck stehenden Mischer ermöglicht, aus dem das Spritzbeton Ausgangsgemisch kontinuierlich in den Förderschlauch geführt werden kann.

Nach ausgiebigen Vorversuchen im Herbst 1997 wurden die Eckdaten eines zu bauenden Prototypen definiert: Eine Zweikammer-Schleuse sollte über ein Förderband mit Zuschlagstoffen beschickt werden, der Schleusenausstrag sollte in einen Zwangsmischer erfolgen, der das Fördergut kontinuierlich in den Spritzschlauch einträgt. Um Entwicklungskosten und Zeit für diesen ersten Versuch zu sparen, wurde für Zementförderung und -dosierung in den unter Druck stehenden Mischer der Rotor einer Spritzmaschine (Aliva 246) verwendet. Für die volumetrische Dosierung übernahm man die bewährten Zellenradschleusen.

Die Einheit wurde in einen Rahmen gesetzt, der mittels Kufen zu ziehen war. Vorerst war nur eine Spritzeinheit vorgesehen, die Anlage wurde jedoch so dimensioniert, daß eine zweite Schleuse jederzeit nachgerüstet werden konnte. Die Anlage bestand aus einem mit Radlader zu beschickenden Zuschlagbehälter mit Abzugsband, der "Schotterschleuse", einem Zementbehälter mit Förderschnecke, der Zementschleuse (Rotormaschine) und dem Mischer mit integrierter Injektordüse für den Spritzbeton austrag (Bild 1 und 2).

Um ein problemloses Befüllen und Entleeren der Schleuse unter allen Bedingungen zu gewährleisten, waren eine Fülle von technischen Details notwendig, so mußte z. B. der Deckel der oberen Kammer kurz vor dem Schließen neben einer Schwenkbewegung auch eine rasche Rotation durchführen, um ein Anlagern von feuchten Zuschlägen zu ver-

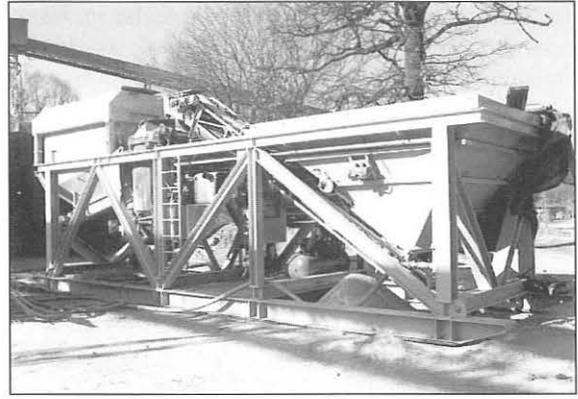


Bild 1: Der Prototyp der Spritzanlage, wie er auf der Baustelle Kaponigtunnel zum Einsatz kam. Im Bild von rechts: Zuschlagbehälter mit Förderband, Druckbehälter für den Zuschlag und Zementbehälter mit Förderschnecke (Foto: ZI-Büro Ranner)

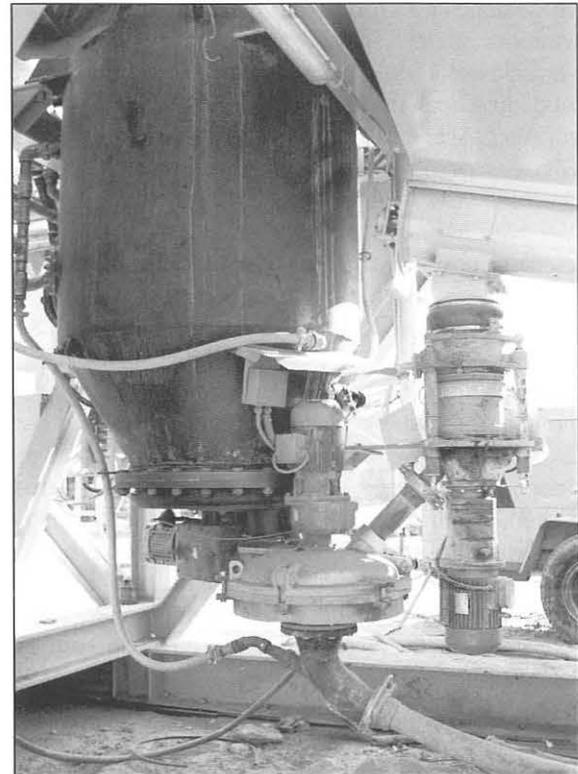


Bild 2: Detailaufnahme: Schleuse mit Mischer, Injektor und Spritzschlauch, rechts die Zementdosierung (Foto: ZI-Büro Ranner).

hindern. Dies erforderte eine aufwendige Steuerung der einzelnen, aufeinander abgestimmten Abläufe, die mittels SPS überwacht und geregelt wurde. Zusätzlich gab es im Störfall die Möglichkeit, jede einzelne Bewegung händisch mit einem Schalter zu betätigen.

Zur Überwachung des Steuerungsablaufes im Herzstück der Anlage, der "Schotterschleuse", wurde der Steuerzyklus in zehn Schritte unterteilt, die über ein Display den Maschinisten über den jeweiligen Betriebszustand informieren sollten.

Um die Bedienung möglichst einfach zu gestalten, wurde mit einem einzigen Schalter der Produktionsablauf gestartet und die einzelnen Schritte nacheinander durchgeführt: Anlauf des Bandes - Füllung der Vorkammer - Druckaufbau - Öffnung zwischen Vor- und Hauptkammer - Druckausgleich - Anlauf des Dosierzellenrades für den Zuschlag und gleichzeitiger Anlauf der Zementdosierung und des Mixers sowie Einschalten der Luftzufuhr über den Injektor.

Die Befüllung der Schleuse erfolgt - in Abhängigkeit von der Spritzleistung - ca. alle zwei Minuten. Wenn eine Mindestfüllmenge in der unteren oder Hauptkammer unterschritten wird, wird der Druckausgleich zwischen Haupt- und Vorkammer hergestellt und das in der Vorkammer liegende Material durch Absenkung des kegelförmigen Verschlusses in die Hauptkammer gefördert. Danach wird der Druck in der Vorkammer abgebaut, diese zur Atmosphäre hin geöffnet und mittels Förderband wieder gefüllt. Bedingt durch geringfügige Druckschwankungen während dieses Vorganges ist alle zwei Minuten am Förderstrom an der Düse ein leichter Ruck zu verspüren, der jedoch geringer ist als die Stöße einer langsam laufenden Rotormaschine. In der Zeit dazwischen ist die Förderung absolut gleichmäßig. Der notwendige Druck und die Luftmenge in Kessel und Förderleitung werden automatisch geregelt. Bei Gefahr eines Stopfers wird der Druck auf maximal 6 bar hochgefahren. Sollte es dennoch zu einem Stopfer kommen, muß aus Sicherheitsgründen der Druck der Schleuse händisch abgelassen werden und der Stopfer durch einen direkten Anschluß von Druckluft an den Förder Schlauch unter Umgehung der Schleuse ausgeblasen werden. In der praktischen Erprobung kam es jedoch aufgrund der gleichmäßigen Förderung und durch den Einbau eines Rostes zur Vermeidung von Überkorn zu keinen Stopfern.

Erste Staub- und Rückprallmessungen ergaben eine Verbesserung gegenüber herkömmlichen Trockenspritzmaschinen, ausgiebige Versuchsreihen sind hier allerdings noch geplant.

4. Baustellenerfahrungen und Auswertung der gewonnenen Erkenntnisse

Die beschriebene Anlage konnte auf der Baustelle Kaponigtunnel in Mallnitz ab Februar 1998 ausgie-

big erprobt werden, wofür der Bauleitung an dieser Stelle nochmals ein herzlicher Dank ausgesprochen sei. Ursprünglich als reine Versuchsanlage geplant, konnte innerhalb kurzer Zeit eine konventionelle Mobil-Crete-Anlage abgezogen werden und der Prototyp absolvierte einen dreimonatigen Baustelleneinsatz, in dessen Verlauf über 2.000 m³ Spritzbeton hergestellt wurden.

Im Zuge des Einsatzes stellten sich einige Punkte am Prototyp als verbesserungswürdig dar: Bei sehr feuchten Zuschlägen wurde der Zuschlag aus der unteren Kammer nicht optimal ausgetragen, dies konnte durch Änderung der Drehrichtung des Dosierzellenrades in regelmäßigen Abständen behoben werden. Die Dichtung zwischen unterer und oberer Kammer mußte mehrmals erneuert werden und auch die Überwachung des Misch- und Fördervorganges durch den Maschinisten sollte verbessert werden.

Zur Anspeisung der Steuerventile wurde die zum Spritzen zur Verfügung stehende Druckluft verwendet, dies führte zur Verschmutzung und Verstopfung der Ventile, sodaß eine ausreichend dimensionierte Filter- und Wasserabscheideeinheit vorgeschaltet werden mußte.

Als nicht zufriedenstellend stellte sich die Einbringung und Dosierung des Zementes dar. Der Einsatz eines Spritzmaschinenrotors war nicht zielführend, da die hohen Verschleißkosten die Einsparungen auf der Zuschlagsseite wieder zunichte machten.

Als absolut zufriedenstellend gelöst stellten sich die Punkte gleichmäßige Förderung, Funktionssicherheit der Schotterschleuse und Wartungsarmut dar. Für alle Beteiligten überraschend war jedoch, daß mit diesem System problemlos über 200 m gefördert werden konnte. Solchermaßen ermuntert, wurde versucht, über kurze Entfernungen mit einem handelsüblichen Kompressor, wie er zum Einblasen von Zement auf Silo-LKWs verwendet wird, zu fördern. Tatsächlich stellte sich heraus, daß bei einer Schlauchlänge von 20 m zwei bar für eine klaglose Förderung ausreichend sind. Diese Erfahrung führten zu Überlegungen, zukünftig die Luftversorgung in die Anlage zu integrieren - die Mobilität der Anlage vorausgesetzt.

Die Maschinisten waren in Hinblick auf die Bedienungsfreundlichkeit der Anlage positiv überrascht (die Bedienung erschöpfte sich auf des Betätigen des Schalter "Beton spritze ein/aus" und die Einstellung der Fördermenge über ein Potentiometer), im Störfall jedoch zum Teil überfordert. Aus diesen

Erfahrungen entstand die Forderung nach intensiverer Einschulung und vor allem nach besserer Darstellung des Betriebszustandes der Anlage. Während eine konventionelle Misch- und Spritzeinheit dem Mineur vertraut ist, steht er hier vor einer "black box" - der aktuelle Betriebsstand muß daher jederzeit ablesbar sein.

Im beschriebenen Einsatz wurden von 16.02.98 bis 12.06.98 insgesamt 2.300 m³ Spritzbeton hergestellt. Die aufgetretenen Probleme stellten sich als lösbar dar, weshalb die Entscheidung getroffen wurde, auf Basis des Prototypen eine mobile Spritzanlage mit zwei unabhängig voneinander laufenden Spritzeinheiten zu bauen.

5. Auslegung einer mobilen Anlage

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden die Grundlagen für eine Spritzbetonanlage erarbeitet, die die Vorteile des neuen Systems mit denen unseres konventionellen Systems verbindet und darüber hinaus Kosteneinsparungen in der Spritzbetonherstellung ermöglicht. Unser System unterscheidet sich von den meisten Mitbewerbern durch die Mobilität der Anlagen. Durch die Ausstattung mit Raupenfahrwerk und 2 Spritzmanipulatoren ergeben sich Einsparungen bei den Rüstzeiten und Erhöhungen der Spritzleistung durch kurze Förderwege von in der Regel weniger als 10 m. Diese Mobilität sollte auch mit dem neuen Verfahren gegeben sein und zusätzlich sollte das günstige Förderverhalten dazu genützt werden deutliche Energieeinsparungen zu ermöglichen.

Die Forderungen an die neue Anlagen waren:

- Änderung des bestehenden Rahmens zur Aufnahme eines Raupenfahrwerks

- Zwei voneinander unabhängig laufende Systeme mit einer Förderleistung von je 12 m³/h
- Reduktion der Verschleißkosten auf die Hälfte herkömmlicher Spritzmaschinen
- geringfügige Änderungen an der Schotterschleuse, um die Betriebssicherheit weiter zu erhöhen (z.B. Ersatz des für die Schließung der oberen Kammer eingesetzten Druckluftmotors durch einen Elektromotor, Modifizierung der Hub- und Schwenkeinrichtungen des Vorkammerverschlusses)
- Verbesserung des Druckluftschrankes, um die Betriebssicherheit zu erhöhen
- Verbesserung der Bedienungsfreundlichkeit
- Neukonstruktion der Zementschleuse und des Zementzuteilers
- Berücksichtigung einer möglichen Nachrüstung einer Wiegevorrichtung
- Integration von zwei Hochdruckwasserpumpen für optimale Durchmischung des Förderguts an der Düse
- Integration von zwei Niederdruckgebläsen für einen autarken Druckluftbetrieb
- Aufbau von zwei Spritzmanipulatoren

Die beschriebene Anlage ist zur Zeit in Bau und soll ab Anfang Mai 1999 ihren ersten Baustelleneinsatz absolvieren. Bild 3 zeigt eine vereinfachte Darstellung: Die Komponenten der beiden Spritzeinheiten sind völlig voneinander getrennt, jede Schleuseneinheit verfügt über eine eigene Zuschlag- und Zement-

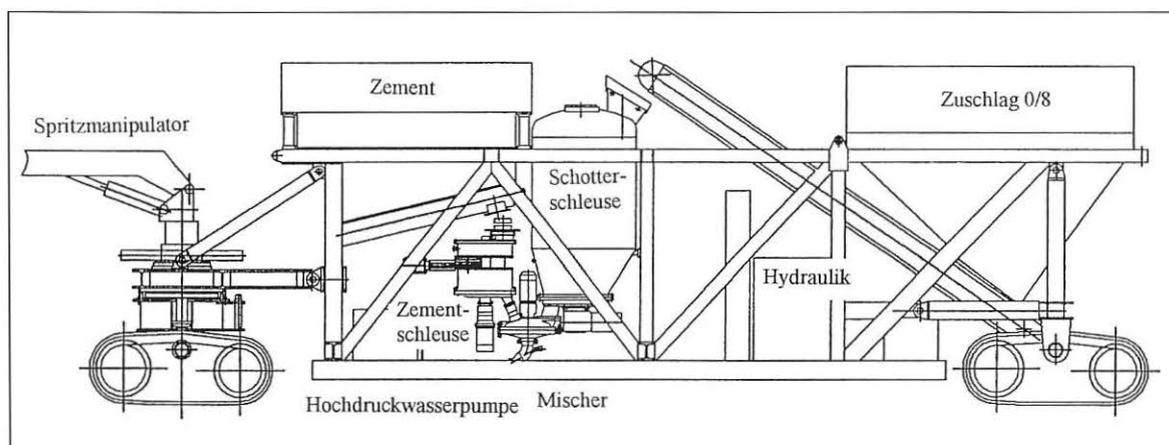


Bild 3: Plan der mobilen Anlage mit zwei getrennten Spritzeinheiten (die Spritzmanipulatoren sind nur angedeutet).

zuführung, sodaß im Störfall zumindest eine Einheit weiterlaufen kann. Der Zuschlag wird von hinten mittels Radlader aufgegeben und über ein Förderband in die "Schotterschleuse" eingebracht. Der Zement wird aus einem Silo-LKW in den im vorderen Bereich der Maschine befindlichen Zementbehälter eingeblasen. Die neuentwickelte Zementerschleuse mit darunterliegendem Doseur sorgt für einen gleichmäßigen und kontrollierten Eintrag in den Mischer. Beide Dosiereinheiten werden laufend elektronisch überwacht.

Aufgrund der Kombination mit Spritzmanipulatoren und der daraus resultierenden ständigen Erschütterungen der Anlage entschied man sich wiederum für eine volumetrische Dosierung, die in den vergangenen Jahren ihre Zuverlässigkeit und Genauigkeit bewiesen hat.

Die Fahrwerke sind für einen einfacheren Straßen-transport auf Tieflader abnehmbar, ein Absenken der Anlage im Spritzbetrieb, wie bei unseren bisherigen Anlagen, ist nicht mehr vorgesehen. Auch ein Kippen der Aufgabemulde für den Zuschlag erscheint nicht notwendig, da die Beschickung ausschließlich mittels Radlader erfolgt.

Der Einsatz von Niederdruckgebläsen zur Herstellung der Förderluft im Tunnel erscheint nach den im Kaponigtunnel gewonnenen Erfahrungen sinnvoll, weshalb der notwendige Platzbedarf berücksichtigt wurde. Allerdings sind diesbezüglich noch ausgiebige Versuchsreihen, vor allem was die Betriebssicherheit im Tunnel betrifft, notwendig. Deshalb wird die erste Anlage vorerst mit konventioneller Luftversorgung arbeiten, eine Nachrüstung ist jedoch jederzeit möglich.

6. Analyse der Vor- und Nachteile des neuen Systems

Die angestrebte Förderleistung konnte nachgewiesen werden. Kurzzeitig und bei kurzen Schläuchen lassen sich bis zu 15 m³ Spritzbeton je Stunde durch die Anlage schleusen. Im Dauerbetrieb sind 12 m³/h möglich. Die Einschränkung kommt diesbezüglich beim Spritzen an die Firste eher vom Spritz-Bindemittel, da die Erstarrung nicht so schnell einsetzt und mit erhöhtem Rückfall zu rechnen ist.

Rückprallmessungen ergaben eine Reduzierung im Vergleich zur Verspritzung desselben Ausgangsmaterials mit einer Rotorspritzmaschine: 17 - 20 % gegenüber 20 - 22 %. Die Gleichmäßigkeit der Förderung brachte darüberhinaus sehr zufriedenstellende Ergebnisse bei der Staubbildung mit ein-

fachen Ringdüsen ohne Hochdruckbenetzung. Trotzdem sind Versuche mit Hochdruckdüsen zur weiteren Optimierung geplant.

Die Vorteile des neuen Systems schlagen sich auch in den Kosten nieder. Die Verschleißkosten der Spritzmaschinen, die je nach Einsatz bei Rotormaschinen zwischen 20 und 30 öS/m³ betragen, in Extremfällen aber auch 60 öS/m³ betragen können, werden laut bisherigen Erfahrungen deutlich reduziert. Mit der beschriebenen Anlage sind derzeit Verschleißkosten unter 15 öS/m³ erzielbar, wobei das System durch den Einsatz unterschiedlicher Materialien noch optimiert werden kann.

Die Bedienung der Spritzanlage ist sogar noch einfacher als die einer Rotorspritzmaschine und somit für jeden Mineur problemlos durchführbar. Die Betriebssicherheit gegenüber bestehenden Systemen kann als gleichwertig eingestuft werden. Die Wartung und Reparatur erfordert jedoch gut geschultes Personal, deshalb ist an eine reine Vermietung der Anlage nicht gedacht. Vielmehr soll das Konzept, das sich bereits in der Vergangenheit als zielführend erwiesen hat, nämlich den Spritzbeton möglichst ab Spritzmaschine oder Düse zu verkaufen, und sämtliche dafür notwendigen Leistungen in einem m³-Preis zu inkludieren, erweitert werden.

Insbesondere mit der in einem weiteren Schritt geplanten Integration der Druckluftherstellung in die Anlage durch den Aufbau geeigneter Kompressoren sollte eine weitere Kosteneinsparung des Gesamtsystems Spritzbetonherstellung möglich sein.

Das geschilderte Konzept trägt dem Trend nach zunehmender Verlagerung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten in Teilbereichen von den Baufirmen an Spezialfirmen Rechnung. Daraus resultierende Kosteneinsparungen sind sicherlich noch nicht restlos ausgeschöpft, weitere Verbesserungen sollten in konstruktiver Zusammenarbeit aller Beteiligten erzielbar sein.

7. Literatur

- [1] Eichler, K.: Rückprallrecycling und Rückprallreduzierung von Spritzbeton beim Trockenspritzverfahren. Diss. an der Universität Innsbruck, 1996.
- [2] Ruffert, G.; Brux, G.; Badzong, H.J.: Spritzbeton. Expert Verlag, Renningen-Malmsheim, 1995.
- [3] Strubreiter, A.: Wirtschaftlichkeitsvergleich von verschiedenen Spritzbetonverfahren im Tunnelbau. Dipl.-Arbeit an der Universität Innsbruck, 1997.

[4] Teichert, P.:

Die Geschichte des Spritzbetons. In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 47/1979, Zürich.

[5] Österreichischer Betonverein (Hrsg.):

Einführung in die neue Richtlinie "Spritzbeton". Heft 35/Dez. 1998.