

---

## Europäisches Forschungsvorhaben zur Entwicklung eines umweltgerechten Spritzbetonsystems

---

EUROPEAN RESEARCH PROJECT FOR THE DEVELOPMENT OF AN ECOLOGICALLY DESIRABLE SHOTCRETE SYSTEM

DR.-ING. HABIL. MICHAEL SCHMIDT, DIPL.-GEOL. VOLKER VAN FELTEN; HEIDELBERGER ZEMENT AG, FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND BERATUNG; LEIMEN

In einem umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsprogramm verschiedener europäischer Forschungsstellen soll die derzeitige Spritzbetonbauweise verbessert werden durch:

- die Entwicklung von Zementen, welche ohne alkalische Beschleuniger die gewünschte Erstarrungs- und Festigkeitsentwicklung aufweisen und die trotzdem die Herstellung von Spritzbeton mit üblichen feuchten Zuschlägen ermöglichen, ohne daß ein frühzeitiges Erstarren und eine dadurch bedingte Qualitätsminderung auftreten.
- den Einsatz umweltneutraler, alkalifreier Erstarrungsbeschleuniger, die das Erstarrungsverhalten des Spritzbetons regeln.
- den Einsatz wirksamer Rückprallminderer zur Reduzierung der Materialverluste während des Spritzens.
- eine Verfahrenstechnik, die eine gleichmäßige Spritzbetonherstellung mit den unter Punkt 1 bis 3 genannten Stoffen und feuchten Zuschlägen ermöglicht.

Die Vielzahl der unterschiedlichen Ansatzpunkte zeigt, daß eine Gesamtlösung zur Vermeidung noch vorhandener bautechnischer, wirtschaftlicher oder umweltrelevanter Nachteile des Spritzbetons angestrebt wird, die insbesondere die baupraktischen Belange berücksichtigt.

*An extensive research and development program, in which various European research institutes take part, aims at improving the currently applied shotcrete methods in the following way:*

- *the development of cements which without alkaline accelerators show the desired initial setting and strength development and still allow to produce shotcrete with the usual moist aggregate without leading to early-stage setting and consequently to a quality loss;*
- *the use of alkali-free accelerators which do not affect the environment for controlling the initial setting of the shotcrete;*
- *a procedure which allows uniform shotcrete production by using the materials and moist aggregate mentioned in items 1 to 3.*

*The various different approaches are targeted at an overall solution eliminating existing structural, economical and ecological drawbacks in connection with shotcrete, with special attention being paid to practical aspects.*

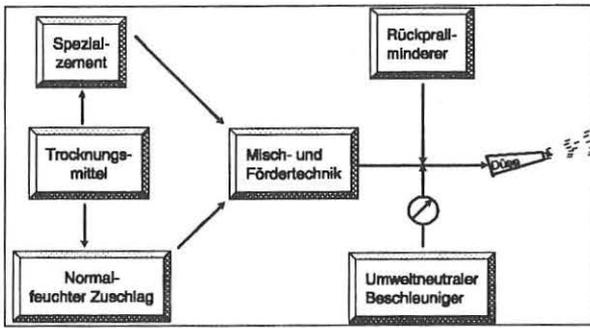


Bild 1: Umfassende Lösungsansätze des Forschungsprojekts

## 1. Einleitung

Eine der häufigsten Tunnelbauweisen ist die neue österreichische Tunnelbauweise (NÖT). Sie ist dadurch ausgezeichnet, daß das Gebirge bergmännisch ausgebrochen wird und unmittelbar nach dem Ausbruch des Gesteins direkt auf die Tunnelwandung ein in wenigen Sekunden erstarrender Beton aufgespritzt wird. Er sichert vorübergehend die Standfestigkeit des Gebirges und schützt die vor Ort arbeitenden Menschen und Maschinen vor nachbrechenden Gesteinsteilen.

Das schnelle Erstarren des Betons wird derzeit dadurch erreicht, daß dem Frischbeton große Mengen stark alkalihaltige erstarrungsbeschleunigende Zusatzmittel zugegeben werden. Durch diese Zusatzmittel werden aber die wesentlichen Qualitätsmerkmale des Betons, nämlich seine Festigkeit und seine Dichtigkeit, stark vermindert. Er kann deshalb nicht als dauerhaft tragende Tunnelschale berücksichtigt werden, sondern es muß eine zusätzliche Tunnelschale aus Ortbeton eingebaut werden. Außerdem kann Gebirgswasser durch den porösen Spritzbeton hindurchsickern, das in vielen Fällen die Alkalien und Kalkbestandteile aus dem Beton ausspült, die sich dann in den Tunneldrainagen absetzen und möglicherweise das umgebende Grundwasser kontaminieren.

Alkalibeschleuniger sind stark ätzend und damit bei nicht sehr sorgfältigem Umgang gesundheitsgefährdend. Die beim Spritzen auftretenden alkalischen Feinststäube sind lungengängig und gefährden die Gesundheit der Vortriebsmannschaft zusätzlich, bis hin zu möglichen Silikoseerkrankungen.

Ein weiteres Problem der derzeitigen Spritzbetonbauweise ist der beim Betonantrag auf die Wand anfallende Rückprall, der den Betonbe-

darf um bis zu 30 % erhöht und der derzeit meist nicht weiterverwendet werden kann. Er muß mit erheblichem Aufwand deponiert werden. Die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wird dadurch verschlechtert und die Umwelt wird durch den erhöhten Rohstoffbedarf und die notwendigen Deponieflächen unnötig belastet. Darüber hinaus gefährden auch die rückprallenden Grobbestandteile des Betons die Sicherheit und die Gesundheit der Vortriebsmannschaft.

## 2. Ausbau des Tunnelnetzes in Europa

Der Gesamtverkehr innerhalb des europäischen Binnenmarktes wird sich nach dem Öffnen der Schranken im Jahr 1993 nach verschiedenen Schätzungen mindestens verdreifachen. Dies erfordert einen nachhaltigen Ausbau des Verkehrsnetzes. Im europäischen Raum sind bis zum Jahr 2000 und darüber hinaus umfangreiche Tunnelbauten geplant oder in der Vorbereitungsphase, die für den Ausbau der Infrastruktur dringend notwendig sind. Eine Einschränkung aus Umwelt- und Gesundheitsgründen würde den Ausbau der Verkehrswege erheblich verteuern und dadurch den Fortschritt der Integration und der Angleichung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse in Europa verlangsamen.

Allein in der Bundesrepublik Deutschland ist bis zum Jahr 2010 der Neu- oder Ausbau von ca. 210 km Eisenbahn und U-Bahntunnel geplant, vor allem beim Ausbau des Schnellbahnnetzes und im öffentlichen Nahverkehr. Hierzu kommen noch mindestens 80 km Straßentunnel im Gebirge, zur Unterfahrung von bestehenden Verkehrswegen und in Ballungsräumen sowie bei der Errichtung eines leistungsfähigen Transitnetzes.

Daraus errechnet sich ein Betonverbrauch von rund 11 Millionen m<sup>3</sup> Beton, davon etwa ein Drittel bis die Hälfte als Spritzbeton. Bei üblichen Zementgehalten werden dafür rd. 4 Millionen Tonnen Zement benötigt.

Im Alpenraum ist noch einmal mit der gleichen Tunnellänge mit entsprechendem Zement- und Betonbedarf zu rechnen (z.B. Lötschberg-Tunnel, Brenner-Basis-Tunnel, St. Gotthard-Tunnel). Auch im übrigen Europa dürfte ein enormes Tunnelbauvolumen zu erwarten sein, da nur so der Verkehr in den Ballungszentren entlastet werden kann. Aus diesen Zahlen ergibt sich allein in Deutschland und dem Alpenraum ein geschätztes Bauvolumen von ca. 11 Mrd. DM (ca. 80 Mrd. ATS).

### 3. Vorstellung des BRITE - Projekts

Aus den zuvor angesprochenen Problemen ergibt sich eine umfangreiche Aufgabenstellung für ein Forschungsvorhaben, das zu umfassenden Lösungen für die verschiedenen Anwendungsgebiete der Spritzbetontechnologie führen soll.

Die Komplexität der Thematik und der daraus resultierende Umfang der Forschungsarbeiten führte früh zu Überlegungen, die Arbeiten in Kooperation mit weiteren Partnern durchzuführen.

Neben der Aufteilung des Arbeits- und Kostenaufwands und der Nutzung eines breiten Entwicklungspotentials bietet ein europäisches Gemeinschaftsprojekt die Möglichkeit einer finanziellen Förderung durch die EG. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften (CEC) in Brüssel fördert industrielle Gemeinschaftsprojekte bei Beteiligung von Partnern aus mindestens zwei EG - Staaten. Im Rahmen des BRITE/EURAM - Programms (Basic Research In Industrial Technologies For Europe/European Research On Advanced Materials) der CEC werden insbesondere praxisorientierte Forschungen unterstützt.

Dem Konsortium gehören neben der

Heidelberger Zement AG die Cementi Buzzi S.p.A. aus Italien und die Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke Knoch, Kern & Co. aus Österreich an. Das Institut für Baustofflehre und Materialprüfung der Universität Innsbruck unter Leitung von Herrn Prof. Lukas übernimmt einen Teil der Untersuchungen im institutseigenen Spritzbeton-Großprüfstand.

Im Mittelpunkt der Forschungen steht die Verbesserung der Qualität und der Umweltfreundlichkeit des Spritzbetons. Weitere Aspekte sind die Sicherheit, die Gesundheit und die Wirtschaftlichkeit der Bauweise.

#### Qualität

Durch den Verzicht auf stark alkalihaltige Erstarrungsbeschleuniger sollen die wichtigsten Qualitätsmerkmale des Spritzbetons, nämlich seine Festigkeit und seine Dichtigkeit verbessert werden. Diese Verbesserungen sollen dazu führen, daß der Spritzbeton bei Bedarf als tragende Tunnelschale herangezogen werden kann.

#### Spezialzemente

Die neuen Zemente sollen aufgrund ihrer Erstarrungscharakteristik den Einsatz von Erstarrungsbeschleunigern in den meisten Fällen überflüssig machen. Neben einer gleichmäßig hohen Festigkeit soll eine regelbare Erstarrungszeit erreicht werden.

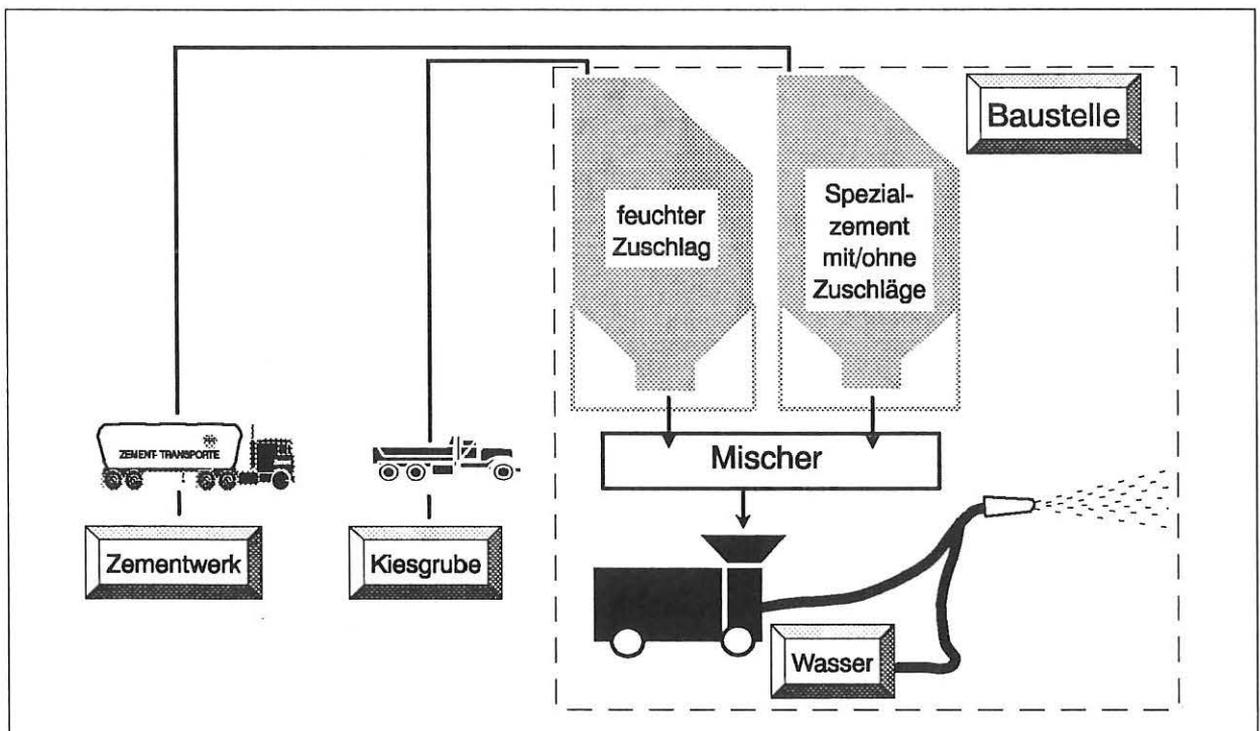


Bild 2: Einsatz von Spezialzement und naturfeuchten Zuschlägen

Wichtiges Ziel ist die Verwendbarkeit naturfeuchter Zuschläge mit bis zu 5% Zuschlagsfeuchte ohne Beeinträchtigung der Betoneigenschaften (Bild 2). Für Naßspritzbeton sollen nach der Zugabe des Anmachwassers einige Minuten verbleiben in denen die Zuschläge mit dem Zement gemischt und gefördert werden können. Zur Regelung der Erstarrungszeit kommen sowohl sulfatische als auch nicht-sulfatische Zusätze in Frage.

Mindestanforderungen für den umweltgerechten Spritzbeton sind die in der Richtlinie Spritzbeton vorgegebenen Werte siehe Bild 3 (Kurve J2: 0,5 N/mm<sup>2</sup> nach 6 Minuten, 3 N/mm<sup>2</sup> nach 1 Stunde, 11 N/mm<sup>2</sup> nach 12 Stunden, > 20 N/mm<sup>2</sup> nach 48 Stunden, ≥ 35 N/mm<sup>2</sup> nach 28 Tagen).

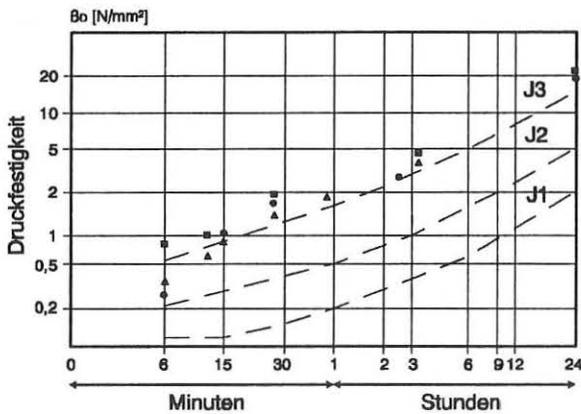


Bild 3: Frühfestigkeiten aus Spritzversuchen

### Trocknungsmittel

Für den Fall, daß eine Reaktion des Spezialzements mit der Zuschlagsfeuchte nicht ausgeschlossen werden kann, sollen mineralische Trocknungsmittel eingesetzt werden. Das Mittel könnte sowohl dem Zuschlag zugegeben werden, aber auch Zementkomponente sein.

### Umweltneutrale Beschleuniger

Der Einsatz von Zementen ohne zusätzlichen Beschleuniger wird nicht immer möglich sein, z.B. bei sehr niedrigen Temperaturen oder bei Wasserandrang. Es sollen deshalb zusätzlich zu den Zementen ökologisch unbedenkliche Beschleuniger entwickelt werden. Sie sollen sowohl mit den neu entwickelten Spezialzementen als auch mit herkömmlichen Zementen verwendbar sein. Das Erstarrungsende soll in weniger als 10 Minuten eintreten.

### Rückprallminderer

Durch geeignete Zusatzstoffe soll die Rück-

prallmenge von heute bis zu 30% auf weniger als 10% reduziert werden. Die dadurch bedingte Einsparung von Rohstoffen wird die Wirtschaftlichkeit der Spritzbetonbauweise weiter verbessert. Durch den geringeren Rohstoffbedarf, weniger Abfall und in Folge reduziertem Deponiebedarf wird die Umwelt in erheblichem Maße entlastet.

Darüber hinaus wird auch die Gefährdung der Vortriebsmannschaft durch die rückprallenden Grobbestandteile vermieden. Die gesundheitsgefährdende Staub- und Aerosolbelastung wird vermindert.

### Umweltfreundlichkeit

Neben der schon angesprochenen Umweltentlastung durch weniger Rückprall wird auch das Auslaugverhalten durch größere Dichtigkeit erhöht. Durch den Verzicht auf alkalihaltige Erstarrungsbeschleuniger sollen die Eluate die Anforderungen der Trinkwasserverordnung erfüllen. Spritzbeton soll damit weiterhin auch in wasserberührenden Untertagebauwerken eingesetzt werden können.

### Verfahrenstechnik

Die Reaktionsfähigkeit der Zemente und die Verwendung naturfeuchter Zuschläge bedingt die Anpassung der Misch- und Fördereinheiten auf die zur Verfügung stehende oder eingestellte Verarbeitungszeit. Entsprechende Überlegungen wurden bereits zum Patent angemeldet.

### Zeitraumen

Das Projekt wurde am 1. September 1992 begonnen, die Gesamtlaufzeit beträgt 30 Monate, das Ende des Forschungsprojekts ist für das Frühjahr 1995 vorgesehen. Mit ersten Prototypen für die Anwendung in Baustellenversuchen ist ca. Mitte 1993 zu rechnen. Diese Anwendungsversuche werden in enger Zusammenarbeit mit ausführenden Baufirmen durchgeführt. Großer Wert wird auf das einfache Handling und auf praxisgerechte Verarbeitung gelegt. Die Beurteilung durch die Baufirmen wird damit zu einem wichtigen Teil der Forschungen.

### Vergleich mit anderen Lösungsansätzen

Der Hauptunterschied zu bisherigen Lösungsversuchen liegt darin, daß das Problem in seiner ganzen Komplexität angegangen wird. So wird nicht nur auf eine variable Reaktionszeit und auf eine ausreichende Frühfestigkeit Wert gelegt, sondern auch auf möglichst große Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Im Gegensatz zu anderen Ansätzen ist die Verwendung normal feuchter Zuschläge vorgesehen, so daß

ein Einsatz der neuen Produkte sowohl beim Trocken- als auch beim Naßspritzverfahren möglich ist. Dazu kommt der völlige Verzicht auf aluminathaltige Erstarrungsbeschleuniger.

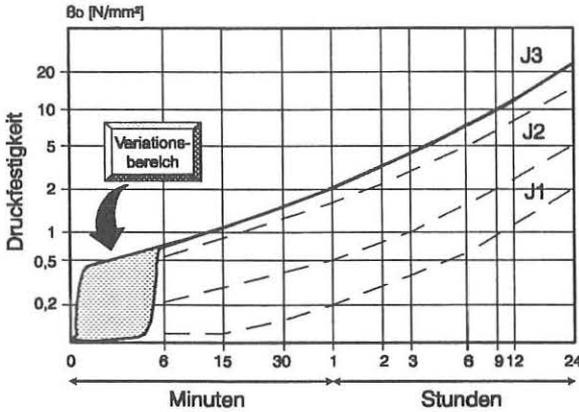


Bild 4: Variabler Erstarrungsbeginn zwischen 0-5 Minuten

#### Diskussion der bisher vorliegenden Ergebnisse

Mit neu entwickelten Bindemitteln wurden erste Spritzversuche untertage durchgeführt. Die Temperaturen im Versuchsstollen betragen 12-13 °C. Die Ergebnisse zeigten eine Festigkeitsentwicklung, die im unteren Bereich J3 der Richtlinie Spritzbeton des Österreichischen Betonvereins angesiedelt war (Bild 3 + 4). Die Frühfestigkeiten nach 6 min. lagen zwischen 0,3 und 0,7  $N/mm^2$ . Die Druckfestigkeiten nach 28 Tagen erreichten zwischen 35 und 52  $N/mm^2$  je nach Versuchsmischung.

Im Zeitraum zwischen 0-5 Minuten soll der Erstarrungsbeginn variabel einstellbar sein

(Bild 4), um auf die unterschiedlichen Anforderungen in der Praxis reagieren zu können. Nicht immer sind sehr hohe Frühfestigkeiten erforderlich, in vielen Fällen ist eine Haftwirkung ausreichend. Der Rückprall kann durch ein langsameres Ansteifen erheblich reduziert werden.

#### 5. Zusammenfassung

Resümierend kann festgestellt werden, daß das heutige Spritzbetonverfahren mit alkalihaltigen erstarrungsbeschleunigenden Zusätzen die Qualität des Betons verschlechtert, die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens beeinträchtigt sowie die Gesundheit der beteiligten Mitarbeiter und die Umwelt stark belastet. Anzeichen deuten darauf hin, daß die heutige Spritzbetonbauweise zumindest für wasserberührende Untertagebauwerke zukünftig nicht mehr angewendet werden darf. Alternative Bauweisen wie z.B. der Tunnelausbau in Edelstahl sind in der Regel um ein mehrfaches teurer. Dies wäre gleichzusetzen mit dramatischen Absatzverlusten für die zement- und betonherstellende Baustoffindustrie, die Hersteller von Zusatzmitteln und die ausführende Bauindustrie, und würde den Tunnelbau in ganz Europa nennenswert verteuern. Es ist deshalb von außerordentlicher Bedeutung, schnell eine geeignete Technologie zu entwickeln, um Spritzbeton ohne die genannten Nachteile herzustellen.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind vielversprechend. Trotz Verzicht auf zusätzliche Beschleunigerzugabe werden sowohl ein früher Erstarrungsbeginn wie auch hohe Endfestigkeiten erreicht.

