

---

# Ursachen und Gefahren von Staubentwicklung beim Trockenspritzen

---

CAUSES AND DANGERS OF DUST FORMATION WITH DRY-MIX SHOTCRETE

DIPL.-ING. HORST MICKE, DEUTSCHE MONTAN TECHNOLOGIE-GESELLSCHAFT FÜR FORSCHUNG UND PRÜFUNG MBH, BOCHUM

Die Staubentwicklung ist ein nahezu ständiger Begleiter des Trockenspritzverfahrens. Sie konnte trotz vielfältiger Verbesserungsbemühungen an Benetzungssystemen nicht durchgreifend beseitigt werden.

Lungengängige Feinstäube vom Trockenspritzen bestehen überwiegend aus unbenetzten Zementanteilen sowie BE-Mitteln und nachgeordnet aus Abrieb des Zuschlages. Folglich stehen Belastungen durch Exposition im vordersten arbeitsmedizinischen Interesse.

Vergleichende Untersuchungen im Spritzversuchsstand der DeutschenMontanTechnologie zeigten auf, daß von der Handhabung des Förderschlauches, von der Charakteristik der Baustoffförderung sowie von deren Wechselwirkungen mit dem Benetzungsvorgang erhebliche Einflüsse auf die Güte der Baustoffbenetzung ausgehen.

Diese Erkenntnisse sind zum einen eine Grundlage für Arbeitsregeln beim Trockenspritzen und liefern zum anderen Ansatzpunkte für gezielte Untersuchungen und Weiterentwicklungen.

*The dry-mix method almost inevitably goes hand in hand with dust formation, despite various efforts to improve wetting systems.*

*Respirable fine dust in connection with dry-mix shotcrete consists primarily of dry cement particles, accelerators and - less important - of aggregate grains. Occupational medicine and health care therefore take a critical view of the exposure to such conditions.*

*Comparative tests at a trial installation of Deutsche MontanTechnologie showed that the manipulation of the conveyor hose, the characteristics of material conveyance and its interaction with the wetting process have considerable influence on the quality of material wetting.*

*These findings constitute the basis for rules to be observed when placing dry-mix shotcrete as well as for specific studies and new developments.*

## 1. Einführung

Staub ist seit jeher für den Düsenführer bei seiner Arbeit ein gleichermaßen treuer wie lästiger

Begleiter. Deshalb wurden und werden von unermüdlichen Ingenieuren vielfältige Benetzungssysteme gebaut und zum Einsatz gebracht. Auf dem **Bild 1** sehen wir oben eine Spritzdüse,

wie wir sie alle kennen und darunter angeordnet 4 beispielhafte Benetzungssysteme.

- das herkömmliche mit Wasserzugabe von außen
- ein weiteres mit Wasserzugabe von innen
- ein drittes mit Wasserzugabe von innen sowie von außen
- ein viertes mit tangentialer Wasserzugabe.

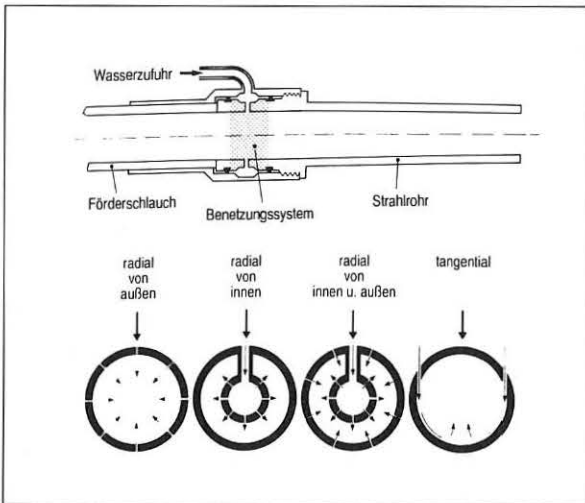


Bild 1: Prinzip der Wasserzugabe bei verschiedenen Benetzungssystem

Diese Systeme und weitere sind am Institut für Vortrieb und Gewinnung (IVG) der Deutschen Montan Technologie (DMT) vergleichend erprobt worden, wobei Trockenfertigbaustoffe des Steinkohlenbergbaus zur Verwendung kamen. Solche Baustoffe mit Kornband von 0 bis 5 mm können als besondere Herausforderung für ein wirksames Benetzen bezeichnet werden, weil sie ofentrocken sind. Doch mit keinem dieser Systeme ließ sich bisher die Baustoffbenetzung durchschlagend verbessern. Staubbelastigung und mögliche Gefahren bleiben also erhalten und wir fragen uns:

- Woraus besteht die Belästigung?
- Worin liegen potentielle Gefahren?
- Warum gelingt keine bahnbrechende Verbesserung?

## 2. Staubentwicklung - Beschaffenheit - Gefahrenpotential

Um etwas über die potentiellen Gefahren von Staub aus Spritzbeton zu erfahren, hat das Institut für Bewetterung und Staubbekämpfung bei DMT Flugstäube gesammelt und auf deren Inhaltsstoffe hin untersucht. Als lungengängige Flugstäube gelten bekanntlich Stäube von 0 bis 7  $\mu\text{m}$ . In der Tabelle 1 sind die Inhaltstoffe

der Flugstäube von 3 unterschiedlichen Varianten oder Verfahren des Spritzbetons prozentual aufgetragen. Es handelt sich um:

- Spritzbeton aus ofentrockenem Material
- Spritzbeton aus naturfeuchtem Material
- Naßspritzbeton

	Spritzbeton			
	ofentrocken Probe 1	naturfeucht Probe 2	Probe 3	naß Probe 4
Quarzsand	-	12	20	5
Kalkstein	7	18	-	-
Füller	30	-	-	10
Zement	} 63	50	} 80	} 85
Beschleuniger		20		
Verteilung von Inhaltsstoffen in %				

Tab. 1: Flugstäube von Spritzbeton mit der Verteilung von Inhaltsstoffen

Wir erkennen hier, daß im Gegensatz zu üblichen Ausgangsmischungen von Spritzbeton im Flugstaub nun Zement und Beschleuniger die Hauptmengen ausmachen und daß die Zuschläge mit Quarz oder Kalk in untergeordneten Mengen vorliegen. Daraus darf jedoch nicht auf eine verminderte Silikosegefahr geschlossen werden. Diese ist, wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, noch deutlich gegeben.

Inhaltsstoffe von Flugstaub	Wirkung
Kristalliner Quarz	Silikose
Fibrogene Mineralien	Silikose
Zement	obstruktive Atemwegserkrankungen
Beschleuniger	toxisch - irritativ, hochgradige Nekrose

Tab. 2: Gefahren durch Flugstäube von Spritzbeton

In der Tabelle 2 sind links die Inhaltsstoffe des

Flugstaubes von Spritzbeton aufgeführt und rechts die davon ausgehenden Wirkungen.

Kristalliner Quarzfeinstaub und sonstige fibrogene Mineralien, solche sind den Asbestfasern ähnlich, bewirken quarzinduzierte Fibrosen oder Silikose. Starke Quarzstaubbelastungen führen darüber hinaus auch zu Degenerationen der Leberzellen.

Die Wirkungen von Zement auf die Lunge zeigten sich demgegenüber weniger ausgeprägt. Es wurden obstruktive Atemwegserkrankungen bekannt. Diese klingen nach beendeter Exposition wieder ab.

Ernstzunehmende Wirkungen gehen von hochalkalischen Beschleunigern im Flugstaub aus. Diese wirken akut irritativ-toxisch; und bei einschlägigen Tierversuchen in der Lunge haben sie zu hochgradigen Nekrosen geführt. /1, 2/ Die Nekrose ist ein Gewebeuntergang.

### 3. Ursachen der Flugstaubentwicklung

Wir sehen, daß Flugstaub von Spritzbeton nicht nur als Belästigung sondern auch als arbeitsmedizinisch problematisch einzustufen ist.

Weshalb ist es aber bisher nicht gelungen, den Flugstaub erfolgreicher zu vermeiden?

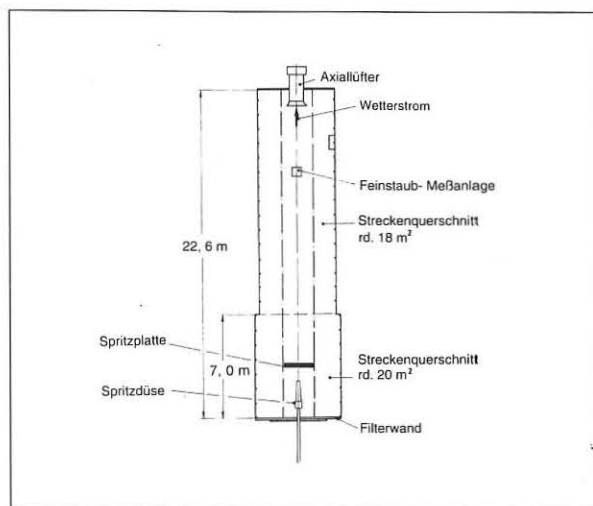


Bild 2: Versuchsstand für Spritzbetonarbeiten der DMT

Um Flugstaub von Spritzbeton realistisch messen und bekämpfen zu können, brauchen Sie einen Versuchsaufbau mit betriebsgerecht nachgestalteten Verhältnissen. Da im Steinkohlenbergbau jährlich 2 Mill. t Baustoff auf verschiedenste Weise verarbeitet werden, ist bei DMT für die vielfältig anfallende Untersuchungs- und

Erprobungsarbeit ein Spritzbetonversuchsstand (Bild 2) entstanden, auf dem auch für den Tunnelbau repräsentative wie reproduzierbare Untersuchungen vorgenommen werden können. Die Länge des Versuchsstandes beträgt 22 m. Am oberen Ende sorgt ein Lüfter für einen Wetterstrom von 18 m<sup>3</sup>/s. Davor hängt ein Streulichtphotometer als kontinuierlich arbeitende Staubmeßeinrichtung. Der Streckenquerschnitt beträgt im hinteren Bereich 18 m<sup>2</sup>, im vorderen 20 m<sup>2</sup>. Im vorderen Bereich steht die Spritzwand. Die Außenluft gelangt durch eine Filterwand ins Innere, etwaige Windböen werden gedämpft. Druckluft, Wasser und Materialaufgabe sind auf konstante Mengenströme einstellbar. Sämtliche Meßwerte von Strömen und Betriebsbedingungen werden digital aufgezeichnet und ausgewertet.

Bevor ich eigene Ergebnisse vorstelle, möchte ich einige der bekannten Einflußgrößen auf die Staubentwicklung in Erinnerung rufen.

Bekanntlich sind zur

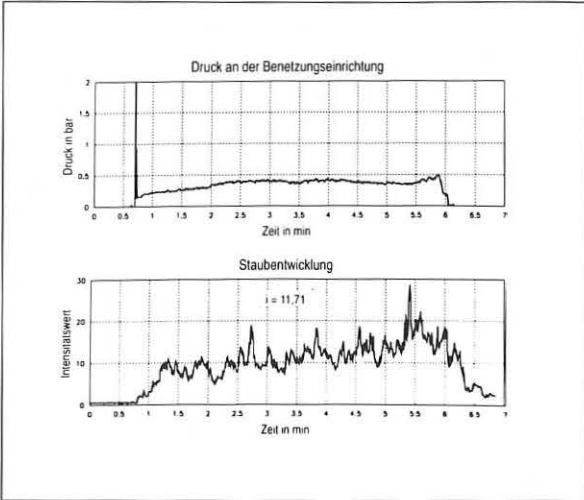
- Verbesserung der Baustoffbenetzung beim Trockenspritzen oder zur
  - Verringerung der Staubentwicklung beim Trockenspritzen
- schon etliche Arbeiten mit hohem, wissenschaftlichen Anspruch durchgeführt worden. Darin sind Einflußgrößen (Tabelle 3), wie z. B.
- Art und Zusammensetzung des Baustoffs
  - das Wasserfeststoffverhältnis
  - der Volumenstrom und Druck der Treibluft
  - die Länge des Strahlrohres
  - die Düsenrotation
  - die Größe von Wassertröpfchen etc. behandelt worden.

<input type="checkbox"/>	Art und Zusammensetzung des Baustoffs
<input type="checkbox"/>	Wasserfeststoffverhältnis
<input type="checkbox"/>	Volumenstrom der Treibluft
<input type="checkbox"/>	e.t.c. . . .
<input checked="" type="checkbox"/>	Räumlicher Verlauf der Förderleitung
<input checked="" type="checkbox"/>	Prinzip und Geometrie des Benetzungssystems

Tab. 3: Einflußgrößen auf die Staubentwicklung

Ich möchte hier nun einige Untersuchungsbeispiele vorstellen, bei denen

- der räumliche Verlauf der Förderleitung und
- das Prinzip und die Geometrie des Benetzungssystems wichtige Einflußgrößen darstellen.



**Bild 3:** *Einfluß von Betriebsbedingungen im Benetzungssystem auf die Staubentwicklung*  
- gleichmäßiger Benetzungsdruck bei radialer Wasserzugabe von außen

Im Untersuchungsbeispiel 1 (Bild 3) ist ein Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von außen eingesetzt. Bitte erinnern Sie sich dazu an das Bild 1. Es handelt sich hier um eine übliche Spritzdüse mit großer Einsatzbreite. Es sind ideale Betriebsbedingungen aufgebaut. Die Förderleitung wurde für diesen Versuch auf den letzten 4 m geradlinig und in gleichbleibender Höhe zur Spritzdüse geführt. Im oberen Meßschrieb sehen wir den zeitlichen Verlauf des Wasserdrucks im Benetzungssystem. Darunter ist zeitgleich die zugehörige Staubentwicklung aufgetragen. Diese ist mit einer mittleren Intensität von ca. 11,7 recht hoch; dieser Staubwert wird mit denen der folgenden Betriebsbeispiele zu vergleichen sein. Beide Meßschriebe zeigen einen gleichmäßigen Verlauf; ein Zeichen für ideale unbehinderte Strömungsverhältnisse.

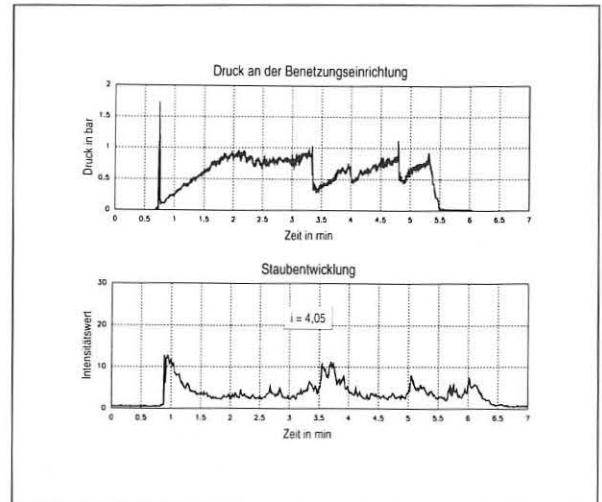
Betrachten wir nun Untersuchungsbeispiel 2 (Bild 4).

Es ist dasselbe Benetzungssystem eingesetzt. Aber für diesen Versuch wurde die Förderleitung in Schlangenlinien gewunden verlegt.

Betrachten wir die Staubentwicklung, dann ist bei dieser, ausgehend von einer Intensität um 12, ein Abfallen auf 3 bis 4 festzustellen. Weiterhin

kommt es bei den Zeitmarken 3,5 Minuten, 5 Minuten und 6 Minuten zu schwallartigem Ansteigen der Staubintensität und einem jeweils nachfolgenden Abfallen.

Der Wasserdruck verläuft auch nicht mehr gleichmäßig, sondern er zeigt einen ausgeprägten Sägezahnverlauf. Und wir stellen eine gegenläufige Verhaltensweise fest. Bei steigendem Wasserdruck nimmt die Staubentwicklung ab, und umgekehrt. Wie sind diese Erscheinungen zu deuten?

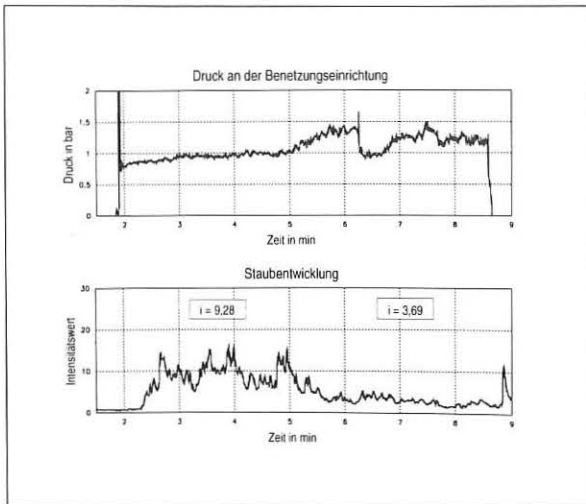


**Bild 4:** *Einfluß von Betriebsbedingungen im Benetzungssystem auf die Staubentwicklung*  
- ungleichmäßiger Benetzungsdruck bei radialer Wasserzugabe von außen (Sägezahnverlauf)

Es bilden sich Anbackungen im Benetzungssystem. Wenn diese sich ablösen und knallend aus dem Strahlrohr geschleudert werden, fällt auch der Wasserdruck ab. Der Düsenführer spricht dann davon "Die Düse rotzt sich frei". Die Anbackungen im Strahlrohr führen zu Verengungen, diese verbessern ihrerseits den Benetzungsvorgang und senken die anfängliche Staubentwicklung um ca. 70 %. Es hat den Anschein, als ob sich die Spritzdüse erst auf einen optimalen Betriebszustand einstellt; doch, dieser Zustand erweist sich als instabil. Und woher kommen die Staubfahnen?

In Folge der sich bildenden Anbackungen baut sich im Förderschlauch ein Rückstau auf, und es lagert sich ein kleines Materialdepot ab. Dieses Depot wird nach jedem Ablösen einer Anbackung mobilisiert und erscheint als Staubfahne. Die mittlere Staubintensität liegt bei 4.

Betrachten wir uns nun das Untersuchungsbeispiel 3 (Bild 5).



**Bild 5:** *Einfluß von Betriebsbedingungen im Benetzungssystem auf die Staubentwicklung - ungleichmäßiger Benetzungsdruck bei radialer Wasserzugabe von innen und außen*

In der Spritzdüse ist ein selbstentwickeltes Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von innen sowie von außen eingesetzt, und die Förderleitung ist wie in Beispiel 1 auf den letzten 4 Metern vor der Düse gerade und eben geführt.

Und was ist nun festzustellen?

Zunächst eine gegenüber dem Beispiel 1 verminderte Staubintensität bei ca. 9,3 - solange der Wasserdruck gleichbleibt. Dann setzt ab der 5. Minute mit dem Ansteigen des Wasserdrucks eine erhebliche Verringerung der Staubintensität ein. Diese liegt fortdauernd bei ca. 3,7.

Auslöser für diese Entwicklung sind wiederum Anbackungen im Strahlrohr, die sich hinter dem zentral angeordneten Benetzungskörper bilden. Wir finden also in diesem Betriebsbeispiel die Vorgänge im Benetzungssystem der beiden vorigen Beispiele wieder, und die Staubentwicklung hat sich insgesamt gesenkt.

Was haben wir aus den Abläufen der eben gezeigten Beispiele zu folgern?

Man könnte meinen: Wenn wir die wirksamere Innen- und Außenbenetzung des Gutstroms mit gewundener Schlauchführung kombinieren, würden wir die ideale Staubminderung bekommen. Das wäre wohl ein Trugschluß, weil die derzeitigen inneren Vorgänge in der Spritzdüse nicht beherrschbar sind und sich im Gegenteil stark verselbständigen. Die Beherrschbarkeit der

inneren Vorgänge ist jedoch eine Voraussetzung für jede Art der Regelung des Benetzungsvorgangs, wenn wir die "gefühlsmäßige Arbeitsweise" des Düsenführers ersetzen und verbessern wollen.

Um den derzeit unbefriedigenden Stand der Benetzungstechnik zu verbessern, wäre unseres Erachtens in der Reihenfolge vorzugehen :

- daß man zunächst das Austragsverhalten der Spritzdüse nachhaltig stabilisiert, indem man deren innere Geometrie baustoffgerecht anpaßt.
- Danach wäre das Flächenproblem zu lösen, das zwischen dem kreisförmig gestalteten Gutstrom und seiner vergleichsweise kleinen Angriffsfläche für den Benetzungsvorgang besteht.

In diesem Bericht wurde festgestellt, daß die Staubentwicklung beim Trockenspritzverfahren nicht nur als belästigend aufzufassen ist sondern daß sie auch Gefahrenpotentiale aufweist.

Daher sollte unsere besondere Aufmerksamkeit der Staubentwicklung gewidmet bleiben, um gegen das Entstehen von berufsbedingten Krankheitsbildern wie z.B. dem der Silikose beim Bergmann vorzubeugen. Die Bekämpfung der Staubentwicklung von Spritzbeton hat bei empirischer Vorgehensweise bisher keine Fortschritte erbracht.

Das galt solange, wie man die Vorgänge in der Spritzdüse nicht erkennen konnte und keine Ansatzpunkte bekam, um sie zu beherrschen. Damit ist der Ausgangspunkt für weitere Entwicklungsarbeit bestimmt.

#### 4. Literatur

- /1/ Rosenbruch, M.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der Wirkung von fibrogenen Stäuben und alkalischen Erstarrungsbeschleunigern. In: Schlußbericht des Medizinischen Instituts für Umwelthygiene zum Forschungsvorhaben "Spritzbetonbauweise unter Druckluft - Tierexperimentelle und arbeitsmedizinische Untersuchungen". Düsseldorf 1992.
- /2/ Schliepkötter, H.W.: Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens "Spritzbetonbauweise unter Druckluft - Tierexperimentelle und arbeitsmedizinische Untersuchungen". Düsseldorf 1992.

