

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 112 (1994)  
**Heft:** 8

**Artikel:** Trockenspritzbeton mit weniger Staub  
**Autor:** Marti, D. / Heusi, P. / Bracher, G. / Moser, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78394>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Trockenspritzbeton mit weniger Staub

**Im Dezember 1992 fanden im Versuchsstollen Hagerbach (VSH), Flums, umfangreiche Trockenspritzbeton-Versuche statt. Ziel dieser Versuche war eine Standortbestimmung der aktuellen Trockenspritzbeton-Technologie im Vergleich zu der in den letzten zwei Jahren weiterentwickelten Nassspritzbeton-Technik (Forschungsprojekt «Alptransit»). Zurzeit erfüllt das Nassspritzbeton-Verfahren eher die von der SUVA geforderten MAK-Werte für die Staubbelastung am Arbeitsort; dies im Gegensatz zum Trockenspritzen, das die MAK-Werte noch oft überschreitet.**

Im Untertagbau wurde in der Vergangenheit für die Ausbruchssicherung gern das Trockenspritzbeton-Verfahren un-

VON D. MARTI, REGENSDORF,  
P. HEUSI, AVEGNO,  
G. BRACHER, ZÜRICH,  
H. MOSER, LUZERN

ter Beigabe von Abbindebeschleunigern angewandt, weil es mit relativ-einfachen, leichten und beweglichen Installationen überall eingesetzt werden konnte und gute Spritzbetonfestigkeiten lieferte. Unter Einhaltung der von der SUVA vorgeschriebenen Arbeitsplatzhygiene gelangt dieses Verfahren jedoch dann an die Grenzen seiner Einsatzmöglichkeit, wenn am Arbeitsplatz pro Zeiteinheit nicht die nötige Menge Frischluft für die Staubverdünnung zugeführt werden kann. Bei Kavernenbauten oder auch sehr langen Tunnels kann oft aus technischen und finanziellen Gründen die Forderung nach einer minimalen Strömungsgeschwindigkeit der Luft von 0,30 m/s im grössten ausgebrochenen Profil bzw. eine Frischluftförderleistung von 3 m<sup>3</sup> Frischluft pro Minute und installiertem DIN-PS (für gleichzeitig laufende Dieselmotoren) nicht realisiert werden.

Im Jahr 1991 wurden deshalb in Zusammenarbeit mit der SUVA erste Trockenspritzbeton-Versuche im Versuchsstollen Hagerbach (VSH) durchgeführt, mit dem Ziel, die Staubbelastung am Arbeitsplatz unter Beibehaltung der Spritzbetonqualität zu senken. Aus dieser «Baustellenerprobung von chemischen Zusätzen zur Staubreduzierung am Arbeitsplatz bei Spritzbetonarbeiten» [1] ergab sich, dass es selbst unter optimalen Arbeitsbedingungen nicht möglich ist, die MAK- bzw. die zulässigen Grenzwerte für die Staubbelastung einzuhalten. Als Folge dieser Versuche wurde 1992 das Forschungsprojekt «Alptransit» ins Leben gerufen [2], mit dem Ziel, das Nass-

spritzverfahren als Alternative zum Trockenspritzen mit chemischen Zusätzen zu erforschen. Dieses Forschungsprojekt wurde ebenfalls unter aktiver Mitwirkung der SUVA im VSH durchgeführt.

Die Ergebnisse aus diesen Nassspritzbeton-Versuchen [2] haben gezeigt, dass die Staubbelastung am Arbeitsplatz bis zum MAK-Wert gesenkt werden kann. Im Vergleich zu den früheren Trockenspritzbeton-Versuchen [1] sank die Staubbelastung um den Faktor zwei bis drei. Diese Erkenntnis wie auch die gewonnenen Erfahrungen in bezug auf die Spritzbetonqualität flossen in die Projektierung und Ausführung grösserer Untertagbauwerke wie z.B. des Vereinatunnels ein, wo Nassspritzbeton verarbeitet wird. Bei einer Linienbaustelle erreicht dieses Verfahren nebst einer markanten Staubverminderung auch erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Mit dem Nassspritzen lassen sich unter Einsatz eines Manipulators je Zeiteinheit erheblich höhere Schichtdicken und Leistungen erzielen als beim Trockenspritzen.

Es gibt jedoch nach wie vor ein grosses Anwendungsspektrum für das Trockenspritzen (Tunnelsanierungen, Kleinstollen, verzweigte Kavernensysteme etc.), das bezüglich Handhabung und Wirtschaftlichkeit ebenfalls konkurrenzfähig sein kann. Für diese Spritzbetonarbeiten ist die Trockenspritzbeton-Technologie (mit und ohne Abbindebeschleuniger) auch weiterhin erlaubt, unter der Bedingung, dass die MAK-Werte nicht überschritten werden.

Im Versuchsstollen Hagerbach erfolgten deshalb umfangreiche Trockenspritzbeton-Versuche mit Staubbindemitteln, und zwar ausschliesslich, um Verkleidungsspritzbeton mit definitivem Charakter für den Untertagbau herzustellen. Typische Anwendungen sind der Spritzbetonauftrag im Lopper-tunnel der Luzern-Stans-Engelbergbahn und die Auskleidung der Tunnels

der Centovalli-Bahn unter der Stadt Locarno oder des Zuger Stadttunnels der SBB.

Die Versuche fanden vom 7. bis 11. Dezember 1992 unter der Federführung der Amberg Ingenieurbüro AG statt. Dabei waren folgende Firmen massgebend beteiligt:

- Versuchsstollen Hagerbach AG für die Bereitstellung der Versuchsinfrastuktur und die anschliessenden Materialuntersuchungen an den Spritzbetonproben
- Laich SA für die Spritzbetonapplikation
- Sika AG für die gesamte Messinstallation und die Messungen
- Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) für die Staubmessungen.

Die Versuche wurden auf drei zentrale Fragestellungen ausgerichtet:

1. Kann die Beigabe eines Staubbindemittels die Staubbelastung unter den MAK-Wert für Feinstaub senken?
2. Welcher Einfluss hat ein Staubbinder auf die Spritzbetonqualität bezüglich Druckfestigkeit, Wasserdichtigkeit und auf die Baustellentauglichkeit der Verarbeitung. Zum Vergleich mit bereits im VSH durchgeführten früheren Trockenspritzbeton-Versuchen wurden zudem Rezepturen unterschiedlicher Zuschlagstoffe und Silicafume untersucht.
3. Nicht zuletzt interessierte der Rückprallanteil bei der Verwendung von Staubbinder, da hier der Ansatz für eine Kostenkompensation vermutet wurde.

Die Spritzbetonversuche fanden unter Baustellenbedingungen statt, wobei man folgende Randbedingungen berücksichtigte:

## Versuchsprogramm

Für den Versuch galten die Trockengemischrezepturen der Tabelle 1. Je Versuch wurde eine Mischung von 400 kg Siggenthalerzement (P 350) mit 1657 kg Kiessand, was ca. 1,43 m<sup>3</sup> Trockengemisch entspricht, verarbeitet. Die Zuschlagskomponenten stammten aus zwei geologisch verschiedenen Gebieten, nämlich einerseits aus der Region Thun (BE-Zuschlag) und andererseits aus der Umgebung von Sargans (SG-Zuschlag). Diese Wahl ermöglichte erstens Quervergleiche mit Ergebnissen von aktuellen Baustellen und zweitens eine Korrelation zu den früheren

Zuschlagstoff- und Rezept-Nr.	Rezeptur Trockengemisch: Kiessand 0 - 8 mm PC 400 kg pro 1657 kg Zuschlagstoffe								
	(5.0 % Sikacrete PP1-T = 20 kg Pulver pro 400 kg PC)								
	(0.3 % MENTA = 1.2 Liter MENTA pro 400 kg PC)								
	(0.4 % Sika Staubbinder = 1.5 Liter Staubbinder pro 400 kg PC)								
		Dos. Slurry in % des PC	Verbr. Slurry in kg	Sikacrete PP1-TU in % PC	Staubbinder in % PC	Dos. Tell-100 in % PC	Verbr. Tell-100 in kg	Dos. Sigunit Pulver in % PC	Verbr. Sigunit Pulver in kg
BE1	Nullmischung mit Zuschlagstoffen BE								
BE2	MENTA				0.3% MENTA				
BE3	Slurry	15.8	63.0						
BE4	Sikacrete PP1-TU			5.0					
BE5	MENTA + Slurry	13.8	55.0		0.3% MENTA				
BE6	MENTA + Sikacrete PP1-TU			5.0	0.3% MENTA				
BE7	Sika Staubbinder				0.4 % Sika				
BE8	Sika Staubbinder + Slurry	14.7	58.6		0.4 % Sika				
BE9	Sika Staubbinder + Sikacrete PP1-TU			5.0	0.4 % Sika				
BE10	Sika Tell 100					2.1	8.3		
BE11	Sika Staubbinder + Sika Tell 100				0.4 % Sika	2.2	8.7		
SG12	Nullmischung mit Zuschlagstoffen SG								
SG13	Sigunit							5.9	23.6
SG14	MENTA + Slurry	9.5	38.0		0.3% MENTA				
SG15	Slurry	9.2	36.8						

Tabelle 1. Trockenspritzbetonrezepturen

Trockenspritzbeton-Versuchen [1], was auch die Aussagekraft der Resultate erhöhte. Für die Staubreduktion wurde der Einfluss eines Sika-Staubbinders sowie der Staubbinder Menta der Laich SA getestet. Der Vergütung der Spritzbetonqualität dienten verschiedene Silica-Zusätze in Pulver-, Slurry- und kolloidaler Form. Für die Korrelation zu früheren Versuchen nahm man zusätzlich einen Trockenspritzbeton mit einem pulverförmigen Abbindebeschleuniger ins Versuchsprogramm auf. Die 15 Rezepturen wurden zweimal nacheinander verarbeitet. Je Rezeptur setzte man zwei mehr oder weniger unabhängige Versuchstermine fest, was Zufallsergebnisse weitgehend ausschloss.

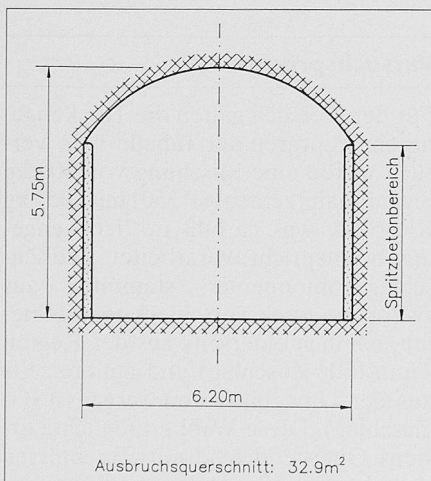


Bild 1. Stollengeometrie

### Versuchsanordnung

Die Trockenspritzbeton-Versuche erfolgten im selben Blindstollen und unter praktisch gleichen Randbedingungen, wie sie bei den ersten Trockenspritzbeton-Versuchen [1] und den Nassspritzbeton-Versuchen des Forschungsprojektes Alptransit [2] galten. Für die Stollenlüftung wurde wie bei den früheren Versuchen eine blasende Lutte (Durchmesser 60 cm) verwendet. Das Luttenende befand sich jeweils 15 Meter hinter der Verarbeitungsstelle.

Die Spritzbetonversuche fanden diesmal jedoch nur am Parament statt, weil ohne Manipulator gespritzt wurde. Erfahrungsgemäss bringen Spritzarbeiten

im Kämpfer- und Gewölbebereich mehr Feinstaub und Rückprall. Während der ganzen Versuchsreihe war derselbe Düsenführer im Einsatz.

Als Spritzbetonmaschine diente eine Meyco GM 57. Die Schlauchlänge betrug 40 Meter, der Durchmesser 50 mm. Die Luft- und Wasserversorgung erfolgte ab dem Stollennetz des VSH.

Das Trockengemisch wurde fertig ab Betonwerk mit Fahrnischer antransportiert und durch Mühlhäuser Silowagen an den Verarbeitungsort transportiert, wo es das Förderband in den Fülltrichter der Spritzbetonanlage entleerte. Um die Staubentwicklung beim Maschinisten zu drosseln, erfolgte der Materialumschlag vom Silowagen in den Fülltrichter im Schutze einer behelfsmässigen Plastikhüllung der Fördereinrichtung. Das Trockengemisch wurde innerhalb einer bis maximal zwei Stunden nach der Herstellung ab Betonwerk verarbeitet.

Zur Gewinnung von Probekörpern für Festbetonuntersuchungen wurden Muster in sogenannten Spritzkisten hergestellt. Die anschliessende Bohrkernentnahme und die Bestimmung der Festbetoneigenschaften erfolgten in dem zum Versuchsstollen Hagerbach AG gehörenden Fels- und Betonlabor.

### Messinstallation

Bei systematischen Spritzbetonversuchen ist es sehr schwierig, die erhaltenen Messergebnisse wegen der grossen Streuung richtig zu analysieren. Im Trockenspritzbeton-Verfahren ist nach wie vor der Düsenführer der wichtigste Mann, da er durch die Wasserzugabe den W/Z-Wert bestimmt und mit seiner Spritztechnik den Rückprall und somit den Zementgehalt an der Auftragsfläche entscheidend beeinflusst. Leider ist es unter Baustellenbedingungen nicht möglich, einen konstanten W/Z-

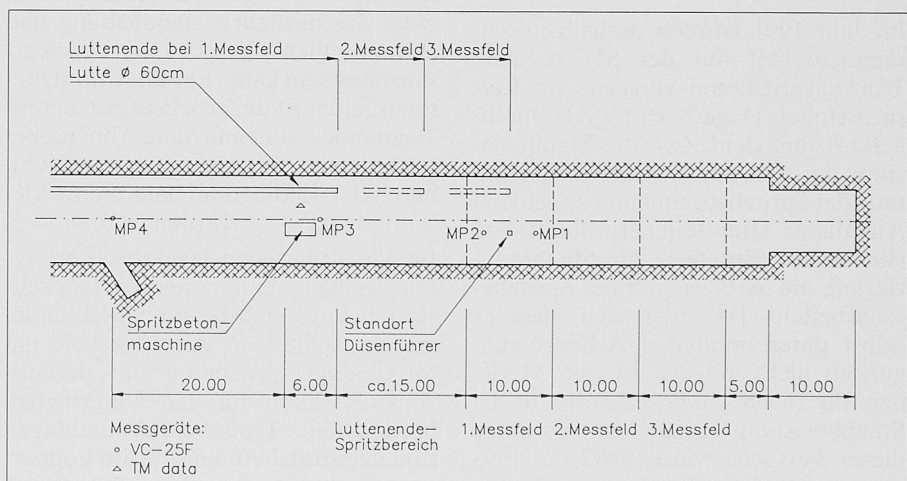


Bild 2. Messinstrumentierung



Zuschlagstoff- und Rezept-Nr.	Rezeptur Trockengemisch: Kiessand 0 - 8 mm PC 400 kg pro 1657 kg Zuschlagstoffe	Stollenlufttemperatur in ° C	Trockengemischtemperatur in ° C	Luftfeuchtigkeit rel %	Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe in %	Eigenfeuchte der Zuschlagstoffe in Liter	Zugabewasser in Liter	Anmachwasser total in Liter	WZ-Wert = Anmachwasser/kg PC	Spritzdauer (Min)	Liegezeit (h)	Mittl. Luftmenge in m³/min	Druck in bar	Rückprall in kg	Rückprall in %
BE1	Nullmischung mit Zuschlagstoffen BE	14	11	90	4.1	84.5	144.2	228.7	0.57	14	1.6	11.0	5.9	331	16.1
BE2	0.3 % MENTA	15	12	86	4.0	82.4	154.8	237.2	0.59	14	0.9	10.2	5.9	332	16.1
BE3	15.8 % Slurry	14	10	81	5.0	102.0	152.6	254.6	0.64	15	0.8	10.9	6.2	160	7.8
BE4	5.0 % Sikacrete PP1-TU	15	12	81	4.7	95.8	120.0	215.8	0.54	14	0.8	10.3	6.8	394	19.1
BE5	0.3 % MENTA + 13.8 % Slurry	15	10	83	5.2	106.1	163.0	269.1	0.67	14	1.0	9.0	6.0	223	10.9
BE6	0.3 % MENTA + 5.0 % Sikacrete PP1-TU	15	12	78	4.3	88.6	157.5	246.1	0.62	14	0.7	10.6	6.4	300	14.6
BE7	0.4 % Sika Staubbinder	15	10	86	5.6	114.4	120.9	235.2	0.59	15	0.7	11.2	5.8	291	14.2
BE8	0.4 % Sika Staubbinder + 14.7 % Slurry	15	10	85	5.7	117.5	154.7	272.1	0.68	15	0.7	9.0	6.1	217	10.6
BE9	0.4 % Sika Staubbinder + 5.0 % Sikacrete PP1-TU	15	10	86	5.1	105.1	116.5	221.6	0.55	13	0.6	10.7	6.1	367	17.8
BE10	2.1 % Sika Tell 100	17	9	79	5.0	102.0	91.7	193.7	0.48	15	0.7	11.5	5.8	222	10.8
BE11	0.4 % Sika Staubbinder + 2.2 % Sika Tell 100	17	10	75	4.9	99.9	120.4	220.3	0.55	15	0.7	10.9	6.3	323	13.3
SG12	Nullmischung mit Zuschlagstoffen SG	15	9	77	4.8	99.6	102.7	202.3	0.51	14	0.5	11.2	5.8	358	17.4
SG13	5.9 % Sigunit Pulver	17	9	69	4.6	93.7	134.0	227.7	0.57	17	0.7	11.5	5.4	237	11.5
SG14	0.3 % MENTA + 9.5 % Slurry	15	10	86	4.3	88.6	130.5	219.1	0.55	14	0.5	11.1	6.4	306	14.9
SG15	9.2 % Slurry	15	9	85	4.1	84.5	134.2	218.7	0.55	14	0.9	10.6	6.2	190	9.2

Tabelle 2. Frischbetondaten

Wert durchzuhalten. Dank moderner Messtechnik liessen sich jedoch bei allen Versuchen die folgenden Messparameter bestimmen:

- Effektiver Wasserverbrauch für jeden Spritzbetonversuch: Aus dem Wasserverbrauch und der gemessenen Feuchtigkeit des Trockengemisches lässt sich der W/Z-Wert im nachhinein berechnen.
- Luftmengen- und Luftdruckmessungen während jedem Versuch: Die Luftzufuhr pro Zeiteinheit beeinflusst wesentlich die Staubbelaftung. Bei Spritzbetonarbeiten ist je nach der Leistung des Kompressors und der Menge des Luftverbrauches mit Luftmengen- und Druckschwankungen zu rechnen, was sich auf die Staubbelaftung auswirken kann.
- Das Stollenklima liess sich mit einer Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-Messsonde erfassen.

Die bei allen Versuchen durchgeführten Messungen und die erhaltenen Daten sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Der W/Z-Wert in Tab. 2 entspricht dem Verhältnis zwischen der Anmachwassermenge (= Eigenfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe und Zugabewasser an der Düse) und dem Zementgehalt des Trockengemisches. Der W/Z-Wert des aufgetragenen Spritzbetons ist niedriger, weil Wasser und Zement durch den Spritzstaub und den Rückprall verloren gehen.

Um aussagekräftige, gültige Staubmessresultate zu erhalten, wurde bereits bei der Versuchsplanung die SUVA miteinbezogen. Mit ihren mobilen Messgeräten und der anschliessenden Auswertung in ihrem Analytiklabor in Luzern begleitete sie die Spritzbetonversuche staubmesstechnisch. Damit waren dieselben Ausgangsbedingungen gewährleistet wie beim Forschungsprojekt Alptransit.

Die lungengängigen Feinstaubkonzentrationen (massgebend für den MAK-Wert) wurden an allen exponierten Arbeitsstellen mit vier gravimetrischen Staubmessgeräten VC 25F Gravikon mit aufgesetztem Feinstaubmesskopf gemessen (vgl. Bild 2). Zwei Messgeräte waren beim Düsenführer aufgestellt (Messpunkt 1 und 2) und je ein Messgerät am Arbeitsplatz des Maschinisten (Messpunkt 3) und im rückwärtigen Stollenbereich (Messpunkt 4). Die Ansaugöffnungen der Messgeräte lagen 1.65 m über der Sohle. Die Staubmessgeräte wurden erst etwa 2 Minuten nach Beginn der Spritzbetonarbeiten gleichzeitig eingeschaltet, um anfänglichen Unregelmässigkeiten in der Spritzbetonförderung auszuweichen. Je Spritzbetonversuch wurde die Staubbelaftung während 12 bis 16 Minuten gemessen.

Eine erste quantitative Beurteilung der Staubentwicklung während der Versuchsdurchführung erfolgte mit einem optischen Streulichtfotometer (TM data), das laufend Auskunft über die je-

weilige Feinstaubkonzentration lieferte. Diese optische Staubmessung mit dem TM-data diente einerseits als Quervergleich zu den späteren Laborauswertungen der VC-25F-Gravikon-Messungen, bei denen eine definierte Luftmenge via Saugprinzip, in einer vorgegebenen Zeit, durch eine Filterplatte durchgesogen wurde. Andererseits konnten durch die TM-data Messungen bereits frühzeitig die sich abzeichnenden Versuchstendenzen erfasst werden.

## Resultate der Staubmessungen

Nach SUVA ist der maximale Arbeitsplatz-Konzentrationswert (MAK-Wert) die höchstzulässige Durchschnittskonzentration eines gas-, dampf- oder staubförmigen Arbeitsstoffes in der Luft, die nach derzeitiger Kenntnis zulässig ist. Eine solche Konzentration soll bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden und wöchentlich bis 42 Stunden die Gesundheit der überwiegenden Zahl der Arbeitenden auch über längere Zeit nicht gefährden.

Der MAK-Wert dient der Beurteilung, ob die am Arbeitsplatz auftretende Konzentration eines Stoffes bedenklich ist oder nicht. Neben der Giftigkeit der eingeatmeten Stoffe berücksichtigen die MAK-Werte auch andere Faktoren, beispielsweise die Ätzwirkung, etwaige sensibilisierende und ernsthaft belästigende Eigenschaften und das Hautdurchdringungsvermögen.

Versuch Nr.	Zusatzmittel	Luftmenge m <sup>3</sup> /min	Feinstaubkonzentration mg/m <sup>3</sup>		
			(MP1 + MP2)/2 Düsenführer	MP3 Maschinist	MP4 Rückw. Raum
BE1	Nullmischung mit Zuschlagstoffen BE	11.0	11.8	4.5	1.8
BE2	0.3 % MENTA	10.2	3.8	3.1	0.8
BE3	15.8 % Slurry	10.9	10.4	11.0	2.7
BE4	5.0 % Sikacrete PP1-TU	10.3	8.8	5.1	3.4
BE5	0.3 % MENTA + 13.8 % Slurry	9.0	5.9	4.5	1.2
BE6	0.3 % MENTA + 5.0 % Sikacrete PP1-TU	10.6	5.0	3.6	2.1
BE7	0.4 % Sika Staubbinder	11.2	5.5	4.3	1.8
BE8	0.4 % Sika Staubbinder + 14.7 % Slurry	9.0	3.3	2.6	1.2
BE9	0.4 % Sika Staubbinder + 5.0 % Sikacrete PP1-TU	10.7	3.9	3.6	2.2
BE10	2.1 % Sika Tell 100	11.5	8.1	10.0	7.7
BE11	0.4 % Sika Staubbinder + 2.2 % Sika Tell 100	10.9	5.1	5.6	3.8
SG12	Nullmischung mit Zuschlagstoffen SG	11.2	9.1	7.0	5.6
SG13	5.9 % Sigunit Pulver	11.5	5.2	5.6	5.1
SG14	0.3 % MENTA + 9.5 % Slurry	11.1	3.4	4.1	2.0
SG15	9.2 % Slurry	10.6	8.0	8.9	6.1

Tabelle 3. Zusatzmittel

Die Feinstaub-Probeentnahme aus der Stollenluft erfolgte auf dem Membranfilter des VC 25F Gravikon (Luftdurchsatz 22,5 m<sup>3</sup>/h). Die Bestimmung der Feinstaubmasse auf dem Filter wurde mittels Absorption von Beta-Strahlen durchgeführt und der Quarzgehalt im Feinstaub mittels Röntgendiffraktometrie ermittelt. Die Ergebnisse der Feinstaubmessungen sind in der Tabelle 3 zusammengestellt.

Von besonderem Interesse sind die Feinstaubkonzentrationen beim Düsenführer, also die Messpunkte MP1 und MP2. Das Diagramm 1 enthält die Mittelwerte dieser zwei Messpunkte

(Standort Düsenführer) sowie die Werte der Messstellen MP3 (Standort Maschinist) und MP4 (rückwärtiger Raum). Alle Resultate sind Mittelwerte von beiden Spritzbetonversuchen pro Rezeptur.

Der in den einzelnen Proben ermittelte Quarzgehalt im Feinstaub betrug bei allen Mischungen im Mittel 3 %. Für diese Konzentration beträgt der MAK-Wert 4 mg Feinstaub pro m<sup>3</sup> Luft.

Die beiden Nullversuche (Rezeptur BE1 und SG12) mit unterschiedlichen Zuschlagstoffen ergaben Mittelwerte von 11.9 mg/m<sup>3</sup> bzw. 9.1 mg/m<sup>3</sup> und lie-

gen somit recht nahe beieinander. Die Auswertung der Versuche SG12 bis SG15 hat gezeigt, dass sie mit den bereits früher im VSH durchgeführten Trockenspritzbeton-Versuchen vergleichbar sind. Für den Detailvergleich zwischen Staubbelastung und Betonqualität wurden die Rezepturen BE1 bis BE 11 weiter ausgewertet.

Es hat sich gezeigt, dass dort, wo der Staubbinder Menta alleiniger Zusatz war (Rezeptur BE2), der MAK-Wert unterschritten wurde (3.8 mg/m<sup>3</sup>). Der Sika-Staubbinder (allein oder zusammen mit anderen chemischen Zuschlagstoffen) wirkt ebenfalls staubvermindernd. Dies zeigen die Versuche BE7, BE8, BE9 und BE 11 deutlich.

Grundsätzlich gilt, dass die verwendeten Staubbindemittel die Feinstaubkonzentration gegenüber der Null-Mischung bis auf etwa 30 % reduzieren können. Mit der Beigabe von Staubbinder sank die Staubbelastung beim Düsenführer meistens unter den MAK-Wert (4 Versuche). Bei allen übrigen 11 Versuchen, am deutlichsten bei den Null-Versuchen BE1 und SG12, wurden die MAK-Werte bis um das Doppelte überschritten.

### Spritzbetoneigenschaften

Für die Festbetoneigenschaften sämtlicher Rezepturen wurden neben der Rohdichte und der Druckfestigkeit

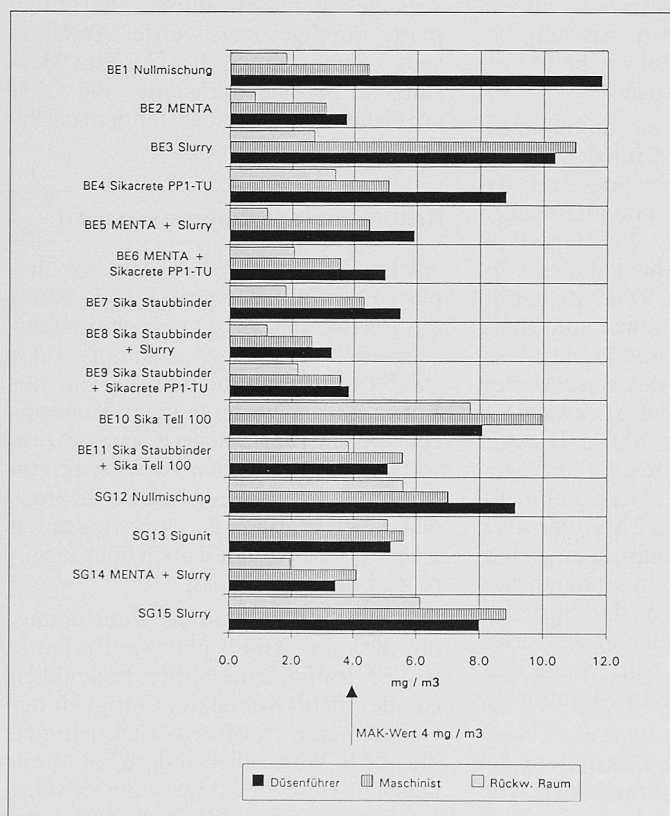


Diagramm 1. Feinstaubkonzentrationsvergleich in Abhängigkeit von Zusätzen und Arbeitsort

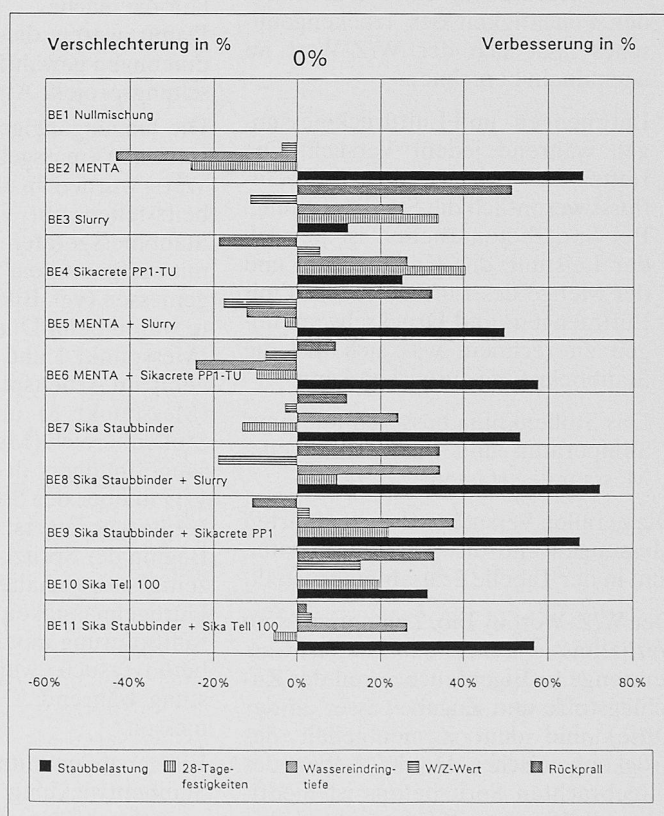


Diagramm 2. Prozentuale Abweichung gegenüber Nullmischung



auch die Wasserundurchlässigkeit nach DIN 1048 ermittelt. Sie wird bei diesem Versuch so definiert, dass bei bestimmtem Wasserdruck und bestimmter Einwirkzeit die grösste Wassereindringtiefe im Beton 50 mm nicht überschreiten darf.

Interpretation und Folgerungen. Durch die Zugabe von Staubbinder lässt sich die Feinstaubkonzentration im Vergleich zur Nullmischung um bis zu 70 % vermindern, was jedoch alle anderen Versuchsparameter wie W/Z, Druckfestigkeit, Wassereindringtiefe und Rückprall mitbeeinflusst.

Das Diagramm 2 ist eine graphische Versuchsauswertung der durchgeführten Spritzbetonversuche. Die 28-Tagefestigkeit, die Wassereindringtiefe und der W/Z-Wert bestimmen darin die Qualität des Spritzbetons. Der Rückprallfaktor widerspiegelt den Ausnutzungsfaktor der entsprechenden Rezeptur. Alle Abweichungen der obigen Faktoren von den Werten der Nullmischung sind prozentual angegeben. Per Definition wird eine Verbesserung der Trockengemischrezeptur erreicht, wenn die Feinstaubkonzentration, der W/Z-Wert, die Wassereindringtiefe und der Rückprall sinken und die Druckfestigkeit steigt.

Beim Trocken- wie auch beim Nassspritzbeton-Verfahren in Untertagbau mit den geforderten Eigenschaften wie Einhaltung der MAK-Werte, der Festbetonqualität, der Rückprallverminderung usw. müssen die notwendigen Zusätze im richtigen Mischungsverhältnis stehen. Dafür sind entsprechende Vorversuche unerlässlich, weil wegen unterschiedlicher Zuschlagstoffe, Zementsorten und chemischen Zusätzen nicht zum vornherein feststeht, welche Rezeptur den gewünschten Anforderungen am besten entspricht. Die Erfahrung und das «Know how» der Zulieferanten sind dabei ebenso wichtig wie jene der verarbeitenden Unternehmung.

## Zusammenfassung

Die Versuche wurden auf die in der Einleitung erwähnten drei Fragestellungen ausgerichtet:

1. Die grösste Staubkonzentration wurde im Bereich des Düsenführers gemessen. Bei den gegebenen Stollenbedingungen konnten die MAK-Werte durch die Beigabe von Staubbinder in den Rezepturen BE2, BE8, BE9 und SG14 eingehalten werden. Der unterschiedliche Charakter der Zuschlagstoffe beeinflusste die Staubbentwicklung, unabhängig vom Staubbinderfabrikat.

Zuschlagstoff- und Rezeptur-Nr.	Rezeptur Trockengemisch: Kiessand 0 - 8 mm PC 400 kg pro 1657 kg Zuschlagstoffe	1-Tagedruckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	3-Tagedruckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	7-Tagedruckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Rohdichten nach 7 Tagen	28-Tagedruckfestigkeit N/mm <sup>2</sup>	Rohdichten nach 28 Tagen kg/m <sup>3</sup>	Wassereindringtiefe in mm	Eindringmenge in ml
BE1	Nullmischung mit Zuschlagstoffen BE			28.9	2332	35.9	2308	45	52
BE2	0.3 % MENTA			22.6	2263	26.7	2235	65	194
BE3	15.8 % Slurry			34.0	2295	48.2	2271	33	34
BE4	5.0 % Sikacrete PP1-TU			36.8	2327	50.5	2318	33	26
BE5	0.3 % MENTA + 13.8 % Slurry			21.6	2232	34.9	2209	51	80
BE6	0.3 % MENTA + 5.0 % Sikacrete PP1-TU			23.0	2254	32.4	2235	56	50
BE7	0.4 % Sika Staubbinder			25.8	2246	31.2	2244	34	35
BE8	0.4 % Sika Staubbinder + 14.7 % Slurry			25.0	2234	39.4	2212	30	34
BE9	0.4 % Sika Staubbinder + 5.0 % Sikacrete PP1-TU			29.6	2279	43.8	2262	28	43
BE10	2.1 % Sika Tell 100			35.9	2305	43.0	2286	45	47
BE11	0.4 % Sika Staubbinder + 2.2 % Sika Tell 100			26.0	2252	33.9	2235	33	35
SG12	Nullmischung mit Zuschlagstoffen SG	16.4	22.7	36.9	2325	47.3	2317	38	23
SG13	5.9 % Sigunit Pulver	20.3	27.3	21.3	2299	28.4	2298	53	58
SG14	0.3 % MENTA + 9.5 % Slurry			26.5	2246	35.3	2235	44	53
SG15	9.2 % Slurry			35.3	2317	48.8	2308	33	25

Tabelle 4. Festbetondaten

2. Es wurde festgestellt, dass sich die Spritzbetonfestigkeiten durch die alleinige Beigabe von Staubbinder, bedingt durch den höheren Wasserbedarf, um 10 bis 20 % verschlechtern. Die Wassereindringtiefe nach DIN 1048 und damit die Wasserdichtigkeit des Spritzbetons sind vom gewählten Staubbinder abhängig. Etwaige Nachteile können mit verschiedenen chemischen Zusatzmitteln zum Teil kompensiert werden.
3. Je nach Beigabe von Slurry und kolloidaler Kieselsäure (Sika Tell 100) konnte die Rückprallmenge deutlich reduziert werden. Die alleinige Beigabe von Staubbinder vermindert den Rückprall kaum, womit sich die Staubbinderbeigabe als nicht selbstkostendeckend erweisen dürfte.

Ob und wie weit beim Trockenspritzbeton-Verfahren die Beigabe von Staubbinder und von etwaigen chemischen Zusatzmitteln wirtschaftlich ist, hängt nicht zuletzt vom Bauobjekt und den Einrichtungen der Unternehmer ab, so dass hier die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens nicht schlüssig beurteilt werden kann. Sicher ist jedoch, dass das Trockenspritzen neben dem vermehrt aufkommenden Nassspritzen weiterhin überall dort vorteilhaft ist, wo rasch und ohne grossen Installationsaufwand Spritzbeton verarbeitet werden muss. Dem Unterhalt und der Wartung der Installationen muss jedoch hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden, da sich sonst die geforderten MAK-Werte und

die Spritzbetonqualität nicht erreichen lassen. Das gilt für das Nassspritzbeton-Verfahren genau gleich. Zudem ist zu beachten, dass der Düsenführer die Betonqualität und die Staubbentwicklung massgeblich mitbeeinflusst.

Die Staubbmessungen der SUVA haben gezeigt, dass auch beim Trockenspritzbeton ein Entwicklungspotential steckt, das es auszuschöpfen gilt. Zudem wurde erkannt, dass sich auch mit dem Trocken- und nicht nur mit dem Nassspritzbeton die geforderten MAK-Werte einhalten lassen. Allerdings entsteht beim Nassspritzen im Gewölbebereich erfahrungsgemäss weniger Staub und Rückprall als beim Trockenspritzen.

Adressen der Verfasser: D. Marti, Amberg Ingenieurbüro AG, Trockenloosstrasse 21, 8105 Regensdorf-Watt, P. Heusi, Laich SA, 6670 Avegno, Dr. G. Bracher, Sika AG, Tüfenwies 16-22, 8048 Zürich, H. Moser, SUVA Sektion Bau, Fluhmattstrasse 1, 6002 Luzern

## Literatur

- [1] AUVA, SUVA, TBG, STUVA: Forschungsvorhaben «Baustellenerprobung von chemischen Zusätzen zur Staubbremsung am Arbeitsplatz bei Spritzbetonarbeiten»; Bericht über die Spritzbetonversuche im Hagerbachstollen vom 11.-22.03. 1991.
- [2] H. Egli, M. Vögele (SUVA Luzern): Forschungsprojekt Alptransit, Staubbekämpfung bei Spritzbeton-Arbeiten im Untertagbau; Bericht über die Spritzbetonversuche vom 28.09.-16.10.1992.