

# Untersuchungen zur Reduzierung der Quarzstaubproblematik

**Robert Galler**

Lehrstuhl für Subsurface Engineering &  
Forschungszentrum ZaB – Zentrum am Berg  
Montanuniversität Leoben

62. Jahrestagung für Sicherheit im Bergbau

**MONTAN UNIVERSITÄT**  
**MCU**  
**ÖSBS**  
**OSTU STETTIN**  
**DORA**  
**ELM**  
**AUSTIN POWDER**  
**Körbermann**  
**CFT**  
**BBT**

**ZaB**  
**MONTAN UNIVERSITÄT LEOBEN**  
**ZENTRUM AM BERG**

**FFG**  
Forschung wirkt.

**öbv**

## FFG-Projekt LUQUAS

Lungengängige Quarzstäube und negative Auswirkungen von Sprenggasen: Detektion und Lösungsmöglichkeiten für die Zukunft



## Stäube am Arbeitsplatz und in der Umwelt – Begriffsbestimmungen

Als **einatembaren Staub (E-Staub)** betrachtet man jenen Massenanteil aller Schwebstoffe, welche durch Mund und Nase eingeatmet werden können. Der sogenannte **E-Staub** ist bei einem **Abscheidegrad von 50% bei 100  $\mu\text{m}$  definiert** (M.Mattenklott und N. Höfert 2009).

Der kleinste Massenanteil, welcher im Arbeitsschutz definiert ist, ist jener des **alveolengängigen Staubs**. Diese Staubpartikel können durch ihre Größe bis in die nicht cilierten Luftwege vordringen. Der sogenannte **A-Staub** ist bei einem **Abscheidegrad von 50% bei 4  $\mu\text{m}$**  definiert (M. Mattenklott und N. Höfert 2009).

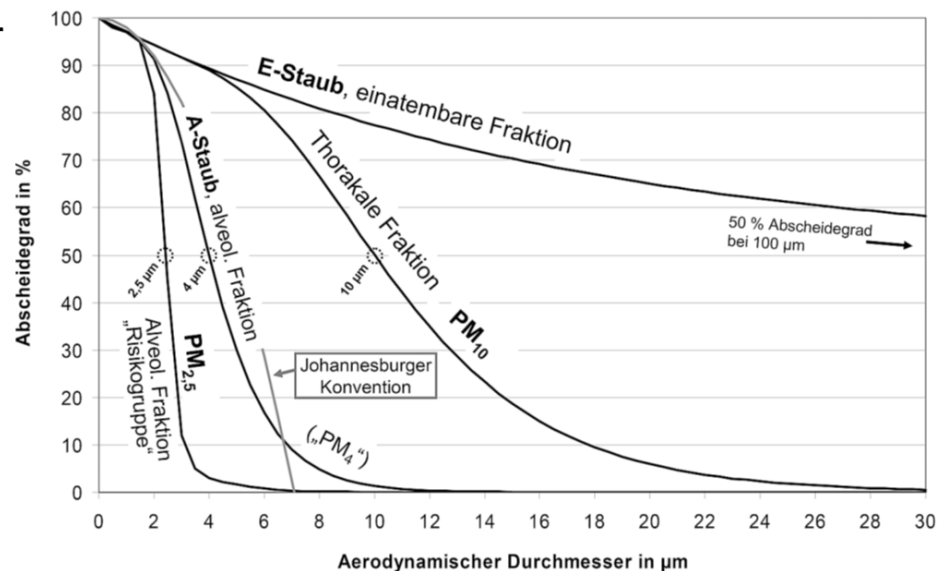
Der Abscheidegrad kann wiederum als gröÙenselektierender Lufteinlass beschrieben werden, welcher für alle Teilchen mit einem bestimmten aerodynamischen Durchmesser eine bestimmte Abscheidewirksamkeit aufweist (M. Mattenklott und N. Höfert 2009).

Der in der **Grenzwertverordnung 2021** angegebene **Tagesmittelwert** bezieht sich auf den **alveolengängigen Quarzstaub (Quarzanteil im A-Staub)**



### Konventionen für die definierten Staubfraktionen

(M. Mattenklott und N. Höfert 2009)





## Rechtliche Rahmenbedingungen

Stoff	MAK oder TRK	Grenzwert				Dauer [min]	Häufigkeit in 8 Stunden Arbeitszeit
		Tagesmittelwert (TMW)		Kurzzeitwert (KZW)			
		[ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]	[ppm]	[mg/m <sup>3</sup> ]		
einatembare Fraktion der biologisch inerten Schwebstoffe	MAK		10		20	60	2x
alveolengängige Fraktion der biologisch inerten Schwebstoffe	MAK		5		10	60	2x
Kohlenstoffmonoxid	MAK	20 (30)	23	60 (60)		15 (Miw)	4x
Kohlenstoffdioxid	MAK	5000	9000	10000	18000	60 (Mow)	3x
Stickstoffmonoxid	MAK	2 (25)	2,5				
Stickstoffdioxid	MAK	0,5 (3)	0,96	1 (6)	1,91	5 (Mow)	8x
Ammoniak	MAK	20	14	50	36	15 (Miw)	4x
<b>Quarzfeinstaub (alveolengängige Fraktion)</b>	<b>MAK</b>		<b>0,05</b>				



### Was hat sich hinsichtlich der Stäube am Arbeitsplatz geändert?

Die maximale Arbeitsplatzkonzentration für alveolengängigen Quarzstaub wurde EU-weit von 0,15 mg/m<sup>3</sup> auf **0,05 mg/m<sup>3</sup>** herabgesetzt.

### Erfahrungsberichte

der Grenzwert für den alveolengängigen Quarzstaub in Höhe von 0,05 mg/m<sup>3</sup> wird bei ca. 50% der durchgeführten Messungen überschritten.

### Mögliche Maßnahmen zur Einhaltung des Grenzwertes

Entstaubungsanlagen und Wasserbedüsung?



## Nachweisgrenze Quarzstaub

Die absolute **Nachweisbarkeit von Quarzstaub** ist von dem im Anschluss an die Probenahme verwendeten **Analysegerät** abhängig.

Ein **weiterer Parameter** für das Bestimmungsverfahren ist die **gesamte Probenmasse**, welchen dem **Röntgendiffraktometer** aufgegeben wird. Diese beträgt **2 mg**.

Dabei ist zu beachten, dass die Probe im Normalfall nicht aus reinem Quarzstaub besteht.

**Unabhängig von der Gesamtprobenmasse** müssen **mindestens 0,03 mg an Quarz in der Probe** sein, da sonst durch das **Röntgendiffraktometer** kein Quarz nachgewiesen werden kann (M. Mattenklott 2006).



## Staub- und Emissionskonzentrationen in der Tunnelluft

Quarz	Anzahl Messdaten	Min (mg/m <sup>3</sup> )	Max (mg/m <sup>3</sup> )	95% Wert (mg/m <sup>3</sup> )
Konventioneller Vortrieb	109	< 0,01	0,68	0,38
Maschineller Vortrieb	51	< 0,01	1,58	0,84

Quarzfeinstaub: Grenzwert: 0,05mg/m<sup>3</sup> (MAK, krebserzeugend)

- Staubschutzmaßnahmen müssen praktikabel sein und in der Planungs- und Ausschreibungsphase berücksichtigt werden,
- Maßnahmen kommen aufgrund von Platzmangel, Wasserhaltung im Ortsbrustbereich und dem damit einhergehenden Mehraufwand zumeist nicht zum Einsatz.

(Ressler, 2021)



## Staubentwicklung im zyklischen Vortrieb

- Material lösen durch baggern, fräsen, sprengen, schneiden,
- Bohren,
- Herstellen von Erkundungsbohrungen,
- Ankern,
- Allgemeine Bohrarbeiten für Versorgungsleitungen und Infrastruktur,
- Schüttern,
- Auftragen von Spritzbeton,
- Errichten von Zwischendeponien im Tunnel,
- Prozesse am Brecher für die Förderbandschütterung,
- Übergabestellen von Förderbändern,
- Übergabestellen von Brechern auf Streckenbänder ,
- Übergabestellen von Streckenband auf Streckenband, beispielsweise bei langen Vortrieben, Querschlägen, Schächten,
- Auftragen von Abdichtungsträgern; diese Arbeitsstellen sind unabhängig von der Ortsbrust,
- Injektionen,
- Reinigung Baustelleninfrastruktur, Geräte, Fahrzeuge.

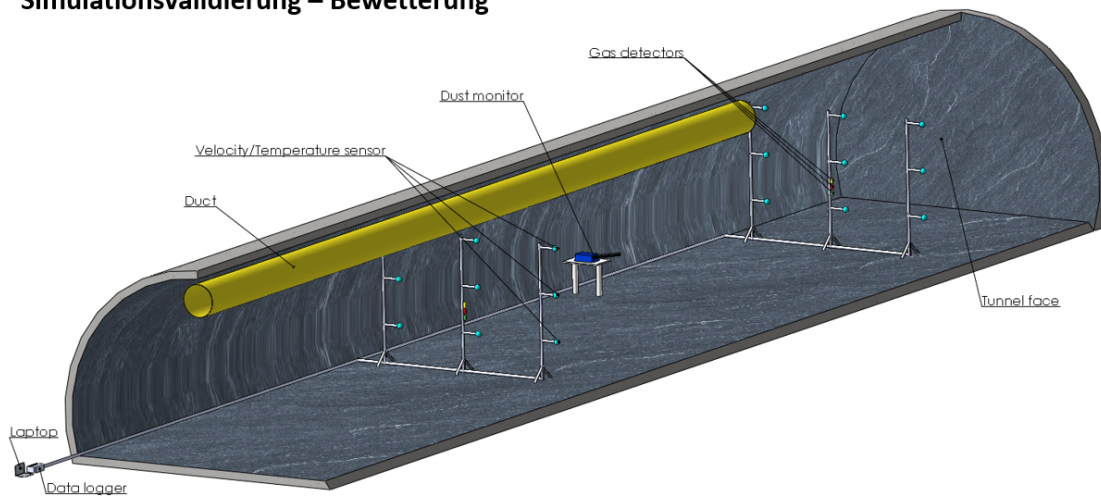


## Arbeiten mit Staubentwicklung während der Tunnelinstandsetzung

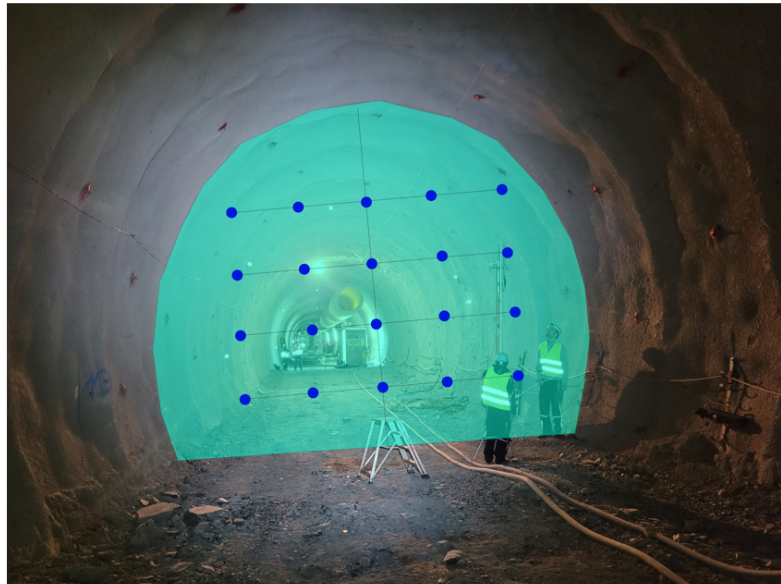
- Zwischendecken-, Sohl- und Gewölbeabbruch, Nischenausbruch, Fahrbahnabbruch
- Säge- oder Seilschneidarbeiten (z.B. Anschluss von Querschlägen)
- Anbauteilschnittfräsen (z.B. für Profilerweiterungen, Schlitze im Gewölbe)
- Oberflächenfräsen für Gewölbe und Fahrbahn
- Bohren, Meißeln, Stemmen, Schneiden, Strahlarbeiten, HDW-Strahlen, Schleifen
- Rückbau von Versorgungsleitungen (Abbruch, Ausbau, Abtrag)
- Spritzbetonarbeiten
- Beschichten (Strahlen, Spachteln)
- Gleisschotterabtrag, Gleisschotterreinigung
- Einbau des Unterbaus, der Drainageschichten und ungebundener Tragschichten
- Fahrbewegungen (u.a. Schüttern, Abtransport Abbruchmaterial, Betonantransport, Logistik)
- Reinigung Baustelleninfrastruktur, Geräte, Fahrzeuge
- Reinigung Bauwerk (u.a. Fahrraum, Abluft-, Entwässerungs- und Medienleitungskanäle)



### Simulationsvalidierung – Bewetterung



### Simulationsvalidierung Bewetterung





Simulationsvalidierung – Bewetterung



Messgeräte:

Gravikon PM4-2  
Grimm 1.108

SG10-2  
TM data





## Messung der Staubkonzentration in Abhängigkeit der Zeit:

### Messgeräte:

- Portable Laser Aerosolspectrometer and Dust Monitor Model 1.108/1.109 (Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG):



Messung Staubkonzentration [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]:

- E-Staub
- A-Staub

- TM data (Helmut Hund GmbH):



Messung der A-Staubkonzentration [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]



## Messung des Quarzgehaltes im A-Staub:

**Messgeräte:** Gravikon PM 4 F (GSA Messgerätebau GmbH)

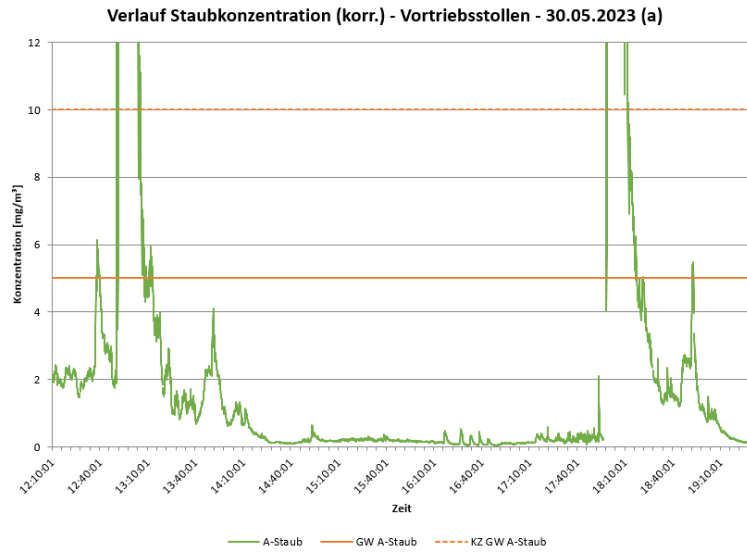
- Luftvolumenstrom von  $4 \text{ m}^3/\text{h}$
- Bestimmung des **eigentlichen Quarzgehaltes** im A-Staub erfolgt im Anschluss der Probenahme durch das Gravikon PM 4 F mit Hilfe eines Röntgendiffraktometers der ÖSBS in Leoben







### Staubkonzentration über eine Zeitspanne von 7,5 Stunden



### Stationsabhängige Schadstoffbelastungen Auswertung der Emissionen über einen längeren Zeitraum

	E-Staub- Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	A-Staub- Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	Quarzstaub- Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Mittelwert Messtag	11,77	3,16	0,18
<b>Tagesmittelwert laut GKV 2021</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0,05</b>

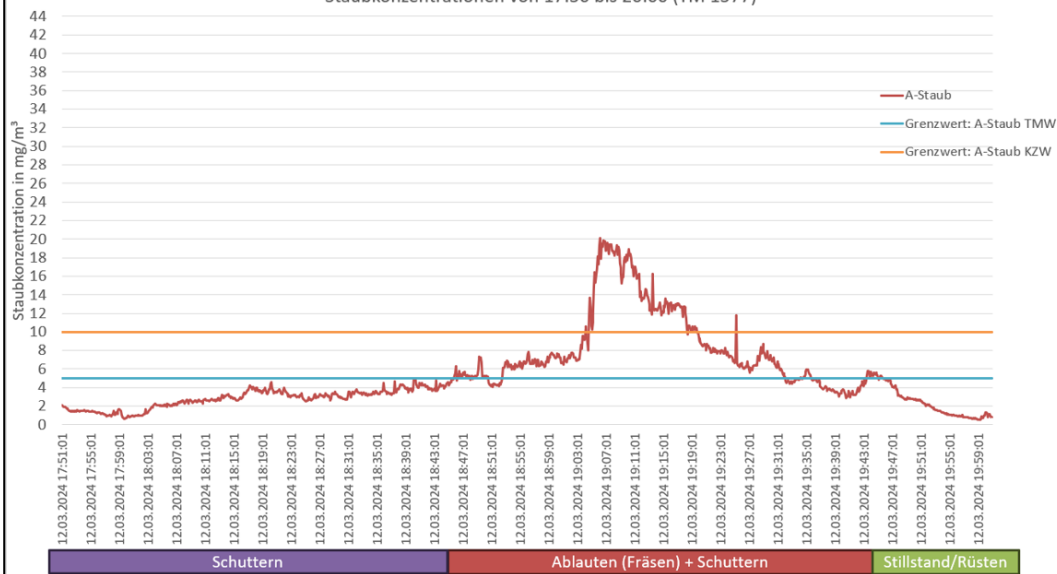


### Zyklus-schrittabhängige Schadstoffbelastungen

Zyklus-schritt	E-Staub-Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	A-Staub-Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	Quarzstaub-Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Gittern, Stellen des Bogens und Setzen diverser Ankertypen	0,045	0,02	< 0,002
Bohren mittels Bohrwagen (Nassbohrverfahren)	0,2	0,1	< 0,002
Spritzbetonarbeiten	18,2	2,1	0,026
<b>Tagesmittelwert laut GKV 2021</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>0,05</b>

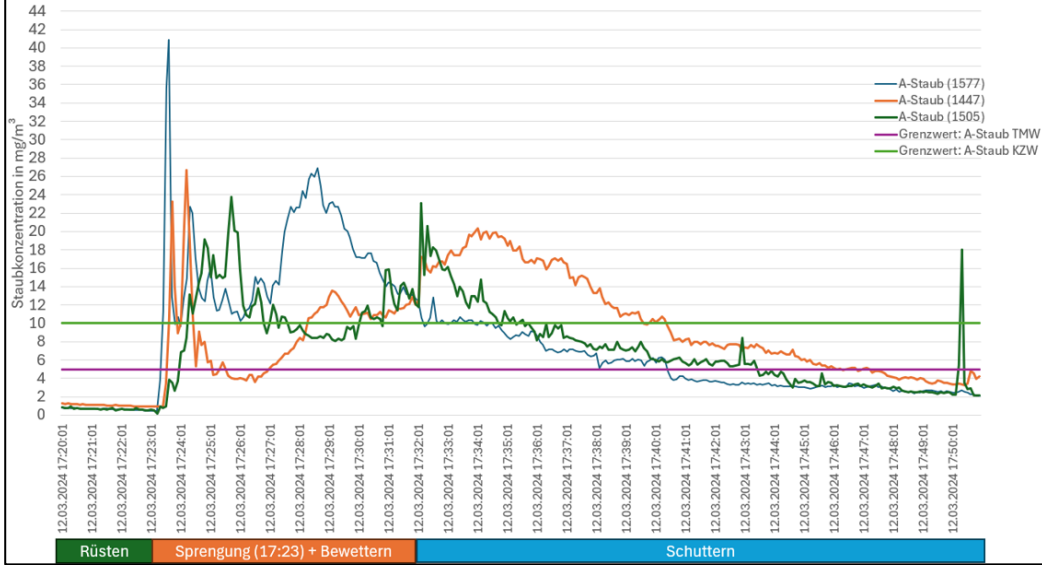


Staubkonzentrationen von 17:50 bis 20:00 (TM 1577)

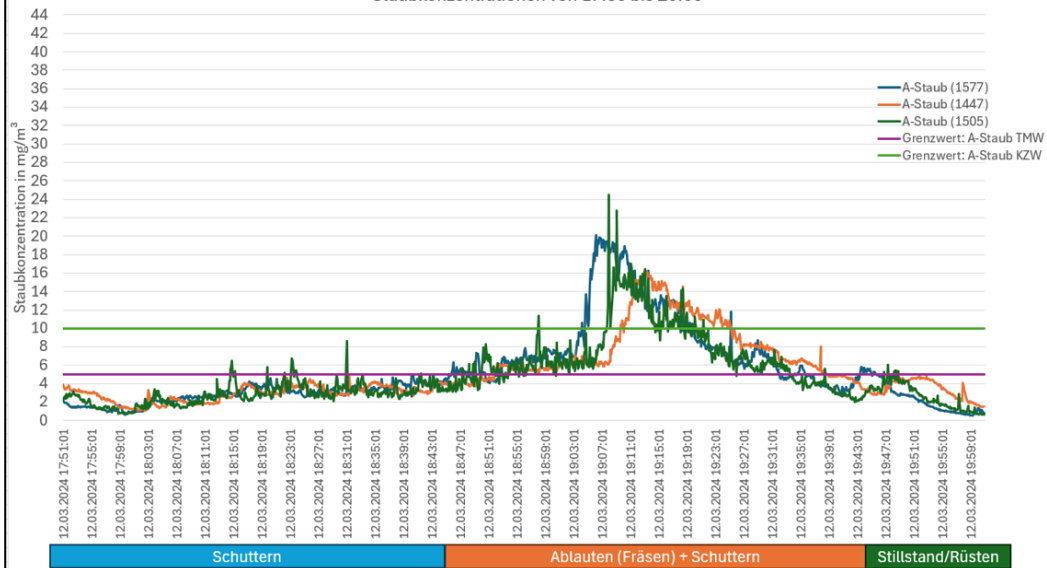




Staubkonzentrationen von 17:20 bis 17:50

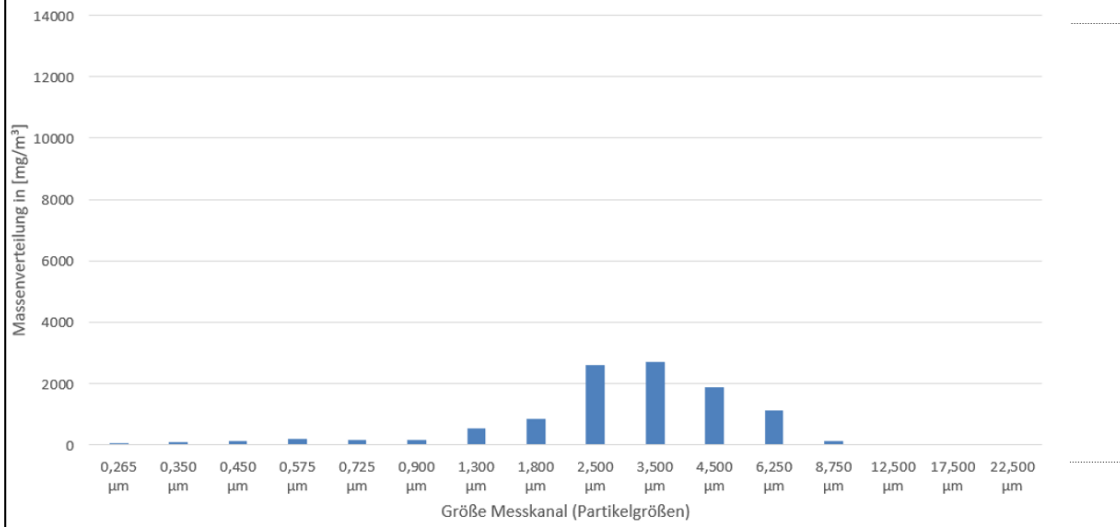


Staubkonzentrationen von 17:50 bis 20:00

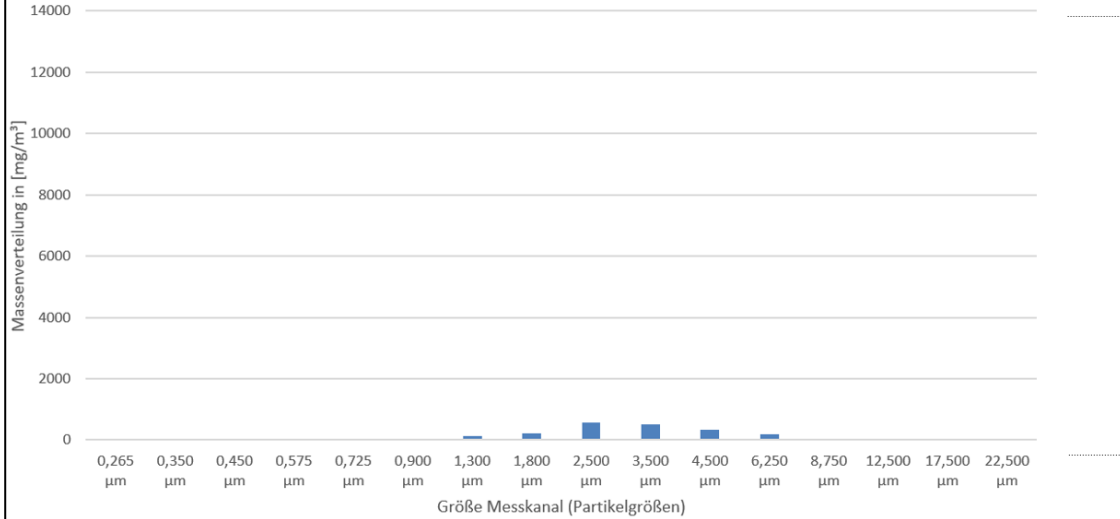




Massenverteilung A-Staub TM 1577 (gesamt)

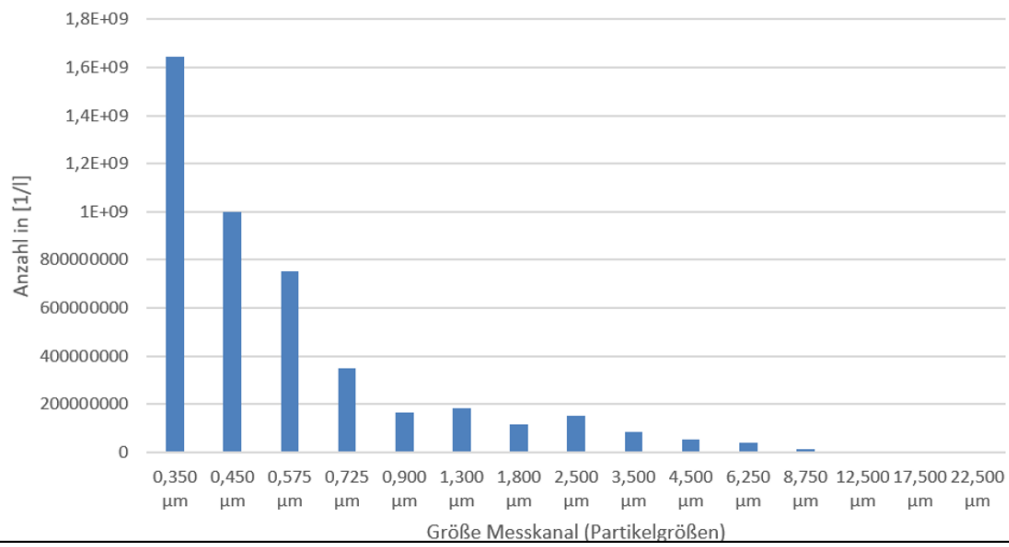


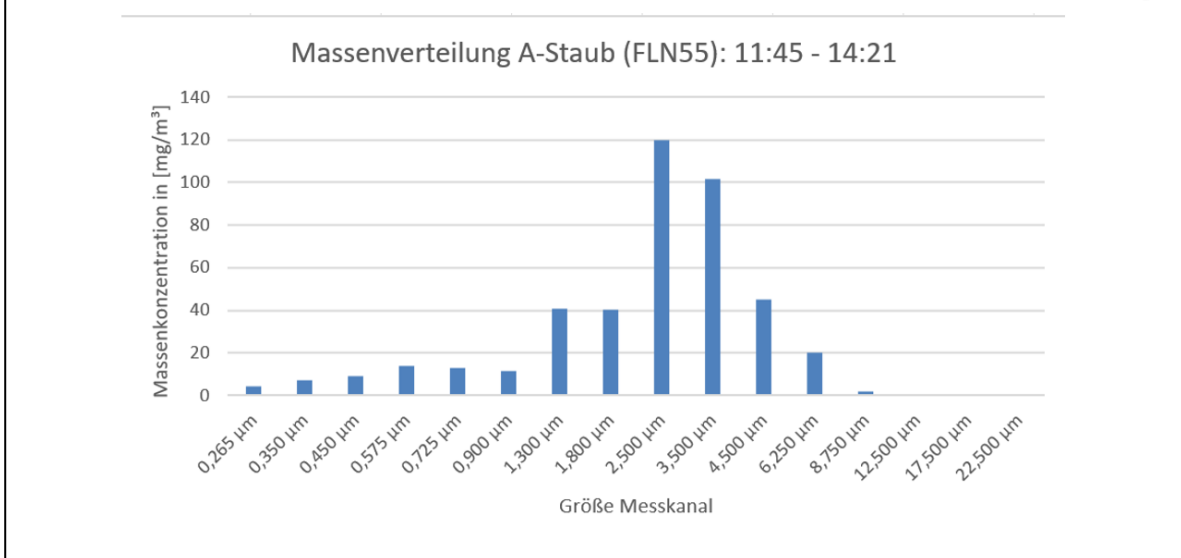
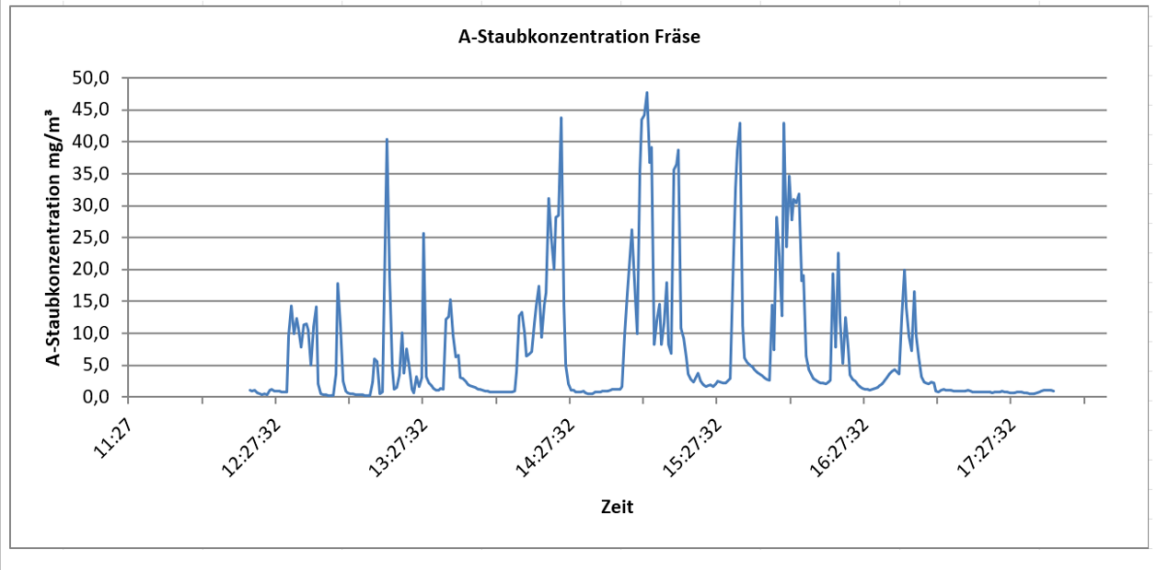
Massenverteilung A-Staub TM 1577 (17:23-17:53)





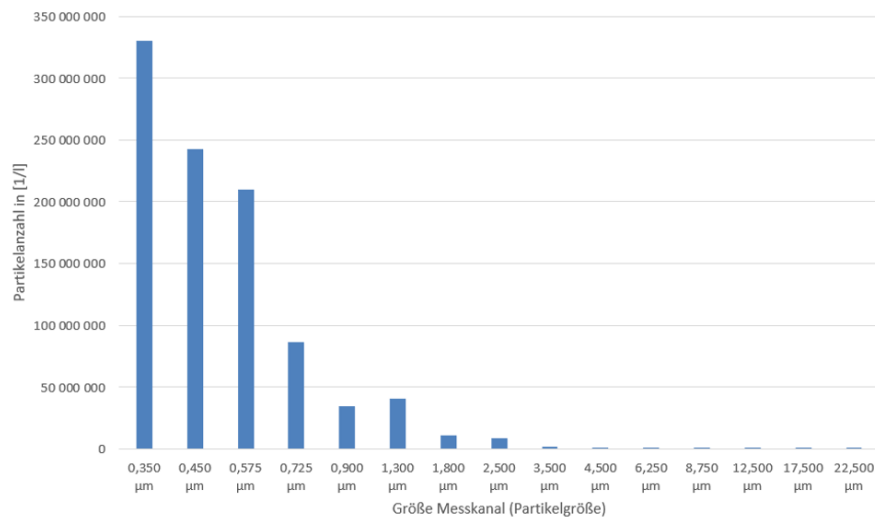
### Partikelanzahl TM 1577







Partikelanzahl FLN52: 11:04 - 13:08



### Untersuchungen im FFG-Projekt: Messtechnik und Simulation

1. **zeit- und stationsabhängige Messungen** der **Quarzstaubkonzentrationen** im Rahmen der verschiedenen Arbeitsprozesse **im Tunnelneubau** und der **Tunnelinstandsetzung**.
2. Ergebnisse aus **arbeitsprozessabhängigen Bewetterungsmaßnahmen** in Hinblick auf die **Ausbreitung des Quarzstaubs** sollen mit Hilfe von **Simulationsberechnungen** dargestellt werden.
3. Prüfung der im Einsatz befindlichen Sprengstoffe im Hinblick auf deren Kontamination des Ausbruchmaterials durch Nitrite und Nitrate im Hauwerk, sowie der Auswirkung von Sprengschwaden auf die Tunnelluft durch den Einsatz von Mehrgasmessgeräten.
4. Prüfung der Auswirkung der im Einsatz befindlichen Dieselgeräte auf die Tunnelluft und das Ausbruchmaterial durch Messung der Dieselmotoremissionen (DME) sowie durch Bestimmung des KW-Index im Hauwerk. Evaluierung des Einsatzes eines Förderbandbetriebs zur Verminderung der DME.

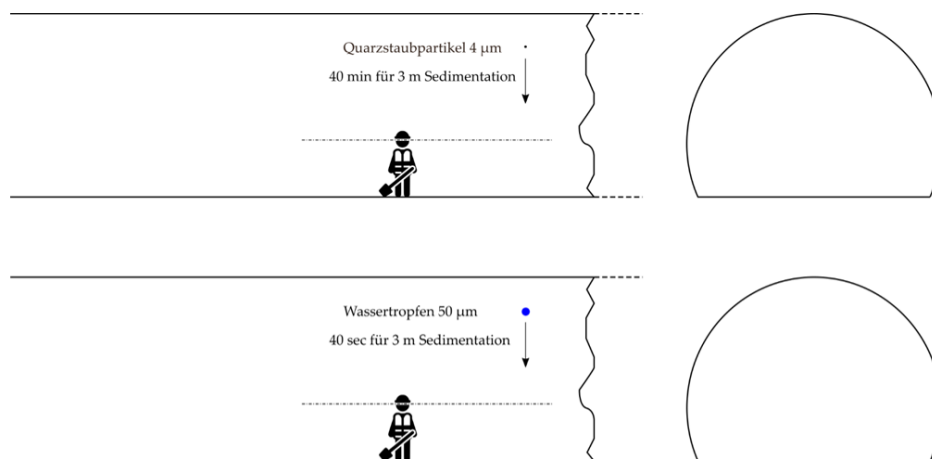


## Entwicklung eines Sprühnebelsystems zur Bindung von lungengängigem Quarzstaub

1. **Düsenuntersuchungen** in Laborumgebung, um eine geeignete Düse und Betriebsbedingungen zur Erzeugung eines Sprühnebels zu identifizieren.
2. **Staubuntersuchungen** in Laborumgebung, mit dem Ziel, ein **Testmedium – mit Quarzstaub beaufschlagte Luft** – zu erzeugen, um das **Problem des lungengängigen Quarzstaubes im Labor nachzubilden**.
3. In einem zweiten Schritt wird der **Sprühnebel** und das **Testmedium** miteinander **zusammengeführt**, um das **Partikelbindeverhalten der Wassertropfen** zu bewerten.
4. **Bau eines Sprühnebelsystems im Großmaßstab** unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse sowie der Praxisanforderungen.
5. **Evaluierung des Sprühnebelsystems** im Rahmen von Referenzsprengungen mit und ohne Sprühnebelsystem in der Untertage-Forschungsanlage ZaB Zentrum am Berg. Hierbei werden für jede Sprengung die Staubkonzentrationen an verschiedenen Orten im Tunnel gemessen und verglichen.



## Faktenlage zum aveolengängigen Quarzstaub







## Fragestellungen, an welchen aktuell gearbeitet wird

### Welche Art von Düse/Düsensystem soll eingesetzt werden?

- Welche Wassermenge steht zur Verfügung bzw. kann problemlos wieder abgeführt werden?
- Welcher Wasserdruck lässt sich problemlos zur Verfügung stellen?
- Welche Medien stehen zur Verfügung (Druckluft,...)?

### Welcher Strahlwinkel ist sinnvoll, wie ist die tatsächliche Strahlausbreitung?

### Welche Wurfweite müssen die Düsen aufweisen?

### Was ist das eigentliche Ziel am Ende?

- Nebelvorhang hinter der Sprengfront, vornehmlich für die Zeit kurz vor bis kurz nach der Sprengung?



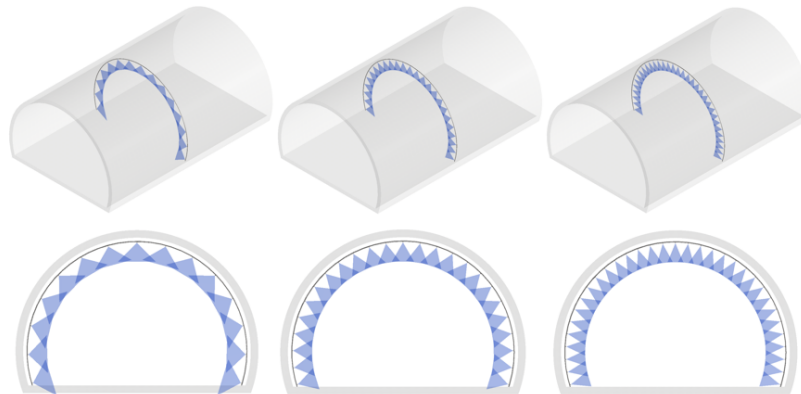
## Fragestellungen, an welchen aktuell gearbeitet wird

Düsenanzahl

90° - 15 Düsen

60° - 25 Düsen

45° - 33 Düsen



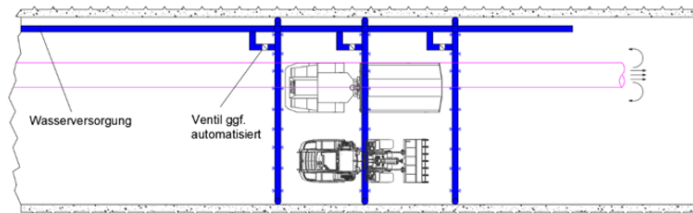
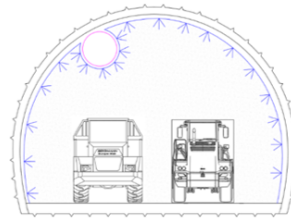
**Einfluss-Parameter:** Strahlwinkel, Düsenanzahl, Überdeckung, Wurfweite, Wurfrichtung, tatsächliches Sprühverhalten, ...



## Bau des Sprühnebelsystems im Großmaßstab am ZaB-Zentrum am Berg

### Sprühnebelsystem besteht aus

- Wassertank
- Pumpe
- Armaturen
- Automatisierung
- Düsenkranz

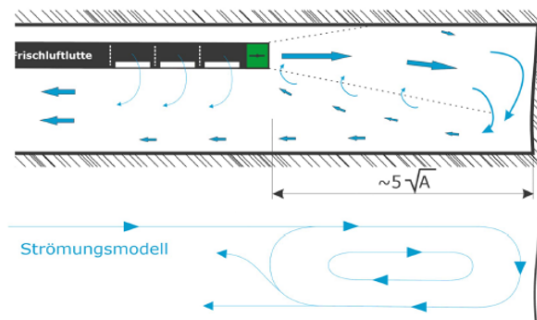


Angedachter Sprühnebelvorhang für eine Testanlage am ZaB-Zentrum am Berg

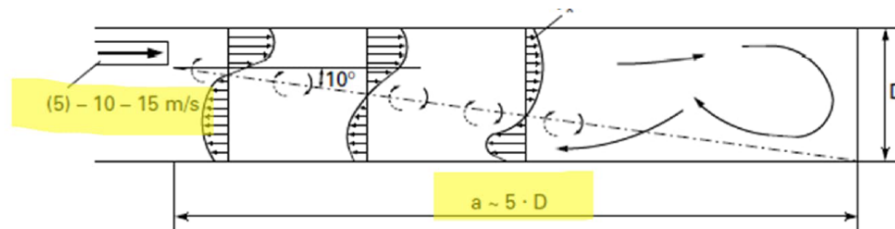


### Reichweite des Luftstrahls

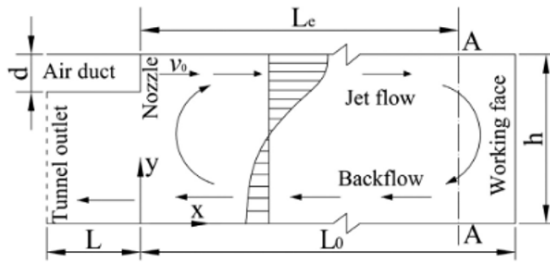
SIA 196-1998



Strömungsmodell



### Berechnung des Luttenauslaßabstandes von der Ortsbrust



$$L_c = (4-5)\sqrt{A} \quad \dots \text{Wu (1959)}$$

$$L_c = (3.75-4.67)\sqrt{A} \quad \dots \text{Voronin (1951)}$$

$$L_c = 6.67D_e \quad \dots \text{Guo (2003)}$$

$$\frac{v_{\min}}{v_0} = n \cdot \left(\frac{b}{h}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^\beta$$

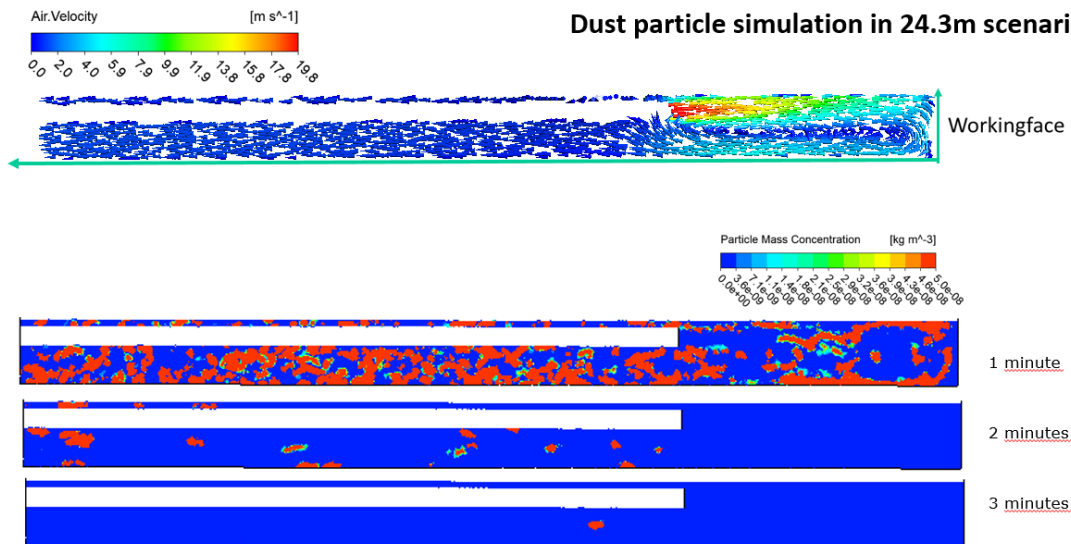
$$v_{\min} = 0.15 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 0.0263 \left(\frac{L_c}{\sqrt{A}}\right)^2 - 0.719 \frac{L_c}{\sqrt{A}} + 1.545$$

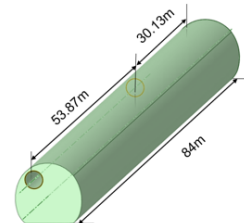
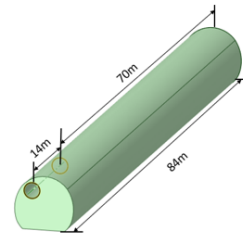
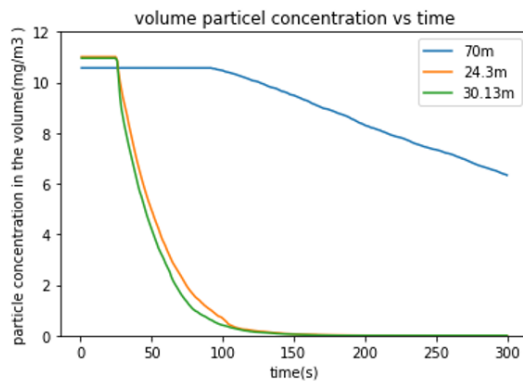
$$\beta = 0.00205 \left(\frac{L_c}{\sqrt{A}}\right)^2 - 0.0499 \frac{L_c}{\sqrt{A}} - 0.681$$

$$n = 5.0 \exp\left(-0.5 \frac{L_c}{\sqrt{A}}\right)$$

### Dust particle simulation in 24.3m scenario



## Partikelkonzentration im Volumen



## Optimierungspotenziale zwischen Bewetterung und Bedüsung

1. Optimierung von saugender und drückender Bewetterung mit VOD (Ventilation on Demand) zur Senkung der Staubkonzentration und der Sprengschwaden im Tunnel.
2. Kombination der VOD mit Entstaubungsanlage,
3. Kombination der VOD mit dem Sprühnebelsystem,
4. Kombination der VOD mit Entstaubungsanlage und Sprühnebelanlage,
5. Optimierung der Bewetterung in der Simulationsphase durch die Anordnung verschiedener Ventilationsysteme und/oder Sprühnebeleinrichtungen,
6. Erhebung der Energie- und CO<sub>2</sub> Einsparungen durch Einsatz von VOD,
7. Sammeln von Messdaten aus dem Einsatz der Entstaubungsanlage im Vergleich zum Einsatz mit dem Sprühnebelsystem,
8. Vergleich des Sprühnebelsystems mit Entstaubungsanlage auf Wirkungsgrad und Energieeffizienz,
9. Optimierung der Kombinationsmöglichkeiten aus Entstaubungsanlage und Sprühnebelsystems,
10. Bewertung des Simulationserfolges.



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**

**Glückauf!**