

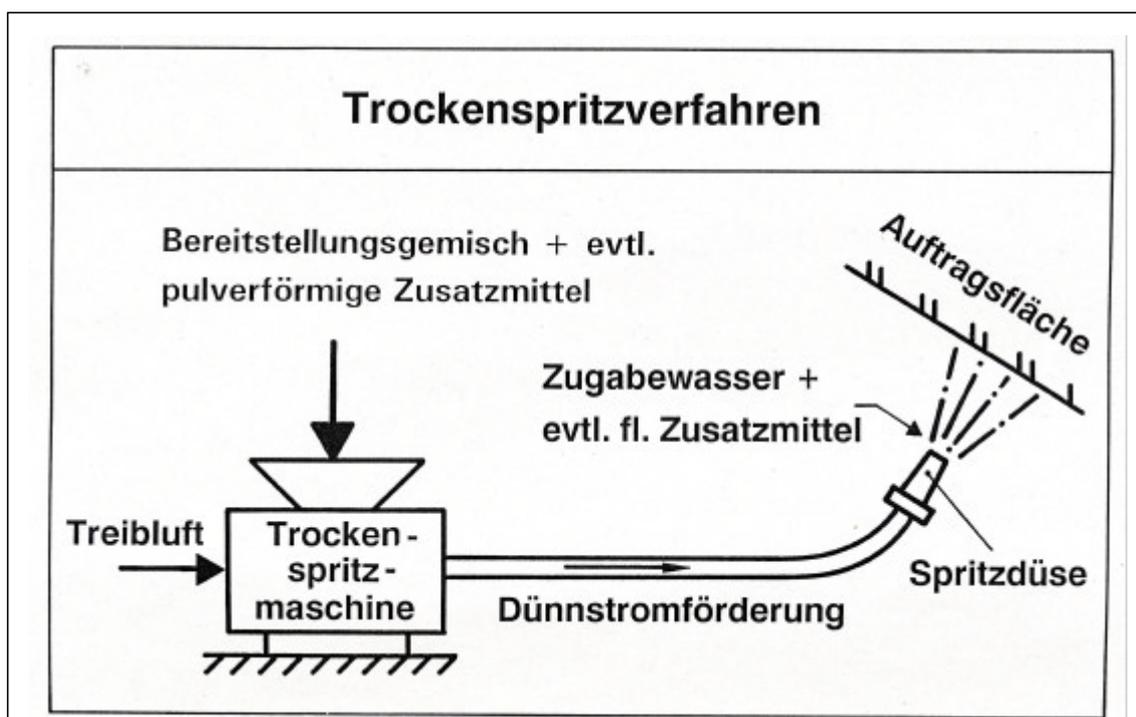
**Staubminderung bei Spritzbetonarbeiten unter Tage**

**Autor: W. Chromy**  
Tiefbau-Berufsgenossenschaft, München

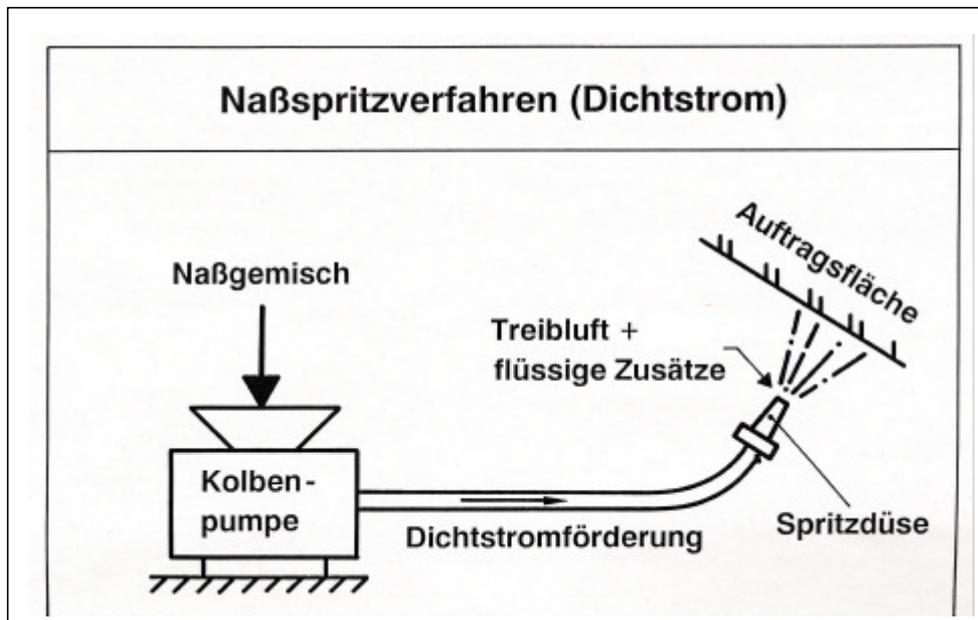
Obwohl die Spritzbetontechnik seit vielen Jahrzehnten bekannt ist, erlebte sie im deutschen Tunnelbau erst mit dem Bau der Bahnneubaustrecke Würzburg-Hannover in den 80er-Jahren den richtigen Durchbruch. Im Rahmen dieses Streckenneubaus wurde eine Gesamttunnelstrecke von 138 km in der Spritzbetonbauweise aufgeföhren.

Im Tunnelbau sind Spritzbetonarbeiten, auöer den bei Sanierungsarbeiten durchgeföhrt, lediglich ein Verfahrensbestandteil der **Spritzbetonbauweise**, die zunächst unter dem Namen **Neue Österreicherische Tunnelbauweise, NÖT** bekannt wurde. Bei dieser Bauweise wird in der Regel der durch Sprengarbeiten, seltener auch durch Bagger oder Teilschnittmaschinen, geschaffene Felshohlraum mittels Spritzbeton gesichert. Im Tunnelbau sprechen wir hier von der Erstsicherung, da die endgültige Hohlraumsicherung erst in einem späteren Arbeitsgang durch Ortbeton erfolgt. Bei dieser Erstsicherung wird der Spritzbeton unter Druck auf die freigelegten Gebirgswände zu deren Stabilisierung aufgetragen. Heute unterscheiden wir im Wesentlichen zwei grundlegende Arbeitsverfahren in der Spritzbetontechnik (siehe Abbildungen):

1. das Trockenspritzverfahren und
2. das Nassspritzverfahren.



Beim Trockenspritzverfahren wird das Spritzgut (Zement, Sand, Kies und evtl. chemische Zusätze für besondere Betoneigenschaften) in einer Rohrleitung trocken bis zu einer Spritzdüse gefördert und dort unter Wasserzugabe mittels Druckluft auf die Wände aufgespritzt.



Beim Nassspritzverfahren wird hingegen das Spritzgut als fertiger Beton durch eine Rohrleitung zur Spritzdüse gefördert und dort, wie beim Trockenspritzverfahren, mittels Druckluft auf die Gebirgswände aufgetragen.

Die Vorteile der Spritzbetonbauweise liegen vor allem in ihrer

- flexiblen Anpassung an stark und häufig wechselnde Gebirgsverhältnisse, wie sie in Deutschland häufig angetroffen werden,
- leichten Anpassbarkeit an das jeweilige Vortriebsverfahren,
- Unabhängigkeit von der Wahl des Ausbruchquerschnittes,
- schnell wirksam werdenden Hohlraumsicherung und
- den relativ geringen Investitionskosten.

Ist die Anwendung der Spritzbetontechnik bei übertägigen Arbeiten, ausgenommen in geschlossenen Räumen wie z.B. in Brückenhohlkästen, unproblematisch, so bringt deren Einsatz bei untertägigen Bauarbeiten große Probleme mit sich. Neben den im Tunnelbau beim Lösen, Laden und Transport entstehenden Unfallgefahren treten bei den Spritzbetonarbeiten zusätzlich gesundheitliche Gefährdungen durch die hohen Staubemissionen auf. Die Menge des dabei freigesetzten Staubes ist im Wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

1. der Größe des Ausbruchquerschnittes

2. der Stärke der aufzutragenden Spritzbetonschicht
3. dem angewandten Spritzbetonverfahren
4. der Anzahl der eingesetzten Spritzdüsen
5. der installierten Tunnelbelüftung.

Im Rahmen einer von der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG) vergebenen Forschungsarbeit wurde ermittelt, dass sich die untertägigen Spritzbetonstäube im Allgemeinen aus 75 % Zement, 20 % Zuschlagstoffen, 4 % Gebirgsstaub und 1 % Erstarungsbeschleuniger zusammensetzen. Die gesundheitlichen Risiken für die Versicherten liegen bei dieser Bauweise vor allem

1. in der hohen Staubemission, wobei hierunter vor allem der allgemeine Feinstaub zu verstehen ist. Der Quarzanteil in diesen Stäuben spielt keine große Rolle, da er im Allgemeinen unter 1 Massen-% liegt. Es sind aber aus den 80er-Jahren Fälle bekannt, wo die Staubbelastung so hoch war, dass selbst bei diesen geringen Quarzgehalten der Staubgrenzwert für Quarzfeinstaub überschritten wurde.
2. in der Zugabe chemischer Stoffe zum Spritzbeton zur Erzielung besonderer Betoneigenschaften, die zusätzliche gesundheitliche Risiken begründen, z. B. Verätzungen durch die Zugabe von alkalischen Erstarungsbeschleunigern mit einem pH-Wert von ca. 12,5 und höher.

Bei den Tunnelbauarbeiten im Rahmen der Neubaustrecke Würzburg-Hannover wurde ausschließlich das Trockenspritzverfahren angewandt. Da der TBG die Staubprobleme, die mit dieser Bauweise verbunden sind, bekannt waren, haben wir diese Bauverfahren von Anfang an kritisch und überwachend begleitet. Das Nassspritzverfahren war zu diesem Zeitpunkt zwar bekannt, aber technisch unzureichend, sodass wir im Rahmen des Neubauprojektes über eine versuchsweise Anwendung nicht hinauskamen. Die schon genannten Nachteile dieser Bauweise zeigten sich dann auch sofort nach Baubeginn. Staubmesswerte in der Größenordnung von 70 bis 80 mg/m<sup>3</sup> waren keine Ausnahme. Die Staubbelastung war zum Teil so groß, dass wir zwei Personen für den Filterwechsel an einem VC 25 einsetzen mussten. Die Frage war nun, wie kann die Tiefbau-Berufsgenossenschaft mit diesen hohen Staubemissionen umgehen? Akzeptieren konnten wir sie nicht, wegen des Mangels an technischen Alternativen konnten wir sie aber auch nicht ändern.

Gemäß dem Grundsatz der TBG in der Unfallverhütung „Der Arbeitsschutz beginnt an der Gefahrenquelle“ haben wir von Anbeginn versucht, die Staubemission bei diesem Arbeitsverfahren durch technische Maßnahmen zu minimieren.

Eine seit vielen Jahren geübte Praxis bei Bauarbeiten unter Tage ist wegen der gleichen Ausgangslage die enge Zusammenarbeit mit den Unfallversicherungsträgern der Schweiz und Österreichs. Auf dieser Basis haben wir bereits 1985 gemeinsam die ersten Ansätze für ein Forschungsprojekt „Grundlagen zur Anwendung der Spritzbetonbauweise“ erarbeitet. Diese Arbeiten mündeten dann in das Forschungsprojekt „Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Tunnelbauarbeitern durch Untersuchung von Möglichkeiten zur lüftungstechnischen Begrenzung der Staubausbreitung“. Das Hauptergebnis dieser Forschungsarbeit war bezüglich der Spritzbetonarbeiten die

Erkenntnis, dass es nicht ausreicht, allein die Staubausbreitung zu verhindern, sondern dass mit der Staubreduzierung an der Staubentstehungsquelle, d.h. bei der Spritzbetonherstellung und -verarbeitung, begonnen werden muss. Die drei Unfallversicherungsträger TBG, SUVA und AUVA haben deshalb einen neuen und sehr umfangreichen Forschungsauftrag „Baustellenerprobung von chemischen Zusätzen zur Staubreduzierung am Arbeitsplatz bei Spritzbetonarbeiten“ an die Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen – STUVA – sowie an die Ruhr-Universität Bochum (Lehrstuhl für Bauverfahren, Tunnelbau und Baubetrieb – Vorstand o. Prof. Dr.-Ing. B. Maidl) und die Ingenieurgesellschaft o. Prof. Dr.-Ing. B. Maidl – Dipl.-Ing. R. Maidl vergeben.

Die Finanzierung erfolgte durch die drei Unfallversicherungsträger unter Förderung durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie. An diesem anspruchsvollen Forschungsprojekt beteiligten sich durch die Bereitstellung von Maschinen, Gerät und Personal die Firmen:

Sika, Zürich (Schweiz),  
ALIVA, Widen (Schweiz),  
Meynadier, Winterthur (Schweiz),  
Schürenberg Beton-Spritzmaschinen, Essen,  
Schwing Baumaschinen, Herne,  
Abatrag (vertreten durch die Firma Schwing)  
Bündener Cementwerke, Untervaz (Schweiz),  
Heidelberger Baustofftechnik, Leimen,  
Anneliese Zement (Schweiz),  
Tricosal, Illertissen  
MC-Bauchemie Müller, Bottrop und  
Putzmeister, Aichtal.

Die technische und wissenschaftliche Begleitung erfolgte durch

- Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen – STUVA – Köln,
- Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Baubetrieb, Direktor Prof. Dr.-Ing. Maidl,
- Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, SUVA-Analytik,
- Österreichische Staubbekämpfungsstelle – ÖSBS – Leoben,
- Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA,
- Tiefbau-Berufsgenossenschaft, Staubmessstelle,
- Versuchsstollen Hagerbach – VHS, Sargans (Schweiz)
- Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, Forschungszentrum Seibersdorf (Österreich).

Wir dachten damals weniger an die Modifizierung der Spritzbetonverfahren als vielmehr an die Möglichkeit, durch chemische Betonzusätze die Staubemission zu verrin-

gern. Neben dieser Untersuchung wurden zahlreiche weitere Parameter sowohl in Bezug auf das Trocken- als auch das Nassspritzverfahren untersucht, die nach unserer Ansicht Einfluss auf die Feinstaubfreisetzung haben könnten, wie z. B. der Einfluss von:

- Erstarrungsbeschleunigern,
- Staubbindemitteln
- Spritzdüsen
- Langzeitverzögerern
- Betonzusammensetzung
- Spritzementen
- SiO<sub>2</sub> (Mikrosilika)
- Abstand der Spritzdüse von der Auftragsfläche
- Druckhöhe in der Förderleitung.

Zusätzlich war die Qualitätsprüfung des Spritzbetons Bestandteil dieser Forschungsarbeit, um so eine hohe Spritzbetonqualität bei möglichst geringer Gesundheitsbelastung für die Versicherten zu erreichen.

Als ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeiten konnten wir feststellen, dass durch die Zugabe von Staubbindemitteln eine Reduzierung der Feinstaubemission bis maximal 47 % erreicht werden konnte. Es ist mir leider nicht möglich, im Rahmen dieses Kurzvortrages alle weiteren Ergebnisse dieser umfangreichen Forschungsarbeiten zu beschreiben. Sie wurden in einem Sonderdruck der TBG unter dem Titel „**Staubreduzierung bei Spritzbetonarbeiten unter Tage – Ergebnisse neuer Forschungsarbeiten**“ 1995 veröffentlicht.

Neben vielem Detailwissen brachte diese Forschungsarbeit vor allem die Erkenntnis, dass durch die Zugabe von chemischen Staubbindemitteln zwar die Staubemission reduziert werden kann, die praktische Umsetzung dieser Erkenntnis aber wahrscheinlich an der Kostenfrage scheitern würde. Eine signifikante Staubreduzierung bei Spritzbetonarbeiten unter Tage war deshalb nach unserer Ansicht nur noch auf zwei Wegen erreichbar:

1. Baureifmachung des Nassspritzverfahrens als wirksamster Maßnahme und
2. für alle Fälle, in denen das Nassspritzverfahren technisch nicht einsetzbar ist, das Trockenspritzverfahren zu optimieren.

Wir haben in den folgenden Jahren diesen Weg konsequent beschritten und in akribischer Kleinarbeit mit Systemherstellern, der chemischen Industrie und den einschlägigen Mitgliedsbetrieben die Spritzbetontechnik in kleinen Schritten optimiert.

Beim Trockenspritzverfahren hatten wir erkannt, dass die wesentliche Ursache für die Feinstaubfreisetzung die mangelnde Benetzung des Mischgutes mit Wasser in der Spritzdüse war. Die kurze Aufenthaltszeit des Mischgutes in der Spritzdüse reichte nicht aus, um eine ausreichende Durchmischung mit Wasser zu gewährleisten. Die Folge war neben der hohen Staubemission ein Rückprallverlust von Mischgut bis zu 30 %. In einem von der TBG an die Ruhr-Universität Bochum (Lehrstuhl für Bauverfahren,

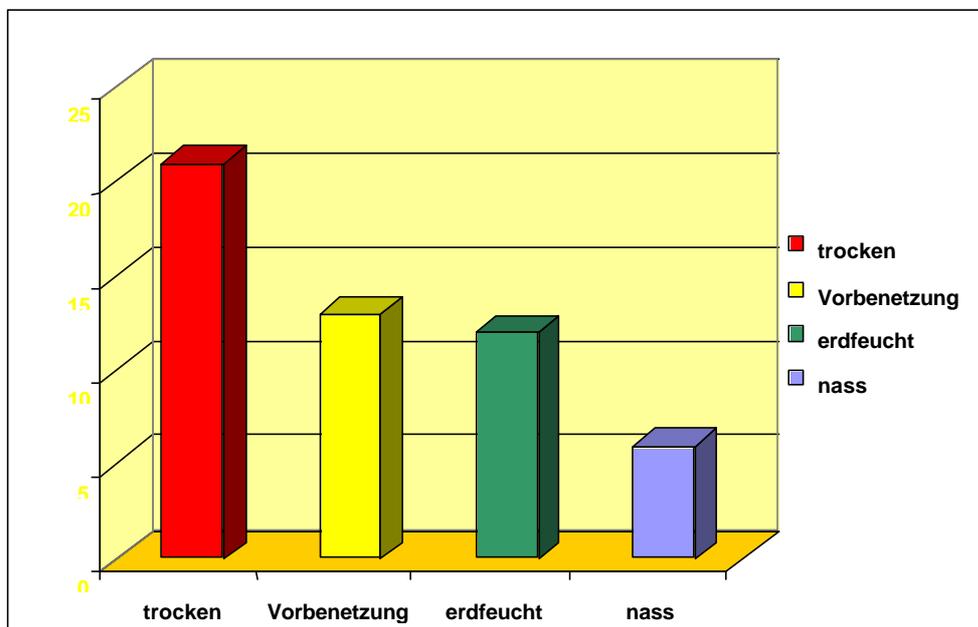
Tunnelbau und Baubetrieb – Vorstand o. Prof. Dr.-Ing. B. Maidl) vergebenen Forschungsauftrag „Arbeits- und Gesundheitsschutz durch Reduzierung der Staubentwicklung im Düsenbereich“ sollte untersucht werden, ob durch konstruktive Änderungen der Spritzdüsen die Staubemission vermindert werden kann. Als Ergebnis dieser Forschungsarbeit mussten wir leider feststellen, dass die Optimierung der Spritzdüsen für eine signifikante Reduzierung der Staubemission allein nicht ausreicht.

Eine wesentliche Verbesserung der Staubverhältnisse brachte jedoch die Wasservorbenetzung des Mischgutes. Hierzu wird in einem definierten Abstand (abhängig vom verwendeten Spritzzement) vor der Spritzdüse eine dosierbare Wasserzufuhr in die Förderleitung eingebaut und so eine Vorbenetzung des Mischgutes erreicht.

Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung der Staubemission war die Verarbeitung von erdfeuchtem Ausgangsmischgut. Dieses Verfahren ist jedoch wegen seines hohen Investitionsbedarfes nur begrenzt einsetzbar.

Die größten Erfolge haben wir in der letzten Zeit mit der Optimierung des Nassspritzverfahrens erreicht. Voraussetzung hierfür war neben der wesentlich verbesserten Geräteausstattung vor allem die Zurverfügungstellung geeigneter Spezialzemente bzw. chemischer Zusatzstoffe zur Erstarrungsbeschleunigung des Betons. Die größere Leistungsfähigkeit des Nassspritzverfahrens gegenüber dem Trockenspritzverfahren tat ihr Übriges.

Die Ergebnisse dieser jahrelangen Arbeit können Sie der folgenden Darstellung entnehmen. Ausgangspunkt waren die mittleren Staubbelastungen von ca. 40 bis 50 mg/m<sup>3</sup> in der 80er-Jahren.



Diese Werte bedürfen jedoch der Interpretation. Die Streubreite dieser Werte ist sehr hoch, da die Daten unter zum Teil sehr unterschiedlichen Verhältnissen, vor allem in Bezug auf Tunnelquerschnitt und Tunnelbelüftung gewonnen wurden.

Wir wollten hier vor allem den Trend einer Entwicklung wiedergeben, der beweist, wie mit jahrelanger beharrlicher Arbeit der Gesundheitsschutz der Versicherten bei Spritzbetonarbeiten wesentlich verbessert werden konnte. Am Ende unserer Bemühungen

sind wir aber dennoch noch nicht angekommen. Wir werden gemeinsam mit der einschlägigen Industrie, den Mitgliedsbetrieben und den Versicherten die Spritzbetonverfahren weiter optimieren. Damit werden wir den Gesundheitsschutz der Versicherten weiter verbessern und zusätzlich einen positiven Beitrag zur Verbesserung der Arbeitskultur und der Arbeitshygiene bei Bauarbeiten unter Tage leisten.