
Spritzbeton im Steinkohlenbergbau - Neuentwicklungen

SHOTCRETE IN COAL MINING - NEW DEVELOPMENTS

JÜRGEN PIER; HORST MICKE, DEUTSCHE MONTAN TECHNOLOGIE, ESSEN

Im deutschen Steinkohlenbergbau werden derzeit jährlich 230 km Strecken in einem großflächig mobilisierten Gebirge aufgefahen. Der Ausbau dieser Strecken erfolgt daher in der Regel mit nachgiebigen Stahlbögen, die mit Baustoffen verstärkt und gut hinterfüllt an das Gebirge gebettet werden. Streckenausbau mit Sohlenschluß gibt es im Steinkohlenbergbau nicht, weil für ein beherrschtes Abklingen von Gebirgsbewegung der nötige Raum mit Hilfe einer offenen Sohle angeboten werden muß.

Verwendete Baustoffe sind je nach Aufgabenstellung solche mit sofort-, früh- und spättragenden Eigenschaften oder Hohlraumfüller.

Aufgrund von mehreren Kilometer langen Versorgungswegen im beengten Grubengebäude werden Baustoffe in der Regel per Rohrtransport angeliefert und bei ungewissen Abrufzeiten in langgestreckten Bunkern auch als ofentrockene Fertigware vorgehalten.

Der Steinkohlebergbau verwendet für den frisch eingebauten Baustoff in der Regel keine geschlossene Schalung; beim Streckenausbau ist der zu hinterfüllende Hohlraum zur Ortsbrust hin offen und beim Dammbau gilt gleiches für den zum Strebereich hin offen bleibenden Dammbaum.

Die vielseitige Anforderungspalette an Baustoffe im Steinkohlenbergbau beginnt mit dem Tragverhalten, setzt sich fort bei den Verfahren zur Bevorratung und Anlieferung und mündet in einer notwendigen Vielfalt an Verfahren zur Verarbeitung. Und dennoch sind alle verwendeten Baustoffe in ihrer großen Vielfalt Spritzbetone.

Bei den pneumatischen Verarbeitungsverfahren für Baustoffe ist trotz allen seitherigen Anstrengungen Staubentwicklung in Kauf zu nehmen.

Die bislang angewendeten Benetzungssysteme haben sich hinsichtlich der Vermeidung von Staubentwicklung bis auf eines nicht als verbesserungsfähig erwiesen. Daraufhin wurde ein System entwickelt, mit dem der Baustoffstrom für den Benetzungsvorgang auf eine Form mit vergrößerter Angriffsfläche umgeformt wird. Erste Ergebnisse mit dem prinzipiell einfach aufgebauten System werden vorgestellt.

In German coal mines 230 km of roadways are driven annually in largely mobilized rock mass. As a rule these roadways are supported by means of flexible steel arches that are embedded in the rock mass reinforced by construction materials and thoroughly backfilled. Lining with closed invert is not possible in coal mines because for a controlled subsiding of rock mass movements the invert must remain open.

Depending on the function they are to fulfil, construction materials with immediate-, early- or late-bearing properties or cavity fillers are used.

In view of the several-kilometer-long supply network in the narrow and restricted mines, construction materials are as a rule delivered through pipes and are stored in long bunkers, also as oven-dry ready-mixed product, if it is not clear when the material will exactly be needed.

As a rule, in coal mining no plain formwork is used with the freshly placed construction material; when realizing the lining the cavity to be backfilled is open toward the working face and when constructing packs the fill section remains open toward the coal face.

The various different requirements to be met by construction materials in coal mining cover bearing capacity, storage and supply and finally a number of different placing methods. Despite the great variety of construction materials, shotcrete is used exclusively.

In spite of considerable efforts, pneumatic placing methods lead to dust formation.

The wetting systems used so far, with the exception of one system, have proved inadequate with regard to dust formation. Consequently, a system was developed in which the material stream is enlarged in order to improve the wetting process. First results obtained with this basically simple system will be presented.

1. Grubengebäude und Ausbau

Im deutschen Steinkohlenbergbau werden zur Erschließung der Lagerstätten, zum Transport von Personen, Material und Kohle derzeit jährlich ca. 210 km Strecken aufgeföhren (Bild 1). Das geschieht in zwei grundsätzlich verschiedenen Verfahren, nämlich dem Sprengvortrieb und dem Maschinenvortrieb. Der Maschinenvortrieb bedient sich dabei hauptsächlich der Teilschnittmaschine. Die Streckenaufföhhrung ist unabhängig von der Vortriebstechnik stark rückläufig. Vor 10 Jahren waren es noch über 400 km. Mit jeder Zechenstilllegung entfielen und entfallen weitere Kilometer neu aufzuföhrender Strecken.

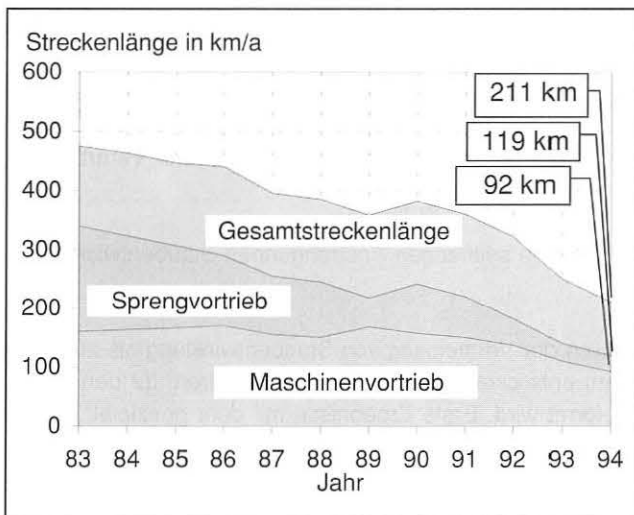


Bild 1: Streckenaufföhhrung im deutschen Steinkohlenbergbau

Die Streckenquerschnitte liegen in der Regel bei 20 m² bis 25 m². In geringem Umfang bei Großräumen gibt es Querschnitte von 50 m² und darüber. Aufgrund des großflächigen Kohlenabbaus - Abbaubetriebe bestreichen heute Flächen von bis zu 375 m Breite und über 3 km Länge -, muß das Steinkohlengebirge als großflächig mobilisiert begriffen werden. Seine Struktur ist gestört und aufgrund von Spannungsumlagerungen kann der örtliche Gebirgsdruck ein vielfaches des eigentlich teufenabhängigen Drucks betra-

gen. Das bedeutet, daß die Grubenräume wirkungsvoll vor Steinfall und Einsturz geschützt werden müssen. Die Erfahrungen zeigen hier, daß sich das Steinkohlengebirge am besten mit nachgiebigem Ausbau aus Stahlbögen in Verbindung mit einer Baustoffhinterfüllung beherrschen läßt.

2. Baustoffe, Einbringverfahren und Anforderungen

Für den Streckenausbau und Sicherungsaufgaben im Bereich des Streb/Streckenübergangs, setzt der Steinkohlenbergbau derzeit jährlich rund 1,6 Mill. t Baustoffe ein. Auch hier ist die Tendenz rückläufig (Bild 2).

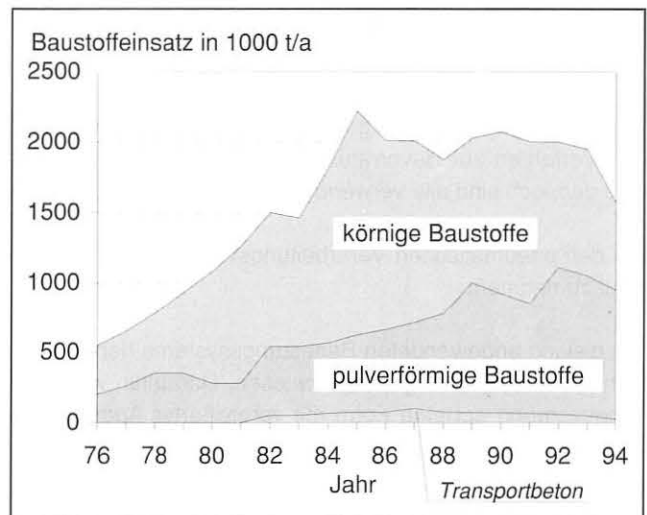


Bild 2: Baustoffeinsatz im deutschen Steinkohlenbergbau

Die dargestellten Baustoffmengen werden nach ihrem Mischungsaufbau bzw. nach dem sich daraus ergebenden Transport- und Verarbeitungsverfahren unterschieden. Man erkennt als oberste Gruppe mit einer Menge von 625000 t/a die körnigen Baustoffe. Körnig bedeutet hier eine maximale Zuschlagkorngöße von 5 mm. Sie werden als ofentrockene Mischungen in Silos angeliefert und auf dem Bergwerk in Silos vorgehalten. Der Baustofftransport von der Tagesoberfläche bis vor Ort erfolgt zum größten Teil pneumatisch

über mehrere Zwischenstationen. Dabei werden Entfernungen von bis zu 8 km überbrückt. Einsatzgebiete der körnigen Baustoffe sind Trockenspritzmörtel zur Streckenhinterfüllung und zum Dammbau. Gelegentlich werden sie vor Ort auch mit Wasser vermischt und als Naßspritzbeton verarbeitet.

Den größten Anteil am Baustoffverbrauch haben die pulverförmigen Baustoffe mit 923000 t/a. Sie bestehen aus großen Anteilen von Steinkohlenflugaschen mit Zement. Ihre maximale Zuschlagkörngröße liegt bei ca. 1 mm. Sie werden wie auch die körnigen Baustoffe ofentrocken gefertigt und auf der Schachanlage zumeist in Silos vorgehalten. Zum Transport werden sie über Tage dünnflüssig angemischt und zum Schacht gepumpt. Die im Schacht entstehende Flüssigkeitssäule liefert die Energie, die den Baustoff unter Tage über mehrere Kilometer bis vor Ort transportiert. Man bezeichnet das Verfahren daher als hydraulisch oder auch als „hydrostatisch“. Der Verwendungszweck ist auch hier die Ausbauhinterfüllung und die Dammerstellung.

Transportbeton hat mit 27000 t/a den kleinsten Anteil am Baustoffverbrauch. Er wird im Mischwerk mit einer Abbindeverzögerung von durchaus 36 Stunden hergestellt, mit Mischfahrzeugen zum Bergwerk und in Kübelwagen zur Baustelle nach unter Tage gebracht. Dort wird er mit Betonpumpen als Naßspritzbeton verarbeitet. Seine Verwendung ist aufgrund des umständlichen Transportweges zumeist auf Einsätze mit geringerem Baustoffbedarf beschränkt.

Die ganze Menge der dargestellten Baustoffe, ob anfänglich körnig, pulverförmig, naß oder als Transportbeton wird bis auf wenige Ausnahmen unter Zuführung von Druckluft und z.T. unter Beimischung von Erstarrungsbeschleunigern verarbeitet. Diese rund 1,6 Mio. t Baustoff sind Spritzbeton mit unterschiedlichen Verarbeitungstechniken.

Auf **Bild 3** sind die Baustoffe entsprechend ihrer Abbindegeschwindigkeit bzw. ihres Tragvermögens klassifiziert. Auf der Abszisse findet sich die Abbindedauer, auf der Ordinate die angestrebte Druckfestigkeit. Man unterscheidet zwischen sofort-, früh- und spättragenden Baustoffen oder Hohlraumfüllern.

Zu den soforttragenden Baustoffen zählen die Konsolidierungsbaustoffe, welche u. a. die Anforderung 2 N/mm² Druckfestigkeit nach 15 min und 30 N/mm² nach 1 d erfüllen müssen. Diese Baustoffe können und werden aufgrund ihres schnellen Erhärtungsverhaltens nahezu ausnahmslos im Trockenspritzverfahren eingebracht. Bei den früh- oder spättragenden Baustoffen für die Ausbauhinterfüllung und den Dammbau wendet man sowohl das Trocken- wie auch das Naßspritzverfahren an. Die Entscheidung zum einen oder anderen Verfahren unterliegt dabei zumeist nur der Philosophie des jeweiligen Bergwerks. Hohlraumfüller als Baustoffe mit nur sehr geringen Qualitätsanforderungen werden in der Regel hydraulisch gefördert.

An dieser Stelle soll noch einmal darauf hingewiesen werden, alle unter Tage angewendeten Verarbeitungsverfahren

sind Spritzbetonverfahren angefangen beim Naßspritzverfahren mit BE-Mittel-Zugabe bis zu den Trockenspritzverfahren im Dünnstrom. Dazu gehört sogar Spritzbeton im Direktaustrag aus der Fernförderung.

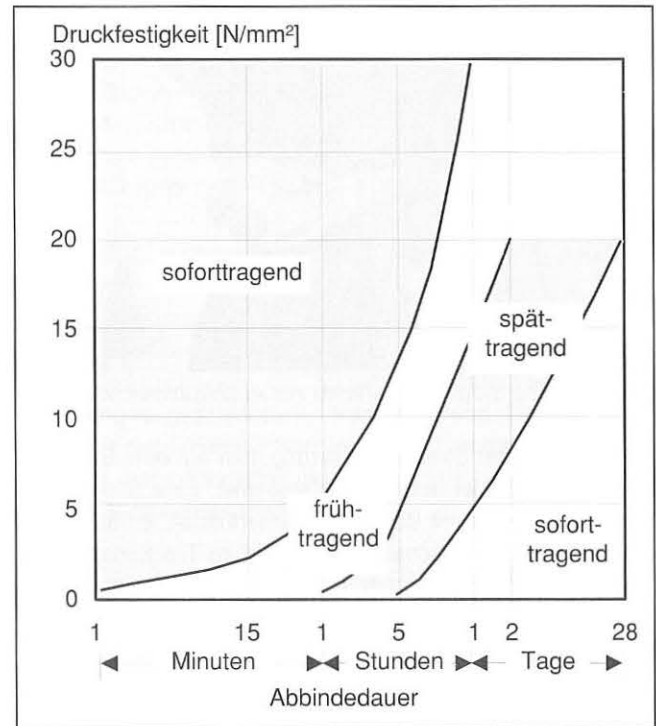


Bild 3: Klassifizierung von Bergbau-Baustoffen

Bild 4 zeigt z.B., wie ein Baustoffdamm im Direktaustrag aus der pneumatischen Fernförderleitung hergestellt wird. Die Förderleitung hat einen Durchmesser von 125 mm. Um eine befriedigende Benetzung zu erreichen, wurde das Strahlrohr der Spritzdüse gegen einen 3-5 m langen Schlauch ausgetauscht. Dieser ist an Ketten befestigt und wird vom Düsenführer zum Auffüllen des Verschlags geschwenkt.



Bild 4: Herstellung eines Baustoffdammes

Eine mögliche Variante der Ausbauhinterfüllung erkennt man auf **Bild 5**. Durch ein Loch im Verzug des Ausbaus wird der dünnflüssige von über Tage geförderte Baustoff unter Zugabe eines Erstarrungsbeschleunigers in den Raum zwischen Ausbau und Gebirge gespritzt. Dieser Vorgang

wird an mehreren Stellen über den Umfang wiederholt, bis der Raum zwischen Ausbau und Gebirge gefüllt ist.



Bild 5: Eine mögliche Variante zur Ausbauhinterfüllung

Der Vorgang der Streckensanierung, hier auf dem Bergwerk Sophia Jacoba, ist auf **Bild 6** dargestellt. Eine Strecke, die bisher noch nicht mit Baustoffen hinterfüllt ist, erhält zur Sicherung eine Betonschale. Diese wird im Trockenspritzverfahren aus ofentrockenen Baustoffen hergestellt. Mannschaften aus drei Bergleuten verarbeiten hier bis zu 25 t/Schicht Spritzbeton.

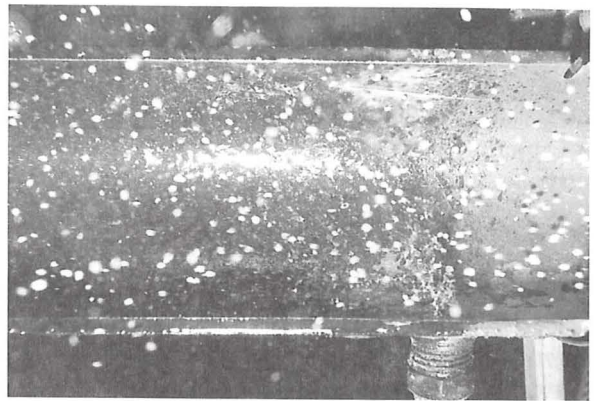


Bild 6: Streckensanierung im Bergwerk Sophia Jacoba

Was man auf diesem Bild nur in geringem Maß erkennt, was aber sowohl im Bergbau als auch im Tunnelbau ein ständiger und lästiger Begleiter ist und damit ein Problem darstellt, ist Staub, hervorgerufen durch das Trockenspritzverfahren. Ein ähnlich positives Bild von Spritzbeton aus trockenen Baustoffen, z.B. auf der Basis von Spritzzementen, könnte man möglicherweise auch aus einem x-beliebigen Tunnel zeigen, wenn man etwas an der Benetzungstechnik verändert. Bei dieser Ausgangssituation muß es auch für Tunnelbauer interessant sein, über eine neu entwickelte Spritzdüse zu diskutieren.

3. Staubentwicklung und Bekämpfung

Auf der 4. internationalen Fachtagung „Spritzbetontechnologie“, 1993 in Igls, berichtete Herr Micke in seinem Vortrag über Einflußgrößen auf die Benetzungsqualität beim Trok-



Problem:

- kleine Eindringtiefe
- kleine Oberfläche

Lösung:

- notw. Eindringtiefe verringern
- Oberfläche vergrößern
- Wassermenge besser verteilen

Bild 7: Benetzungsvorgang bei radialer Wasserzugabe von außen

kenspritzverfahren und stellte den bis dato unzureichend beherrschten Benetzungsvorgang als ein Oberflächenproblem dar, das es zu lösen galt. **Bild 7** soll helfen, das Oberflächenproblem zu verdeutlichen. In dem aufgeschnittenen Rohr erkennt man als helle unscharfe Teilchen den Baustoffstrom. Die Baustoffbeladung im Förderluftstrom ist hier um ein vielfaches geringer als beim Betonspritzen. Von oben tritt der etwas dunklere Wasserstrom in das Rohr. Er wird direkt aufgerissen und in feine Tröpfchen aufgeteilt. Der radial eingedüste Wassertropfen erreicht nur eine begrenzte Eindringtiefe bis er auf Baustoffpartikeln stößt, zerstäubt wird und anschließend im Baustoffstrom fortreibt. Auch bei der geringen Baustoffbeladung dringt der Wasserstrahl nicht direkt bis zum Kern des Baustoffstroms vor. Die eigentliche Benetzung erfolgt als Mischprozeß in der turbulenten Strömung im Strahlrohr. Bei Mischzeiten von unter 1/10 s und unter normalen Wasserdrücken herrschen demnach die denkbar ungünstigsten Voraussetzungen für die Baustoffbenetzung. Eine Ausnahme bildet nur die Hochdruckbenetzung mit Drücken bis zu 100 bar, von der man annimmt, daß sie den Baustoff durchdringt.

Kommen wir zurück zum Oberflächenproblem so stellen wir fest, daß die Benetzung im ersten Schritt nur am Außenrand des Benetzungssystems stattfindet, nämlich an der Oberfläche. Wollen wir dort schon für eine wirkungsvollere Benetzung sorgen, so müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- Der Baustoffstrom muß im Benetzungsquerschnitt eine größere Oberfläche erhalten.
- Die notwendige Eindringtiefe der Wasserstrahlen muß verringert werden.
- Die Wassermenge muß besser über die vergrößerte Oberfläche verteilt werden.

Um diese Voraussetzungen zu schaffen, bot sich die folgende technische Lösung an: In einem Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von außen wurde auf der Höhe des Düsenrings ein Anströmkörper eingesetzt (**Bild 8**). Die-

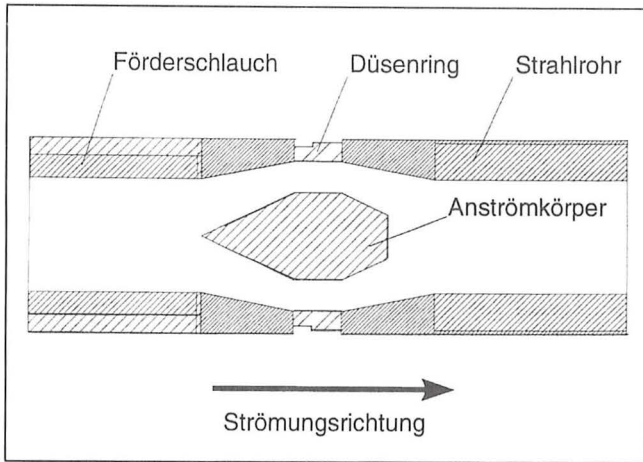


Bild 8: Ringraumbenetzungssystem im Längsschnitt

ser hat die Aufgabe, den ankommenden Gutstrom aufzuweiten, eben die größere Oberfläche zu schaffen. Um die Strömungsquerschnitte von Förderschlauch und Düsenring konstant zu halten, mußte gleichzeitig der innere Durchmesser des Düsenringes erweitert werden. Durch die Erhöhung der Bohrungsanzahl wurde die Anforderung nach besserer Wasserverteilung erfüllt und das Ringraumbenetzungssystem war erfunden.

Auf Bild 9 sind die Querschnitte eines normalen Benetzungssystems und des Ringraumbenetzungssystems nebeneinander dargestellt. Aufgrund der dargestellten Maßnahmen hat der Baustoffstrom im Düsenring eine um 30 % vergrößerte Oberfläche. Gleichzeitig konnte die notwendige Eindringtiefe für das Benetzungswasser auf 54 % verringert werden. Die konstruktiven Maßnahmen für die angestrebte Lösung sind insgesamt gering. Ebenso gering fällt die damit einhergehende Gewichtszunahme aus, und das Benetzungssystem bleibt einfach.

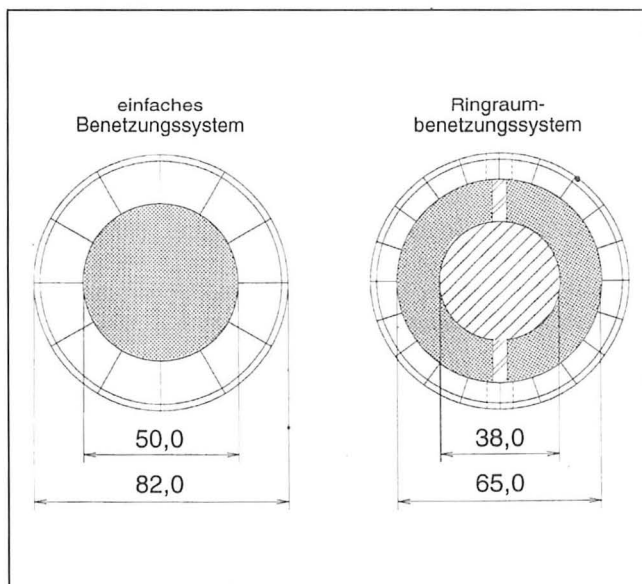


Bild 9: Strömungsquerschnitte des einfachen und des Ringraumbenetzungssystems

4. Benetzungsergebnisse

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Baustofflehre und Materialprüfung, Innsbruck, wurde das Ringraumbenetzungssystem gegenüber mehreren anderen Benetzungssystemen erprobt. Zum Vergleich standen:

- ein herkömmliches Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von außen
- ein kombiniertes Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von außen und zusätzlicher Vorbenetzung
- ein Hochdruckbenetzungssystem

Die Versuche fanden auf dem Spritzbetonversuchsstand der DMT in Essen statt. Bild 10 gibt den Versuchsaufbau wieder. Beginnend bei der Rotorspritzmaschine vom Typ ALIVA 265, die unter dem Baustoffsilo installiert ist, führt ein 40 m langer Förderschlauch mit 50 mm Durchmesser in den 22,6 m langen, geschlossenen Versuchsstand. Links im Bild bei ca. 7 m sieht man die Spritzplatte und rechts in Richtung des durch den Lüfter erzeugten Luftstroms das Staubmeßgerät, ein Streulichtfotometer.

Als Baustoff kam für diese Versuchsreihe ein charakteristischer Trockenspritzbeton aus dem Tunnelbau mit einem maximalen Korndurchmesser von 8 mm zum Einsatz. Ähnliche Untersuchungen mit vergleichbaren Ergebnissen wurden auch an speziellen Bergbaubaustoffen durchgeführt. Diese besitzen wie schon gesagt maximale Korndurchmesser von 5 mm. Sie bestehen aus geringen Anteilen grobkörniger Fraktionen und zu 70 % aus Feinstgut unter 1 mm. Dadurch weisen sie einen hohen Wasseranspruch auf und gelten gegenüber üblichen Spritzbetonen der Bauindustrie als benetzungstechnisch anspruchsvoll. Die Untersuchungen erfolgten unter reproduzierbaren Bedingungen bei einer Durchsatzleistung von 4,8 t/h Baustoff und mit Wasser-Feststoff-Werten von 0,14.

Bild 11 zeigt die gegenübergestellten Ergebnisse von vier vergleichbaren Versuchen. Auf der Abszisse ist die Versuchsdauer aufgetragen, auf der Ordinate die Staubentwicklung als dimensionsloser Intensitätswert I. Aufgrund der konstanten Versuchsbedingungen sind die Intensitätswerte vergleichbar. Jeder, der schon einmal Aufzeichnungen von Staubmessungen mit einem Streulichtfotometer gesehen hat, wird feststellen, daß die Kurven normalerweise viel unruhiger verlaufen und ihre Schwankungsbreite größer ist. Da man aus vier Kurven im Diagramm noch etwas erkennen soll, wurden diese etwas geglättet. Die mittleren Intensitätswerte beruhen aber noch auf dem Urzustand.

Die höchste Staubentwicklung mit einem deutlichen Abstand zu den übrigen Systemen fanden wir mit einem mittleren Intensitätswert von 4,5 bei dem einfachen Benetzungssystem mit radialer Wasserzugabe von außen. Danach kommen in relativ enger Folge das Hochdrucksystem mit einem mittleren Intensitätswert von 2,6, das kombinierte Benetzungssystem inklusive Vorbenetzung mit einem mittleren Intensitätswert von 1,6 und das Ringraumsystem mit einem mittleren Intensitätswert von 1,0. Die Ergebnisse weiterer Versuche sagen gleiches aus. Die hier dargestellte Tendenz bleibt erhalten.

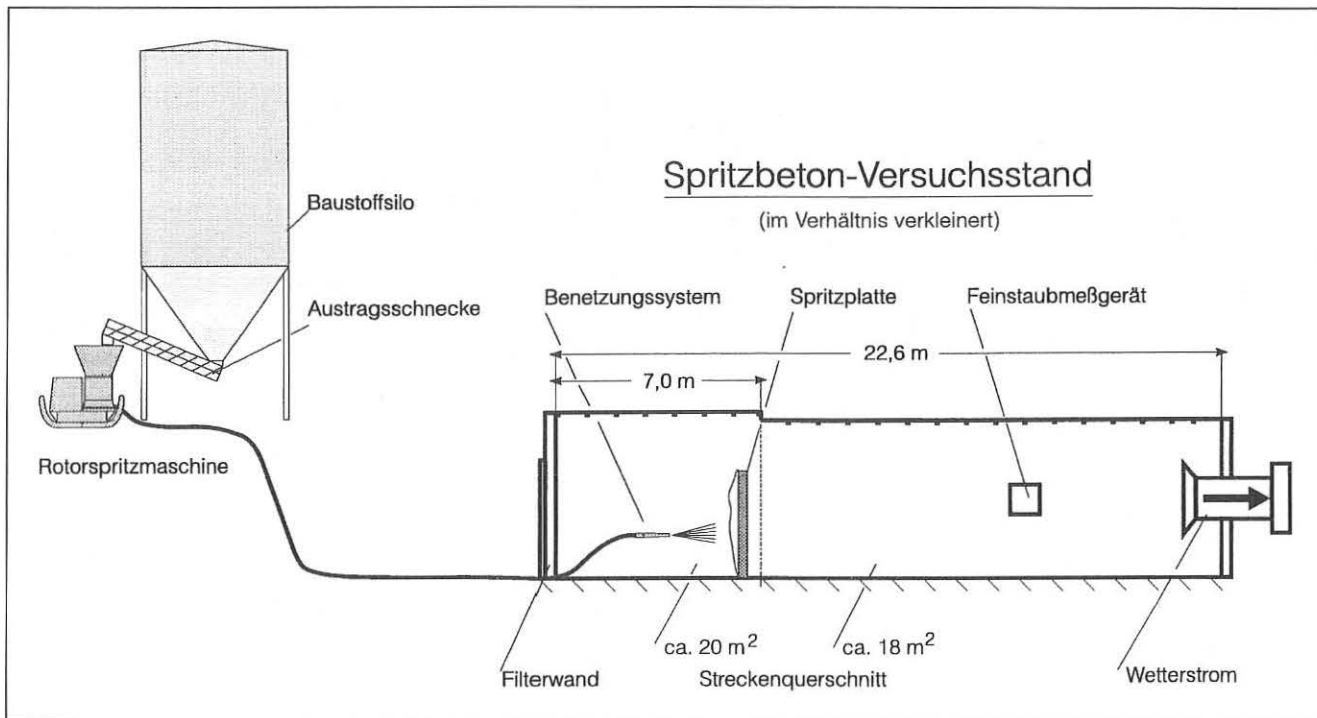


Bild 10: Verfahrenstechnische Baustoffprüfung - Versuchsaufbau zur Erprobung von Benetzungssystemen

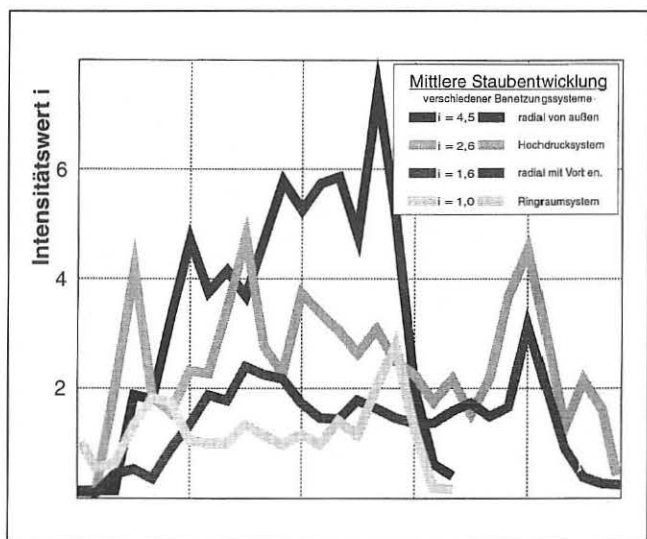


Bild 11: Einfluß verschiedener Benetzungssysteme auf die Staubentwicklung

Der Qualitätssprung mit einer Staubminderung von nahezu 50 % vom einfachen Benetzungssystem zu den übrigen Systemen verdeutlicht, daß sich der Mehraufwand an Benetzungstechnik auszahlt. Die theoretischen Ansätze, die zur Entwicklung des jeweiligen Benetzungssystems geführt

haben, haben sich als richtig bestätigt. Der Einsatz jedes der erprobten aufwendigeren Benetzungssysteme ist allein aus arbeitshygienischer Sicht absolut sinnvoll. Beurteilt man die Systeme nach wirtschaftlichen Aspekten, in diesem Fall nach dem technischen Mehraufwand aller Maßnahmen für eine bessere Benetzung, erkennt man noch Unterschiede. Das Hochdruckbenetzungssystem ist betriebssicher und einfach in der Anwendung. Man benötigt jedoch als zusätzliche Investition die Hochdruckpumpe. Vorbenetzungssysteme sind bei den meisten Spritzmaschinenherstellern im Programm. Die Kosten für diese Systeme sind im Gegensatz zur Hochdruckbenetzung gering. Allerdings erfordert die mengenmäßig richtige Aufteilung des Wasserstroms auf die Vorbenetzung und die Hauptbenetzung ein hohes Maß an Geschick und Erfahrung des Spritzdüsenführers. Beim Ringraumbenetzungssystem ist der konstruktive Aufwand geringfügig höher als bei einem einfachen Benetzungssystem. Das spiegelt sich auch in geringfügig höheren Anschaffungskosten wieder. Diese überschreiten jedoch nicht die Kosten für Vor- und Hauptbenetzung. Die Bedienung des Ringraumbenetzungssystems ist nicht anders als bei einfachen Benetzungssystemen. Über höheren Verschleiß kann zur Zeit noch keine Aussage gemacht werden, da sich das System noch in einer Untertageerprobung auf dem Bergwerk Sophia Jacoba befindet.