

Methoden zur Reduzierung der Einflußfaktoren bei der Herstellung und Anwendung von Spritzbeton

Dipl.-Ing. Heinz DISTELMEIER
Bilfinger + Berger Bau AG, München

1. VORBEMERKUNGEN

Seitdem die Neue Österreichische Tunnelbauweise vor gut 10 Jahren aus dem alpinen Fels in das deutsche Lockergestein vorgedrungen ist, sind dort mehrere Millionen Kubikmeter Spritzbeton verarbeitet worden. Das geschah in den ersten Jahren auf die gleiche Weise wie im standfesten Gebirge. Demnach verließ man sich mehr auf das handwerkliche Können des Düsenführers als auf die ingenieurmäßige Erfassung der technologischen Zusammenhänge.

Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der NÖT verhalfen der Bauweise in Deutschland zu einer boomartigen Entwicklung. Mit der wachsenden Zahl der Bauausführungen wurde aber auch klar, daß in dem erweiterten Anwendungsbereich erhöhte Anforderungen an den Spritzbeton gestellt werden müssen, nämlich infolge

- der frühen Inanspruchnahme der Spritzbetonschale durch das Lockergestein,
- der erhöhten Sicherheitskriterien bei der Unterfahrung von Gebäuden und Verkehrsflächen,
- des Zusammenwirkens mit den Bauhilfsmaßnahmen (Wasserhaltung, Druckluft, Injektionen, Vereisungen, Vorpfindungen),
- der erhöhten Arbeitsplatzbelastungen bei hohen Spritzleistungen, wie sie für den Bau der Neubaustrecken für die Deutsche Bundesbahn benötigt werden,
- und nicht zuletzt durch das Wunschenken, mit qualitativ kontrolliertem Spritzbeton einschalige Konstruktionen herstellen zu können.

Alle Ansätze zur Weiterentwicklung der verfügbaren Spritzbetonverfahren wurden erschwert, weil sich die technologischen Daten des Spritzbetons sowohl in der Praxis als auch in der Forschung von Fall zu Fall schwer vergleichen und übertragen lassen.

Bei der Analyse des Herstellungsprozesses für den Spritzbeton lassen sich etwa 100 Einflußfaktoren erkennen, die sich grob 4 Gruppen zuordnen lassen:

- Der Gerätezusammenstellung,
- den Ausgangsstoffen,
- der Verfahrenstechnik und
- der Umwelt.

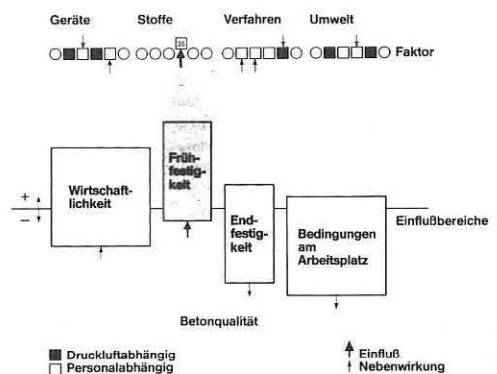


Abb.1. Einflüsse und Nebenwirkungen am Beispiel einer BE-Mittel-Chargierung.

Die 100 Faktoren wirken in verschiedenen Einflußbereichen, von denen uns in der Regel drei interessieren:

- Die Wirtschaftlichkeit,
- die Betonqualität und
- die Bedingungen am Arbeitsplatz.

Wird ein Faktor verändert, um in einem bestimmten Einflußbereich eine Wirkung zu erzielen, so entstehen in der Regel in anderen Bereichen Nebenwirkungen, und eine Reihe gekoppelter Faktoren ändert ihre Wirkungsweise. Das in Abbildung 1 dargestellte Beispiel zeigt dies für den Einfluß einer erhöhten BE-Mittel-Zugabe.

Das bis heute meistens ungeschulte Personal kennt bestenfalls ein paar Einflußfaktoren und qualitativ deren gewollte Wirkungsweise in einem der drei genannten Bereiche. Beim konventionellen Trockenspritzen ist es für den Mineur zu schwer, über die Nebenwirkungen Bescheid zu wissen oder gar über die Wechselwirkungen gekoppelter Einflußfaktoren. Diese Feststellung wird nachstehend erläutert.

2. EIN BEISPIEL

Die schematische Darstellung in Abbildung 2 zeigt die bislang überwiegend angewandte Verfahrenstechnik, hier auf einer Druckluftbaustelle. Die Abbildung macht deutlich, daß die Komponenten des Spritzbetons wesentlich

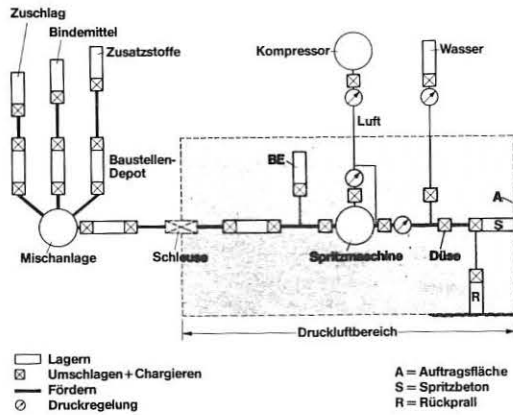


Abb.2. Schematische Darstellung einer Spritzbetonbaustelle.

häufiger behandelt, zwischengelagert, umgeschlagen und gefördert werden als in Schalungen verarbeiteter Rüttelbeton. Allein der an etwa 20 Stellen erforderliche Materialumschlag beeinflusst den Einbauvorgang in allen drei Bereichen erheblich, weil jeder Umschlag auch einen Chargiervorgang mit sich bringt.

Zur weiteren Erläuterung wird die von Blümel und Lutsch (3) vorgenommene Unterteilung in 3 Abschnitte weiter untergliedert.

Phase 1.1: Bereitstellung der Ausgangsstoffe

Von den in Phase 1.1 maßgeblichen Parametern werden zwei herausgegriffen: Die Eigenfeuchte des Zuschlags und die Zementart.

Die Eigenfeuchte beeinflusst nicht nur die Lagerungsfähigkeit der Ausgangsmischung und die Reaktionszeit des BE-Mittels, sondern bei konstant gehaltenem W/Z-Wert auch die Feinstaubkonzentration im Düsenbereich.

Bei einer Zunahme von 1 auf 4 % wurde eine Erhöhung der Staubkonzentration um 75 % gemessen, weil an der Düse weniger Wasser zugegeben werden kann. Mit diesem Meßergebnis wurde auch die früher von verschiedenen Maschinenherstellern propagierte Methode der Vorbenetzung in Frage gestellt.

Neben den bekannten Einflüssen auf die Festigkeitsentwicklung und den Wechselwirkun-

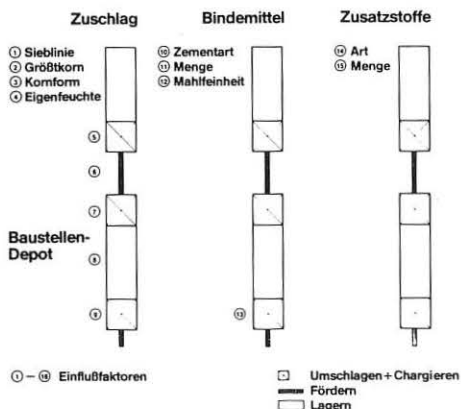


Abb.3. Bereitstellung der Ausgangsstoffe.

gen mit verschiedenen BE-Mitteln überrascht vor allem auch die Erhöhung der Staubkonzentration, die beim Wechsel zweier Zementarten mit 150 % gemessen wurde.

Phase 1.2: Mischen und Fördern nach Untertage

Phase 1.2 macht den Einfluß der Umschlag- und Chargiervorgänge besonders deutlich. Wenn die Kapazitäten von Mischer, Zwischendepot und Transportbehälter nicht auf den weiteren Produktionsablauf abgestimmt sind, werden routinemäßig alte Mischungsreste verarbeitet.

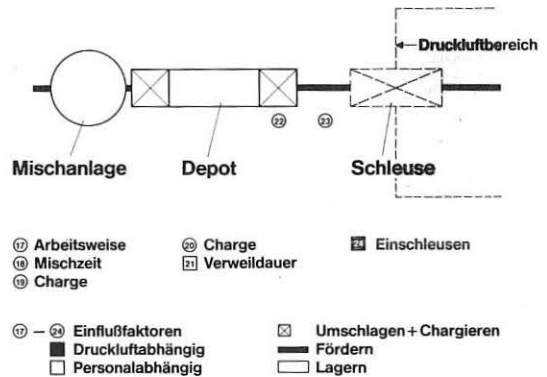


Abb.4. Mischen und Fördern nach Untertage.

Der häufig anzutreffende Zwischentransport in der Radladerschaufel löst die Aufgabenstellung nur unbefriedigend.

Phase 1.3: BE-Mittel-Zugabe

Auch im Tunnel wird das Mischgut noch mehrfach umgeschlagen. Den Umschlag vom untertägigen Zwischensilo vollzieht im dargestellten Standardfall ein Förderband. Hier werden in der Regel auch die pulverförmigen BE-Mittel dosiert zugegeben. Eine automatische Dosierung ist nur dann sinnvoll, wenn auch für einen kontinuierlichen Materialfluß beim Mischgut gesorgt werden kann.

Die Reaktionszeit des BE-Mittels, die Zementart, die Eigenfeuchte der Ausgangsmischung, die Förderlänge der Düse und die Wasserzugabe beeinflussen sich gegenseitig. Das oft zufällige Ergebnis dieser gegenseitigen Beeinflussung liegt zwischen unwirtschaftlichem und unbrauchbarem Frischbeton.

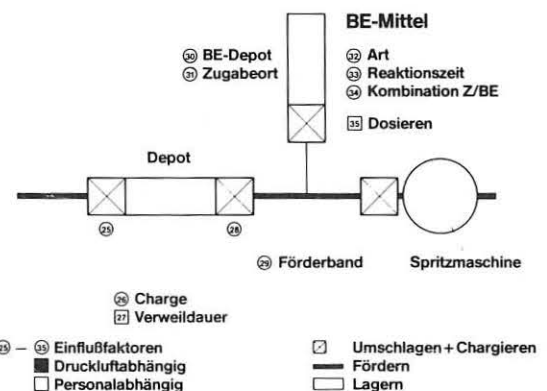


Abb.5. BE-Mittel-Zugabe.

Phase 2.1: Beschleunigen der Ausgangsmischung

Auf Tunnelbaukongressen wird viel über die Auswahl des Spritzmaschinentyps debattiert. Mindestens ebenso wichtig erscheinen die Einstellung und Kontrolle des Förderdrucks. Der Förderdruck bestimmt den Grad der Verdichtung, den Zementgehalt des Festbetons, die Rückprallmenge und den Staubanfall.

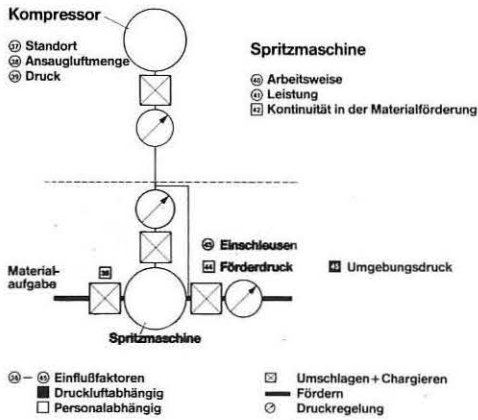


Abb.6. Beschleunigen der Ausgangsmischung.

Phase 2.2: Materialförderung im Dünnstrom

Wenn man um die Bedeutung des Förderdruckes weiß, wird auch der indirekte Einfluß der Kenndaten für den Förderschlauch deutlich. Wird z.B. durch eine entsprechende Schlauchführung der Förderdruck von 3,0 auf 2,5 bar abgebaut, so

- sinkt der Zementgehalt an der Auftragsfläche um 70 kg/m^3 ,
- die zur Verdichtung benötigte Aufprallenergie sinkt um 20 % und
- die 28 h-Festigkeit büßt 40 % ein.

Stellt anschließend der Maschinist den Förderdruck um 0,5 bar zu hoch ein, so

- steigt der Rückprallanteil und
- die Staubkonzentration wächst um 100 %.

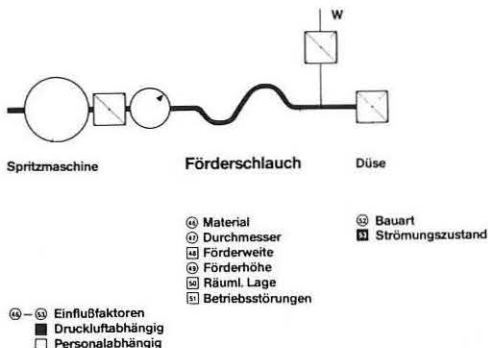


Abb.7. Materialförderung im Dünnstrom.

Phase 3.1: Vorbereitung der Auftragsfläche

Die Faktoren lassen sich in dieser Phase zwar ingenieurmäßig gut erfassen, sie bleiben aber die Förderlänge der Düse und die Wasserzugabe beeinflussen sich gegenseitig. Das oft zufällige Ergebnis dieser gegenseitigen Beeinflussung liegt zwischen unwirtschaftlichem und unbrauchbarem Frischbeton.



Abb.8. Vorbereitung der Auftragsfläche.

Phase 3.2: Auftragen des Frischbetons

Die Bedeutung des Düsenführers wird in der Fachliteratur hinreichend gewürdigt. Man sollte dabei die Einflußmöglichkeiten der Geräteführer an Mischanlage, Kompressorstation, Spritzmaschine und den Fördergeräten jedoch nicht unterschätzen.

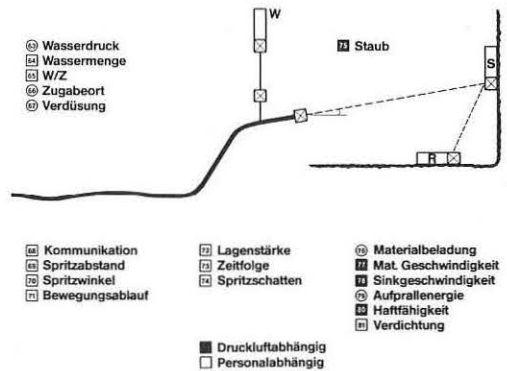


Abb.9. Auftragen des Frischbetons.

Fehlstellen im Spritzbeton entstehen auch durch den Nachlaufeffekt der Reaktionen des Düsenführers, selbst wenn dieser seine Gewalt über den W/Z-Wert und den Verdichtungsgrad kennen sollte.

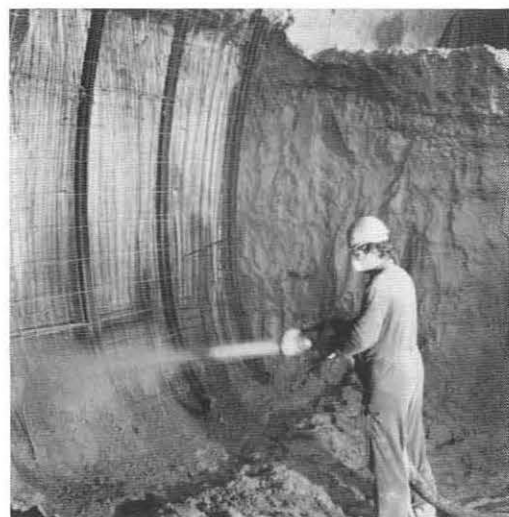


Abb.10. Trockenspritzverfahren.

Phase 3.3: Erhärten

In der Erhärtungsphase wird der Unterschied zum geschalteten Ortbeton besonders deutlich. Spritzbeton wird im jüngsten Alter von einer Vielzahl von Belastungen und Umwelteinflüssen beansprucht, die schwer zu kontrollieren sind. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Einflüsse aus dem Baubetrieb und aus der Gebirgsentspannung. Im Unterschied zum Rüttelbeton interessiert bei der Überwachung des Spritzbetons deshalb vor allem die Festigkeitsentwicklung in der frühesten Phase.

Stoffparameter	Umwelteinflüsse	Überwachung
<input type="checkbox"/> Zementgehalt <input type="checkbox"/> Stoffverteilung <input type="checkbox"/> Rohdichte <input type="checkbox"/> Wasserdichtigkeit <input type="checkbox"/> Luftdichtigkeit <input type="checkbox"/> Bewehrung	<input type="checkbox"/> Gebirgsentspannung <input type="checkbox"/> Baubetrieb <input type="checkbox"/> Ausbläser <input type="checkbox"/> Ablassen der Druckluft <input type="checkbox"/> Druckgefälle im Beton <input type="checkbox"/> Temperatur <input type="checkbox"/> Rel. Luftfeuchte	<input type="checkbox"/> Methode <input type="checkbox"/> Herstellung von Proben <input type="checkbox"/> Entnahmestelle <input type="checkbox"/> Abmessung der Proben <input type="checkbox"/> Zeitpunkt der Entnahme <input type="checkbox"/> Lagerbedingungen <input type="checkbox"/> Prüfmater
	<input type="checkbox"/> Personalabhängig <input type="checkbox"/> Druckluftabhängig	

Abb.11. Erhärten.

3. GLIEDERUNG DER EINFLUSSFAKTOREN

Bei der Unzahl der Einflußfaktoren, deren zum Teil gegenläufigen Wechselwirkungen, bei dem unbefriedigenden Ausbildungsstand des Personals und bei der noch unvollkommenen Überwachung der Frühfestigkeitsentwicklung nimmt es eigentlich Wunder, daß nicht mehr passiert. Die Begründung liegt offensichtlich in einer Art Patentsicherung des konventionellen Trokenspritzbetons, die sich mit einem Schlagwort beschreiben läßt: "Was kleben bleibt, das wird auch fest." - Wenn damit auch das Sicherheitsrisiko in vertretbaren Grenzen bleibt, gibt es trotzdem genügend Gründe, die Wechselwirkungen der Einflußfaktoren zu erforschen, Methoden zu ihrer Kontrolle zu etablieren und Verfahren zu entwickeln, die weniger Einflüssen unterliegen.

Forschung	MESSEN: Hauptwirkungen Nebenwirkungen Wechselwirkungen	Personaleinfluß ausschalten Nebeneinflüsse ausschalten oder konstant halten
	ANALYSIEREN: Betonqualität Arbeitsplatzbedingungen Wirtschaftlichkeit	Alle wesentlichen Einflußbereiche beachten
Ausbildung	AUFKLÄREN ÜBER: Hauptwirkungen Nebenwirkungen Wechselwirkungen	Spritzbetonbauer ausbilden, nicht nur Düsenführer
Entwicklung	BETONTECHNOLOGIE BE-Mittel Konsistenz Verdichtung	Betonqualität Arbeitsplatzbedingungen Wirtschaftlichkeit
	VERFAHRENSTECHNIK Aufbereitung Chargierung Zwischentransporte BE-Dosierung Materialbeschleunigung Flugförderung Einbau Betonüberwachung	Kontrolle der Frühfestigkeit

Abb.12. Möglichkeiten zur Reduzierung ungewollter Einflüsse.

Die Stichworte zur Beschreibung der Möglichkeiten sind Forschung, Ausbildung und Entwicklung (Abb.12).

3.1 Forschung

Die Vielzahl der Parameter macht die Forschung aufwendig. Wenn für einen Einflußfaktor übertragbare Abhängigkeiten gemessen werden sollen, so müssen nicht nur Haupt- und Nebenwirkungen, sondern auch sämtliche anderen Faktoren beachtet werden. Neben der Vielzahl ist dabei besonders erschwerend, daß eine Reihe von Faktoren stark personalabhängig ist. Bei Messungen muß deshalb angestrebt werden, möglichst viele Parameter konstant zu halten und für die übrigen den Personaleinfluß auszuschalten.

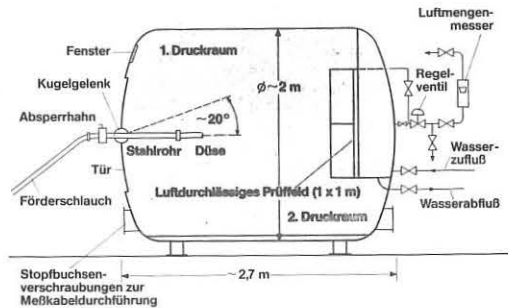


Abb.13. STUVA-Versuchsdruckkammer.

Abbildung 13 zeigt eine Einrichtung, mit deren Hilfe die STUVA und Bilfinger + Berger die Drucklufteinflüsse auf den Spritzbeton hinreichend messen und beschreiben konnten.

Eine weitere Versuchseinrichtung zeigt Abbildung 15, die für kleinere Meßprogramme auf Baustellen geeignet ist. Bilfinger + Berger hat damit verschiedene Abhängigkeiten zur Vorbereitung einer Münchener U-Bahn-Baustelle gemessen.

Umfangreiche Forschungsprogramme mit lange vorzuhaltenden Versuchseinrichtungen werden natürlich sinnvoller an Hochschulinstituten durchgeführt, vor allem, weil man hier konzentrierter und unabhängiger vom profitorientierten Alltagsgeschäft arbeiten kann.



Abb. 14. Einrichtung zur Messung der Aufprallenergie.

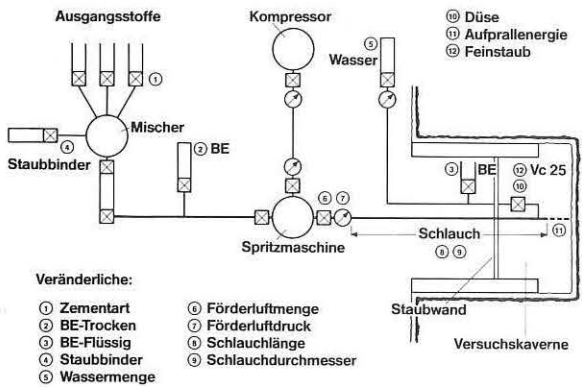


Abb.15. Baustellenversuchsstand von Bilfinger + Berger.

3.2 Ausbildung

Bis vor kurzem reichte in Deutschland ein österreichischer Paß als Qualifikationsnachweis für einen Spritzbetonbauer, und firmeninterne Ausbildungen beschränkten sich auf die handwerkliche Schulung von Düsenführern. An diesem Mißverhältnis zu den Gepflogenheiten bei der Verarbeitung von Rüttelbeton hat sich seit einem Jahr etwas geändert:

Der Bayerische Bauindustrieverband hat auf Anregung und mit Unterstützung von Bilfinger + Berger im Ausbildungszentrum Wetzendorf bei Nürnberg einen zweiwöchigen Kurs für Spritzbetonbauer etabliert. Vorbereitet und durchgeführt wird dieser Kurs unter der fachlichen Leitung der STUVA.

Der Autor würde es begrüßen, wenn eine ähnliche Einrichtung in Österreich geschaffen werden könnte und empfiehlt für diesen Fall eine Programmabstimmung zwischen den Nachbarländern.

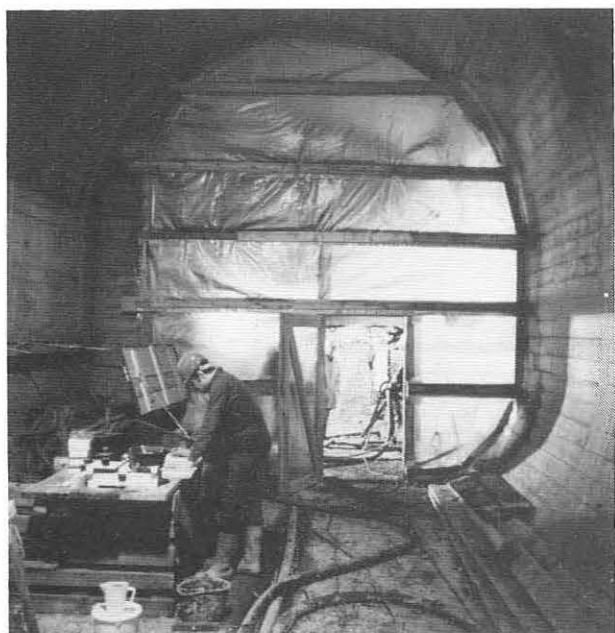


Abb.16. Baustellenversuchsstand von Bilfinger + Berger.

3.3 Technische Entwicklungen

Die Ansätze zu den verschiedenen Detailentwicklungen werden in gesonderten Abhandlungen der hier protokollierten Vortragsveranstaltung beleuchtet. Im folgenden werden deshalb nur die Entwicklungen komplexer Verfahren betrachtet.

In Abbildung 17 werden die wesentlichen Entwicklungen qualitativ bewertet. Der Autor will hiermit keine Aussage mit Anspruch auf Allgemeingültigkeit wagen, er gibt vielmehr die derzeit von seinem Haus vertretene Meinung wieder. Das Trockenspritzverfahren dient bei der Betrachtung als Basis.

Bilfinger + Berger hat sich vor etwa 5 Jahren zunächst mit dem Naßspritzen im Dünnstrom beschäftigt, und damit betontechnologisch und in bezug auf die Staubeentwicklung eindeutig Verbesserungen erzielt. Die Weiterentwicklung wurde fallen gelassen, weil die Maschinenindustrie keine ausreichend leistungsfähigen Geräte anbieten konnte. Vorteile in den ersten beiden betrachteten Einflüßbereichen hätten also mit Einbuße in der Wirtschaftlichkeit erkaufte werden müssen.

Das Naßspritzen im Dichtstrom wurde von Bau-firmen zusammen mit den Herstellern Intradym, Putzmeister und Schwing zur Serienreife gebracht. Bilfinger + Berger setzt das Verfahren auf ARGE-Baustellen ein und hat sich dazu entschlossen, andere Parallelentwicklungen fallen zu lassen, weil eindeutige Verbesserungen in der Wirtschaftlichkeit und in bezug auf die Arbeitsplatzbedingungen nachgewiesen werden können.

In der Frage der Betonqualität bestehen jedoch noch Zweifel. Zum einen wird Beton in pumpfähiger Konsistenz, also mit einem Mindest-W/Z-Wert verarbeitet. Zum anderen sieht man aber vornehmlich in der Wasserglaszugabe aus verschiedenen Gründen Probleme:

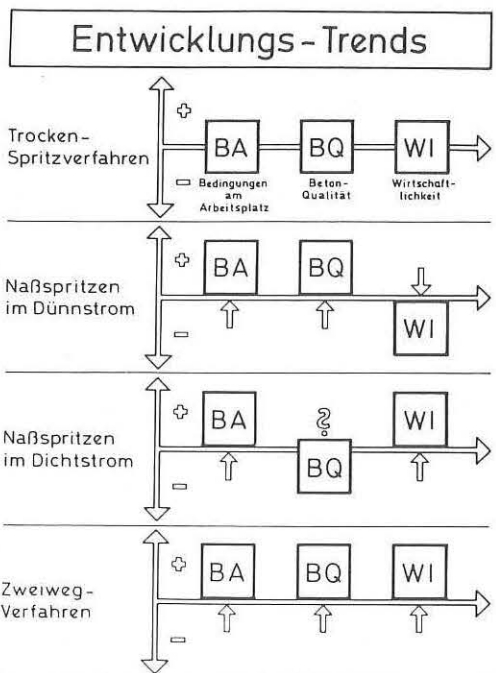


Abb.17. Qualitativer Vergleich auf der Basis des Trockenspritzverfahrens.

- Wasserglas ist kein zugelassener Baustoff, sein Ersteinsatz war nur aufgrund der besonderen Rechtslage möglich, die bei Eisenbahntunneln durch das Deutsche Bundesbahngesetz gegeben ist.
- Die Festigkeitsentwicklung ist bei Wasserglaszugabe mit konventionellem Spritzbeton nicht vergleichbar.
- Die Wirkung der beschriebenen "Patentsicherung" ist bei Wasserglaszugabe fraglich.
- Das Einspritzen von Bewehrung und Ausbaubögen gestaltet sich bei Wasserglaszugabe schwieriger.
- Die Wirkung von Wasserglasdämpfen ist im Hinblick auf mögliche Gesundheitsschädigungen bislang nicht untersucht worden. Beim Einsatz von zweiarmigen Spritzautomaten können pro Stunde mit dem Spritzbeton 1 bis 2 t Wasserglas versprüht werden.

Aus den vorgenannten Gründen beschäftigt sich Bilfinger + Berger zusammen mit Intradym weiter mit der Entwicklung von Einrichtungen für das Zweiwegverfahren zur Serienreife.

4. DAS ZWEIWEGERFAHREN

In Japan arbeitet man seit einigen Jahren nach ähnlichen Prinzipien. Die japanische Gerätetechnik paßte den deutschen Interessenten jedoch nicht in die bestehenden Vortriebskonzepte, so daß verfahrenstechnisch andere Wege beschritten werden mußten.

Nach Versuchsserien unter Laborbedingungen bei Bilfinger + Berger und bei Intradym wurde das neue Verfahren in Gegenvortrieben für den Mühlbergtunnel und für den Richthoftunnel großmaßstäblich getestet und wird nun für den Volleinsatz vorbereitet. Es scheint gesichert, daß mit dem Verfahren die Bedingungen am Arbeitsplatz, die Wirtschaftlichkeit und die Betonqualität zu verbessern sind.

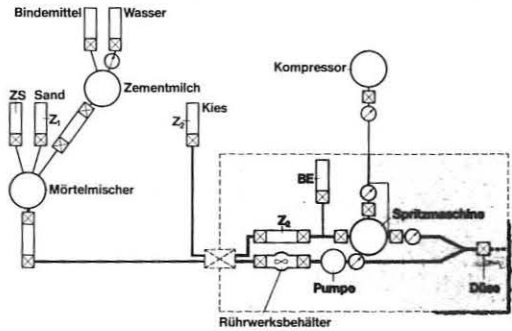


Abb.19. Das Zweiwegverfahren.

Das Zweiwegverfahren ist eine Kombination aus Trocken- und Naßspritzverfahren. Dabei werden Sand, Zement und Wasser in einer Gerätelinie zu Mörtel verarbeitet und trockener Kies in einer zweiten Linie durch eine konventionelle Spritzmaschine beschleunigt.

Das Naßgemisch wird in einem Zwischendepot vor Ort von einem Rührwerk bewegt und von einer Schneckenpumpe zur Düse gefördert. Der Düse ist ein Y-Formstück vorgeschaltet, in dem beide Förderströme erst zur fertigen Ausgangsmischung zusammengeführt und für den Auftrag beschleunigt werden (Abb.18).

Der Mörtel wird in einer Mischanlage außerhalb des Tunnels hergestellt oder als Transportmörtel in Fahrmischern vor Ort gebracht.

Die groben Zuschläge können konventionell mit einem Radlader in das untertägige Zwischensilo geliefert werden. Ihre Aufgabe in die Spritzmaschine besorgt eine Dosierschnecke.

Die erste Gerätelinie ist auf einem zweiarmigen und selbstfahrenden Spritzautomaten zusammengefaßt, die zweite Linie ist rückwärts stationiert, wird weniger häufig umgesetzt und ist in der Art eines Spritzmobils auf einen Schlitten montiert.

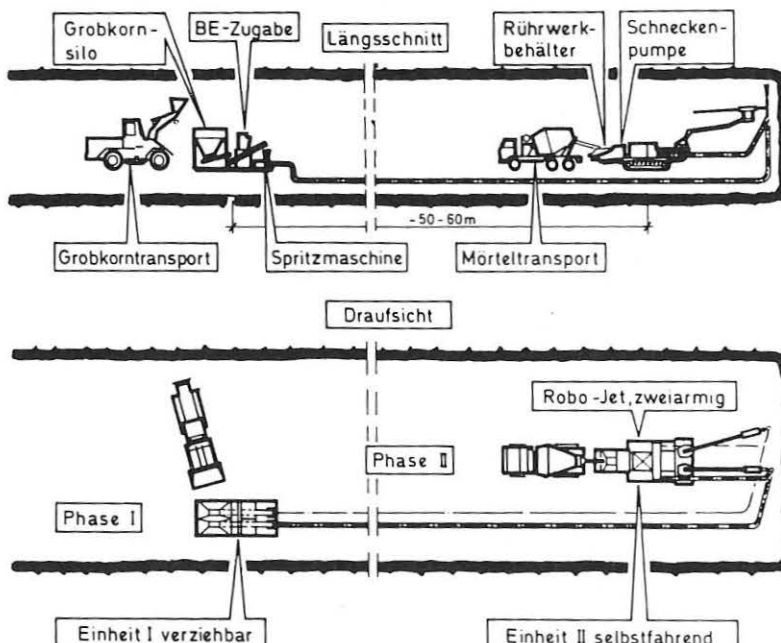


Abb.18. Schematische Darstellung des Zweiwegverfahrens.



Abb.21. Dosierschnecke für Grobkorn;
Zweiwegverfahren.

Die vielen Beeinflussungen im Bereich der BE-Mittel-Zugabe sind stark reduziert. Durch den kurzen Förderweg des Naßgemischs treten die Einflüsse aus Schlauchlänge, Förderhöhe und Raumlage des Schlauches zurück. Da der Spritzbeton in nahezu steifer Konsistenz aufgetragen werden kann, läßt sich der negative Einfluß des Wasserandrangs an der Haftfläche reduzieren. Die zugegebene Wassermenge und der Wasser/Zement-Wert werden beherrscht. Spritzwinkel und Spritzabstand lassen sich durch eine automatische Düsenführung optimal einstellen. Dabei soll aber nicht verschwiegen werden, daß bei jedem Spritzverfahren hin

und wieder die individuelle Düsenführung von Hand erforderlich sein wird. Das Zweiwegverfahren schränkt die Zahl der Einflußfaktoren ein und hilft, die verbleibenden Einflüsse zu kontrollieren. Das handwerkliche Können der Männer vor Ort kann und will es nicht überflüssig machen.

LITERATUR

1. Schreyer, J.: Spritzbeton unter Druckluft. Forschungsbericht 15/ 81, Köln (1981).
2. Weiler, A., und Misch, V.: Tunnelvortrieb unter Druckluft im Schutz einer chemischen Injektion (Baulos 6/7 Stadtbahn Duisburg). Geotechnik 82/4.
3. Blümel, O.W., und Lutsch, H.: Spritzbeton. Springer Verlag, Wien (1981).
4. Distelmeier, H.: Zur Anwendung von Spritzbetonbauwerken im Tunnelbau unter Druckluftbedingungen. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen (1982).
5. Brux,G., Linder,R., und Ruffert,G.: Spritzbeton - Spritzmörtel - Spritzputz; Herstellung, Prüfung und Ausführung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln, 1981.
6. Distelmeier, H.: Spritzbeton unter Druckluft - Erfahrungen aus ersten Anwendungen. Vortrag im Rahmen der Tagung "Unterirdisches Bauen" der TBG in Lüdenscheid 1982.
7. Distelmeier, H.: Spritzbeton im Tunnelbau Herstellung und Anwendung unter Druckluftbedingungen. Vortrag auf dem Deutschen Betontag Berlin (1983).