

# ENDBERICHT

**Projektnummer oder Projekttitlel:** Lungengängige Quarzstäube und negative Auswirkungen von Sprenggasen: Detektion und Lösungsmöglichkeiten für die Zukunft; FFG Projektnummer: 898593

**Richtwert für den Umfang:** 10 bis 20 Seiten

## 1 ZIELE UND ERGEBNISSE

- Vergleichen Sie die erreichten Ergebnisse mit den Zielen, die dem Förderungsvertrag zugrunde liegen. Wurden die Ziele erreicht?
- Beschreiben Sie „Highlights“ und aufgetretene Probleme bei der Zielerreichung.

Die im Fördervertrag zugrundeliegenden Ziele des 1. Forschungsjahres beinhalten neben dem Projektstart zeit- und stationsabhängige Messungen der Quarzstaubkonzentration im Tunnel und arbeitsprozessabhängige Bewetterungsmaßnahmen des 3. AP „Grundlagenerhebung aus Messtechnik und Simulation“ sowie die Düsenuntersuchungen in Laborumgebung des 4. AP „Entwicklung eines Sprühnebelsystems zur Bindung von lungengängigem Quarzstaub im Tunnelbau“

Das Projekt wurde mit einem Kick-off Meeting am 06.03.23 in der Tunnelforschungs- und Entwicklungsanlage „Zentrum am Berg“ der MUL unter Teilnahme aller Projektpartner gestartet.

Während dem ersten Forschungsjahr wurden zeit- und stationsabhängige Messungen der Quarzstaubkonzentration in der Tunnelluft auf Realbaustellen der Projektpartner sowie in der Forschungs- und Entwicklungsanlage „Zentrum am Berg“ durchgeführt. Als Realbaustellen sind das Pumpspeicherkraftwerk Limberg III der Porr Bau GmbH sowie der Rettungsstollen der BEMO Tunnelling GmbH in Angath in Tirol zu nennen. Während den arbeitsprozessabhängigen Messungen auf den Baustellen wurde auch der Einfluss der Bewetterung mit einbezogen. Ebenso wurden Düsenuntersuchungen in Laborbedingungen im Technikum des MCI gestartet.

Mit der Bestimmung der Rückstände aus Sprengmittel und Dieselmotoremissionen im Tunnelausbruchsmaterial, welches von den Realbaustellen stammt, wurde ein weiteres Arbeitspaket, das laut Fördervertrag erst im 2. Forschungsjahr liegt, bereits begonnen.

Somit wurden die Ziele des ersten Forschungsjahres laut Fördervertrag erreicht.

## 2 ARBEITSPAKETE UND MEILENSTEINE

### 2.1 Übersicht

Geben Sie in den folgenden Tabellen den Projektfortschritt je Arbeitspaket (bezogen auf den Förderzeitraum) und je Meilenstein an und führen Sie stichwortartig an, wo es zu Abweichungen gekommen ist.

Eine ausführlichere Beschreibung ist unter Punkt 2.2 möglich.

Tabelle 1: Fortschritt der Arbeitspakete (AP)

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1	Projektleitung	33 %	Kick-off-Meeting  Terminliche und kaufmännische Projektkoordination  Vertrags- und Kostenmanagement  kaufmännische Koordination aller am Projekt beteiligten Partner (Wirtschaft und Wissenschaft)
2	Wissenschaftliche Leitung	33 %	Koordination und Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten  Wissenschaftliche Gesamtleitung des Projektes  Planung und Steuerung der Inhalte und des Ressourceneinsatzes inklusive Zeit- und Kostenmanagements
3	Grundlagenerhebung aus Messtechnik und Simulation	33 %	
3.1	Zeit- und stationsabhängige Messungen	50 %	Im Konsortium wurde beschlossen, dass die Messungen auf den Baustellen weiterhin durchgeführt werden sollen, nicht zuletzt deshalb, um mit diesem Projekt einen guten Datenpool aufzubauen.

AP	Bezeichnung	Fortschritt	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
3.2	Arbeitsprozessabhängige Bewetterungsmaßnahmen	5 %	Aktuell wird noch an den Datengrundlagen im AP 3.1 gearbeitet und in diesem Zuge die Bewetterungsmaßnahmen aufgenommen.
3.3	Auswirkungen von Sprengstoffgasen	5 %	Vorzug aus dem 2. Forschungsjahr
3.4	Auswirkungen von Dieselmotoremissionen	0 %	Startet planmäßig in Jahr 2
4	Entwicklung eines Sprühnebelsystems zur Bindung von lungengängigem Quarzstaub im Tunnelbau		
4.1	Düsenuntersuchungen in Laborumgebung	90 %	Es wurden Düsenuntersuchungen in Laborumgebung durchgeführt, um eine geeignete Düse und Betriebsbedingungen zur Erzeugung eines Sprühnebels zu identifizieren
4.2	Staubuntersuchungen in Laborumgebung	0 %	Startet planmäßig in Jahr 2
4.3	Bau eines Sprühnebelsystems	0 %	Startet planmäßig in Jahr 2
4.4	Evaluierung	0 %	Startet planmäßig in Jahr 3

Tabelle 2: Meilensteine (MS, falls definiert)

MS	Bezeichnung	bisheriger Termin	Ergebnisse, Abweichungen, Verzögerungen
1.1	Projektstart	01/03/2023	Projektstart, keine
1.2	Konsortialvertrag	01/03/2023	Konsortialvertrag, keine
2	Wissenschaftliche Leitung	01/03/2023	Wissenschaftliche Leitung, keine

## 2.2 Beschreibung der durchgeführten Arbeiten

- Beschreiben Sie die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten aller beteiligten Partner, strukturiert nach den Arbeitspaketen.

- Konnten die Arbeitsschritte und -pakete gemäß Plan erarbeitet werden? Wo gab es wesentliche Abweichungen?

#### AP 1 „Projektleitung und AP 2 „Wissenschaftliche Leitung“

AP 1 „Projektleitung“ durch die ÖBV wurde durch den Abschluss des Konsortialvertrags sowie des Projektstarts mit einem hybriden Kick-Off Meeting im Beisein des gesamten Konsortiums am 06.03.2023 gestartet. Weitere Meetings des gesamten Konsortiums fanden am 19.06.2023 bei der ÖSBS in Leoben, am 21.09.2023 in St. Lambrecht bei der Austin Powder GmbH sowie am 19.12.2023 in Wien bei der ÖBV statt.

AP 2 „Wissenschaftliche Leitung“ wird von der MUL sowie dem MCI durchgeführt. AP 3 „Grundlagenerhebung aus Messtechnik und Simulation“ teilt sich in insgesamt 4 Teilbereiche, von denen 3.1 „Ermittlung der arbeitsprozessabhängigen Quarzstaubkonzentration im zyklischen Vortrieb“ zwar schon an 3 Standorten durchgeführt wurde, aber im Konsortium auf Grund der äußerst wertvollen Daten beschlossen wurde, diese Messungen über den gesamten Projektzeitraum weiterzuführen. 3.2 „Simulation der Bewetterung und Abgleich mit den Ergebnissen aus der Quarzstaubkonzentration“ wurde zu 5% im ersten Forschungsjahr umgesetzt. Das AP 3.1 wurde durch Messungen der Quarzstaubkonzentration und Gasemissionen an 2 Realbaustellen sowie am Zentrum am Berg abgedeckt. Bei den Realbaustellen handelte es sich um den Kraftwerkbau Limberg 3 sowie den Vortrieb des Rettungstollens in Angath in Tirol, wobei eine weitere Unterteilung in stationsabhängige Messungen sowie arbeitsschrittspezifische Messungen unternommen wurde.

#### AP3 „Grundlagenerhebung aus Messtechnik und Simulation“

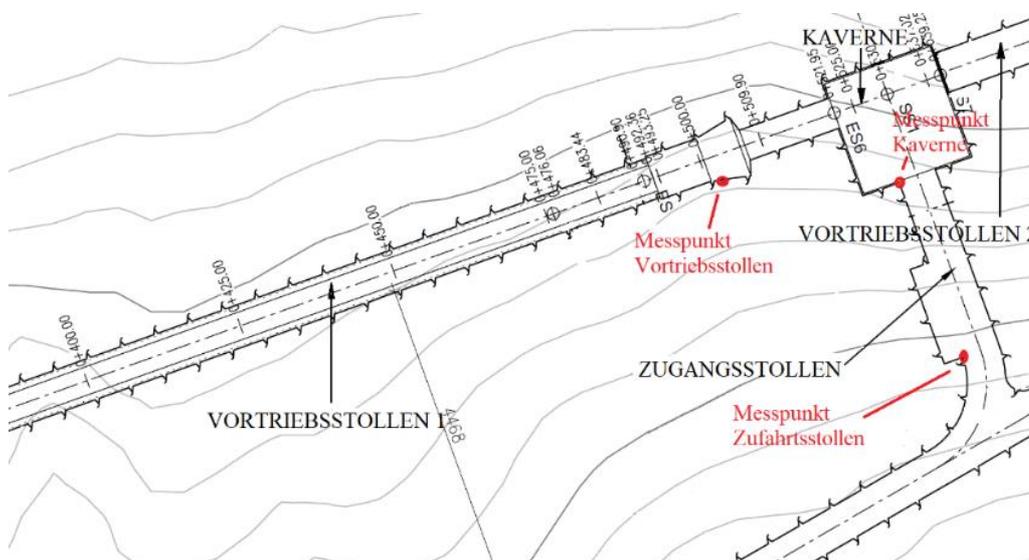
##### 3.1 „Ermittlung der arbeitsprozessabhängigen Quarzstaubkonzentration im zyklischen Vortrieb“

Durchgeführt wurden Messung der Staubkonzentration und des Quarzgehalts, der Strömungsgeschwindigkeit, der Gaskonzentration sowie der Rauigkeiten der Spritzbetonschalen, wobei letztere für Simulationen der Bewetterung notwendig sind.

Zur Ermittlung der Konzentrationen von E- (einatembaren) und A- (alveolengängigen) Stäuben wurden Messgeräte, darunter ein Aerosolspektrometer Grimm 1.108 (Fa. Grimm Aerosol Technik GmbH & Co. KG) und ein Staubmessgerät TM data (Fa. Helmut Hund GmbH) mit den Probenahmepumpen Gravikon PM 4-2 und SG10-2 (Fa. GSA Messgerätebau GmbH) eingesetzt. Der Quarzgehalt in der Staubprobe wurde mittels Röntgendiffraktometer Empyrean 3 (Malvern Panalytical Ltd.) bestimmt. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit dem Multifunktions-Lüftungsmessgerät VelociCalc Modell 9596 (TSI GmbH) bestimmt, während für die Messung der Gaskonzentration die Mehrgasmessgeräte X-am 8000 (Dräger Safety AG & Co. KGaA) bzw. MultiRAE Lite (Honeywell International Inc.) verwendet wurden. Die Rauigkeit der Spritzbetonschale wurde nach dem Sandflächenverfahren nach Kaufmann bestimmt.

### **Messungen in Limberg 3:**

Im Kraftwerksbau Limberg 3 wurden während der zweitägigen Versuche (30.-31. Mai 2023) in den Vortriebsstollen 1 und 2 stationsabhängige Messungen durchgeführt, um den Schadstoffeintrag in die Tunnelluft durch die Sprengungen zu ermitteln. Die Vortriebsstollen haben eine Höhe von 4,2 m und eine Regelquerschnittsfläche von ca. 14 m<sup>2</sup>. Nachfolgend einige Messergebnisse vom 30. Mai 2023 nach zwei Sprengungen, bei denen 107 und 294 kg Emulsions Sprengstoff „Emulex 2 plus“ an der Ortsbrust des Vortriebsstollens 1 verwendet wurden. In diesem Fall befanden sich die Messpunkte am Eingang des Vortriebsstollens 1, in der Kaverne und im Zufahrtsstollen (Abbildung 1).



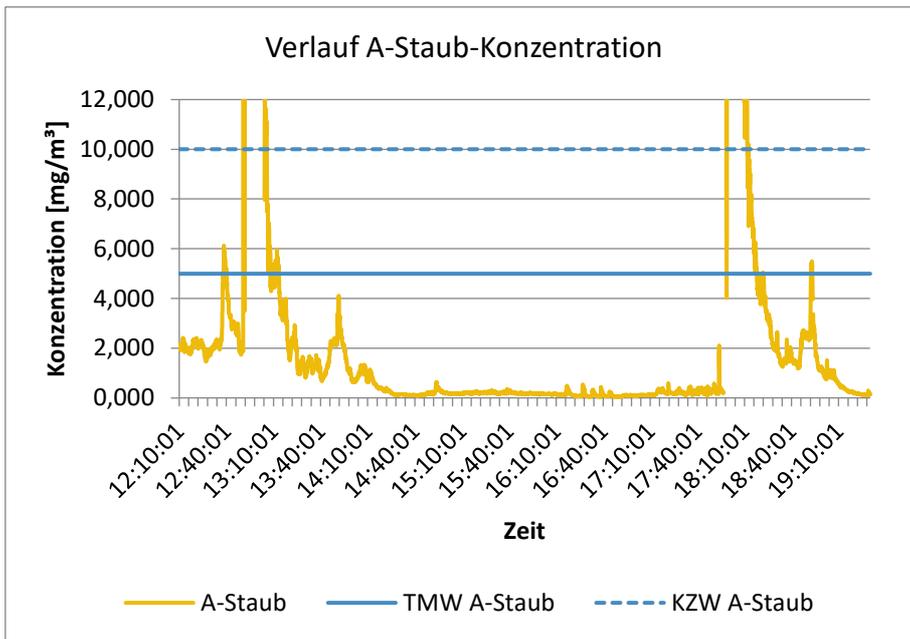


Abbildung 1: Verlauf der A-Staubkonzentration über eine Messdauer von 7,5 h im Vortriebsstollen 1.

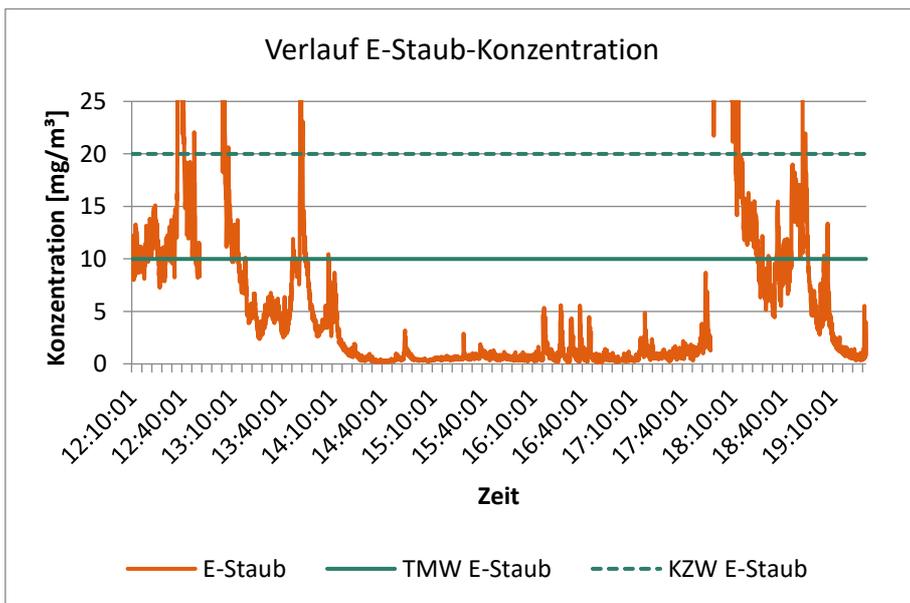


Abbildung 2: Verlauf der E-Staubkonzentration über eine Messdauer von 7,5 h im Vortriebsstollen 1.

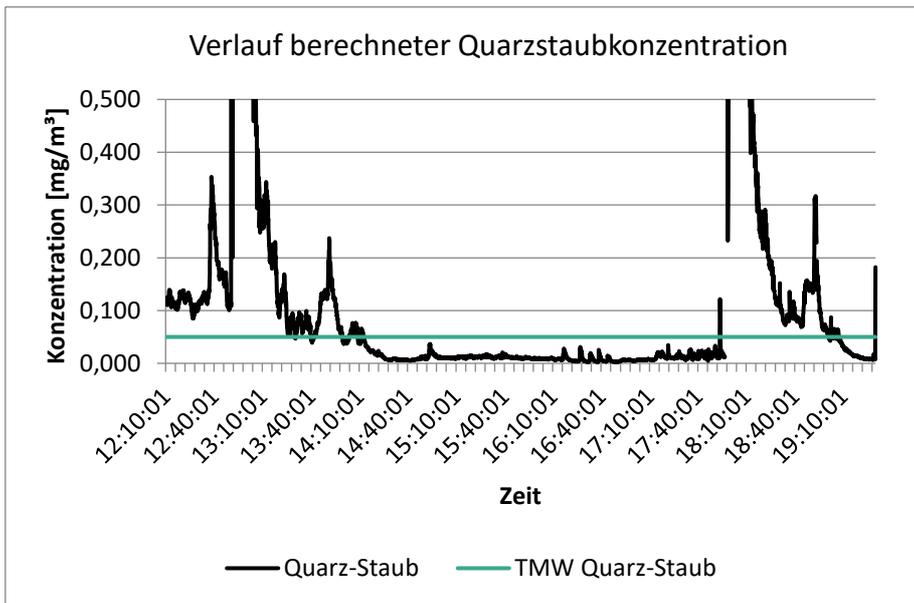


Abbildung 3: Verlauf der berechneten Quarzstaubkonzentration über eine Messdauer von 7,5 h im Vortriebsstollen 1.

In allen drei Diagrammen sind die beiden Sprengungen um 12:52 und 17:57 Uhr durch die beiden Peaks auf der Zeitleiste gekennzeichnet, wobei der Kurzzeitwert der Stäube bei beiden Ereignissen überschritten wird. Die jeweils auf die Sprengungen folgenden Peaks stellen den Schutterprozess dar. Nach Beendigung der Arbeiten sinkt die Staubkonzentration wieder unter jene des Tagesmittelwerts. In Tabelle 3 sind die jeweiligen Mittelwerte der Staubkonzentrationen den Tagesmittelwerten laut GKV 2021 gegenübergestellt.

Tabelle 3: Abgleich der mittleren Staubkonzentrationen aus Langzeitmessungen mit den Tagesmittelwerten laut GVK 2021.

	<b>E-Staub-Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>A-Staub-Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Quarzstaub-Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>
Mittelwert Messtag 1	11,77	3,16	0,182
<i>Tagesmittelwert laut GKV 2021</i>	<i>10</i>	<i>5</i>	<i>0,05</i>

In Abbildung 5 ist der Verlauf der Gaskonzentration abgebildet. Für die Konzentrationen von NO, NO<sub>2</sub>, CO und NH<sub>3</sub> ergeben sich Expositionsspitzen nach der Sprengung und während dem Schuttern.

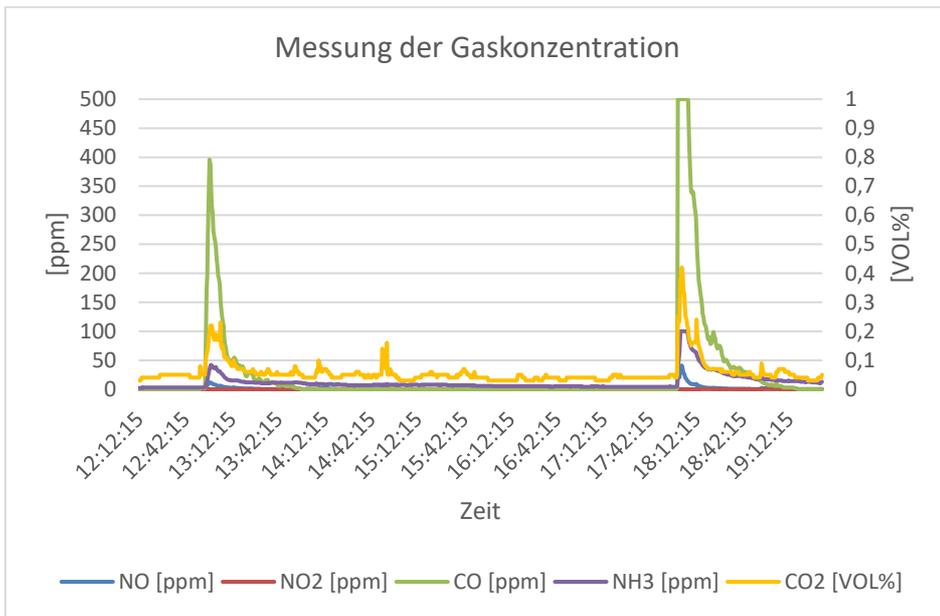


Abbildung 4: Verlauf der Konzentration diverser Gase über eine Messdauer von 7,5 h im Vortriebsstollen 1.

In Tabelle 4 sind die jeweiligen Mittelwerte der Gaskonzentrationen den Tagesmittelwerten laut GVK 2021 gegenübergestellt.

Tabelle4: Abgleich der mittleren Gaskonzentrationen mit den Tagesmittelwerten laut GVK 2021.

	<b>NO [ppm]</b>	<b>NO<sub>2</sub> [ppm]</b>	<b>CO [ppm]</b>	<b>CO<sub>2</sub> [ppm]</b>	<b>NH<sub>3</sub> [ppm]</b>
Mittelwert Messtag 1	1,56	0,05	27,07	600	12,04
Tagesmittelwert laut GKV 2021	2	0,5	20	5000	20

Zyklusschrittabhängige Messungen wurden von 26.6. bis 28.6.2023 an der Tunnelforschungs- und Entwicklungsanlage „Zentrum am Berg“ der MUL durchgeführt. In Tabelle 5 sind die jeweiligen aus den verschiedenen Arbeitsschritten resultierenden Mittelwerte der Staubkonzentrationen den Tagesmittelwerten laut GKV 2021 gegenübergestellt, von denen jener der E-Staub Konzentration bei den Spritzbetonarbeiten überschritten wird.

Tabelle 5: Abgleich der mittleren Staubkonzentrationen aus verschiedenen Arbeitsschritten mit den Tagesmittelwerten laut GKV 2021

<b>Arbeitsschritt</b>	<b>E-Staub- Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>A-Staub- Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Quarzstaub- Konzentration [mg/m<sup>3</sup>]</b>
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 (händisch)	18,2	2,1	0,026

Tagesmittelwert laut GKV 2021	10	5	0,05
-------------------------------	----	---	------

In Tabelle 6 sind die jeweiligen aus den verschiedenen Arbeitsschritten resultierenden Mittelwerte der Gaskonzentrationen den Tagesmittelwerten laut GKV 2021 gegenübergestellt, welche nicht überschritten werden.

Tabelle 6: Abgleich der mittleren Gaskonzentrationen aus verschiedenen Arbeitsschritten mit den Tagesmittelwerten der GKV 2021

Zyklusschritt	NO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	CO [ppm]	CO <sub>2</sub> [ppm]	NH <sub>3</sub> [ppm]
Gittern, Stellen des Bogens und Setzen diverser Ankertypen	0,32	0,08	0	0	0,09
Bohren mittels Bohrwagen (Nassbohrverfahren)	0,14	0,05	0	863,82	0
Spritzbetonarbeiten (händisch)	0,39	0,14	0	1543	0
Tagesmittelwert laut GKV 2021	2 (25)	0,5 (3)	20 (30)	5000	20

#### Messungen in Angath:

Am 14.11.2023 wurden auf der Baustelle Rohbaustollen Angath stationäre Staubmessungen durchgeführt. Im Zuge dieser Messungen sind die E-Staub, A-Staub sowie die Quarzstaub Konzentrationen aufgenommen worden. Am Messaufbau bzw. an den Messgeräten änderte sich im Vergleich zu den Messungen in Limberg nichts.

Auf der Baustelle sind die Messgeräte an 3 verschiedenen Tunnelmetern aufgestellt worden, um für jede Stationsmessung Ergebnisse zu bekommen und herauszufinden, wie sich die Staubkonzentrationen über die Tunnelmeter ändern (Abb. 6).

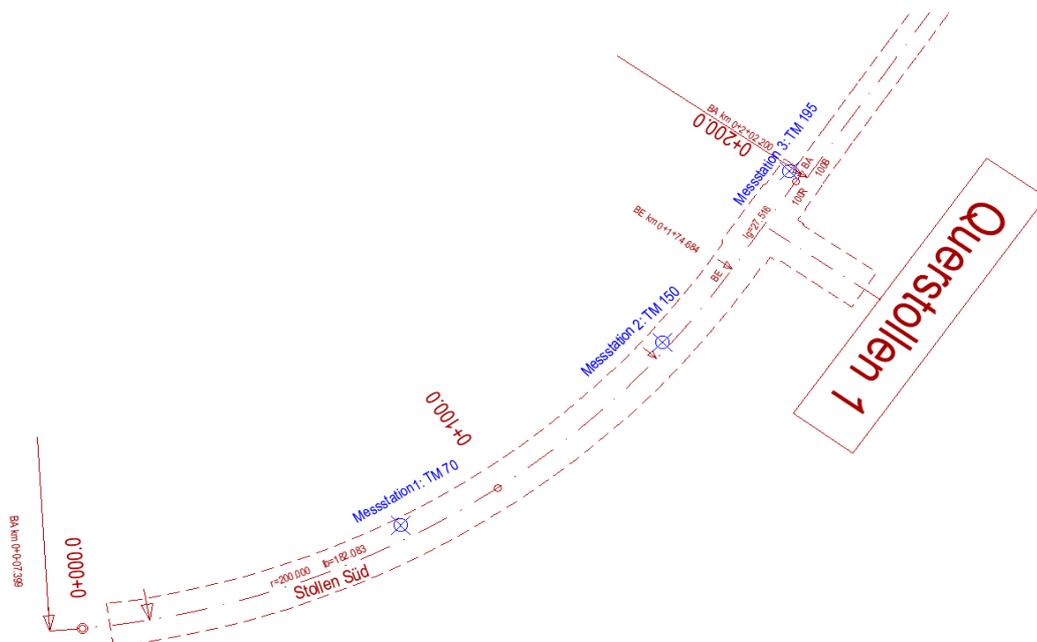


Abbildung 6: Lageplan mit den eingezeichneten Messstationen

Für alle Messstationen wurden E-Staub und A-Staub Konzentrationen gemessen. Anhand des Zyklusdiagramms konnte man den Staubkonzentrationen Arbeitsschritte zuteilen und erhielt somit eine Staubkonzentrationskurve mit der Messzeit auf der x-Achse und den dazugehörigen Zyklusschritten. Anhand des Zyklusdiagramms erkennt man, dass die Staubkonzentrationen während des Sprengens, Schutterns und Nachprofilierens bzw. Fräsens am höchsten sind.

Messstation 3 befand sich auf Tunnelmeter 195, also ca. 70 Meter hinter der Ortsbrust. Es ist auch wichtig zu beachten, dass diese Messstation sich ungefähr 5 Meter hinter dem Luttenende, also der frisch eingeblasenen Luft, befand.

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, sind die Staubkonzentrationen für den E-Staub und für den A-Staub unter den Grenzwerten der Kurzzeitwerte. Während des Aufbringens von Spritzbeton erkennt man eine leicht erhöhte E-Staub Konzentration, die aber unter den Grenzwerten liegt.

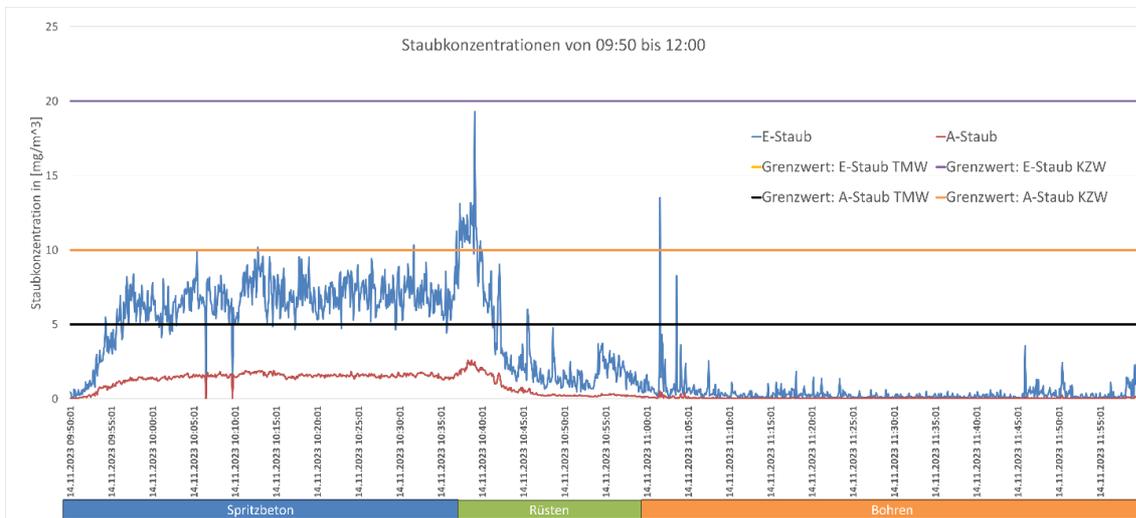


Abbildung 5: Staubkonzentration während des Auftragens von Spritzbeton und Bohren

In Abbildung 8 ist zu sehen, dass für ungefähr 5 Minuten die A-Staubkonzentration den Kurzzeitwert überschreitet. Ab dem Einschalten der Bewetterung ist ein deutliches Abflachen der Kurve deutlich.

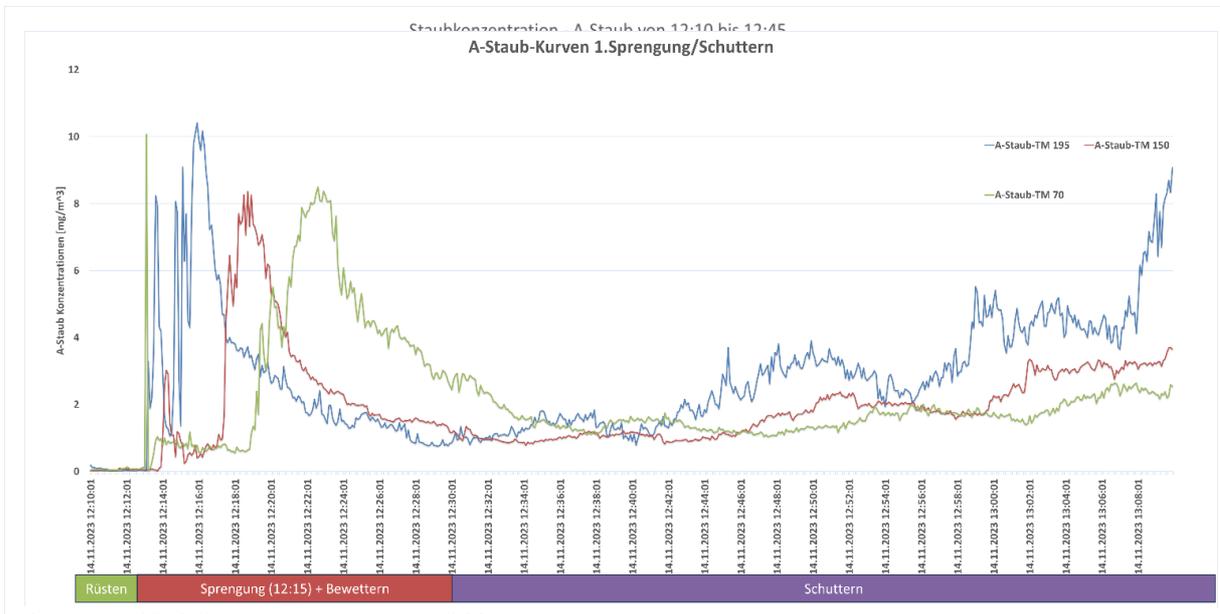


Abbildung 10: A-Staubkonzentration der 3 Messtationen  
Abbildung 8: A-Staubkonzentration nach der Sprengung

In Abbildung 9 ist die A-Staubkurve für das Schüttern und Nachprofilieren zu sehen.



Abbildung 9: A-Staubkonzentration während Schüttern und Fräsen

In Abbildung 10 ist der Verlauf der A-Staubkonzentrationen für alle 3 Messtationen dargestellt. In dieser ist klar erkennbar, wie das Maximum der Konzentrationen mit der Zeit über die Bewetterung nach hinten gedrückt wird.

### 3.2 „Simulation der Verteilung der Quarzstaubkonzentration bei unterschiedlicher Bewetterung“

Die Simulation der Verteilung der Quarzstaubkonzentration wurde mit der CFD-Software Ansys Fluent durchgeführt, wofür ein geometrisches Modell eines Tunnels inklusive Rechengitter für die Simulation der Strömungsgeschwindigkeit und der Staubkonzentration erstellt wurde. Nach der Berechnung der mittleren Geschwindigkeit im Ausströmquerschnitt der Lutte und der mittleren Staubmasse bei einer Sprengung wurde die Simulation durchgeführt, wobei die Staubpartikel als volumenlos angenommen wurden. In Abbildung 11 ist links die Simulation der Geschwindigkeits-Strömungslinien im Vortriebsstollen zu erkennen während rechts eine Geschwindigkeit-Volumenansicht der Luftströmung desselben Vortriebsstollens geboten wird. Ein Abgleich dieser Simulationsberechnungen mit den oben erwähnten Messergebnissen erfolgt in einem nächsten Schritt.

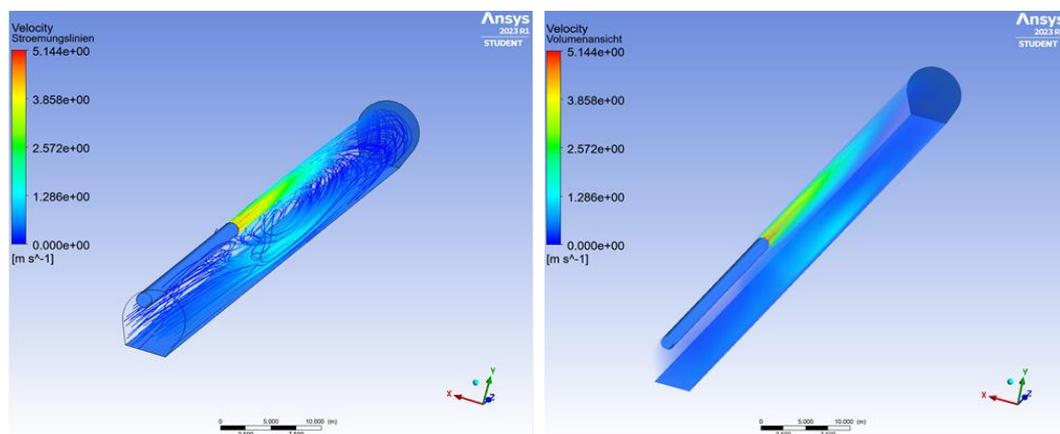


Abbildung 11: Links: Vortriebsstollen mit Strömungslinien der Bewetterung. Rechts: Vortriebsstollen mit Volumenansicht der Luftströmung

### 3.3 und 3.4 „Bestimmung der Rückstände von Sprengmittel und DME im Ausbruchmaterial“

Während der Messungen auf der Kraftwerksbaustelle Limberg 3 als auch im Vortrieb des Rettungsstollens in Angath in Tirol wurden Proben des Haufwerks genommen, welche anschließend auf Rückstände von Sprengmittel und Dieselmotoremissionen im zertifizierten Labor des Lehrstuhls für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der MUL analysiert wurden. Dabei wurde sowohl Feststoff als auch Eluat der Proben untersucht, wie in der Deponieverordnung 2008 vorgegeben.

Des Weiteren lieferte die BBT SE Beurteilungsnachweise von vorhergegangenen Vortrieben, deren Daten ebenfalls im Rahmen dieses Projekts verwendet werden.

Die Unterscheidung der Herkunft von  $\text{NO}_x$  Verbindungen, wie z.B. Nitrat und Nitrit, ist oft nicht eindeutig, da sie sowohl von Sprengstoffen als auch von DME stammen können.

In Tabelle 7 erfolgt eine Übersicht über die gewonnenen Daten und liefert gleichzeitig einen Abgleich der Analyseergebnisse mit den Grenzwerten der Qualitätsklasse A2-G gemäß Bundesabfallwirtschaftsplan 2017. Diese ist als „Verwertung als Erdbaumaßnahme und nicht landwirtschaftliche Bodenrekultivierung im und unmittelbar über dem Grundwasser“ definiert und dient somit als Grundlage für etwaige Wiederverwertung von Ausbruchmaterialien. Grüne Werte liegen unterhalb des Grenzwertes, rote darüber, während orange Werte genau dem Grenzwert entsprechen. Auffallend ist die Grenzwertüberschreitung des pH-Werts bei gleichzeitig überwiegender Einhaltung anderer Grenzwerte. Dies ist wahrscheinlich auf den Eintrag von Spritzbeton als basisches Stützmittel in das Ausbruchmaterial zurückzuführen. Die Ergebnisse der Proben aus Angath fehlen, da die Analysen noch nicht abgeschlossen sind.

Tabelle 7: Ergebnisse der Analyse von Rückständen von Sprengmitteln und DME inkl. Abgleich mit den Grenzwerten der QK A2-G des BAWP 2017.

Herkunft	Feststoff				Eluat					pH-Wert
	Bestimmung DME				Bestimmung DME		Bestimmung Sprengmittel			
	TOC	KW-Index	PAK (16)	PAK (Benz.)	TOC	KW-Index	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[-]	
BBT 4.1	n.a	11	n.a	n.a	13	n.a	0,95	<0,10	<20,0	9,93
BBT 4.1	n.a	<10,0	n.a	n.a	<10,0	n.a	1,6	<0,10	<20,0	8,73
BBT 4.1	n.a	<11,0	n.a	n.a	12	n.a	1,6	<0,10	33	9,77
BBT 4.1	2300	14	<0,32	<0,020	23	<1,0	2,8	<0,10	<20,0	9,71
BBT 4.4	n.a	<10,0	n.a	n.a	26	n.a	1,4	<0,10	<20,0	10,36
BBT 4.4	n.a	<10,0	n.a	n.a	<10,0	n.a	2,3	<0,10	<20,0	9,69
BBT 4.4	<1000	<10,0	<0,32	<0,020	19	<1,0	1,9	<0,10	<20,0	9,88
BBT 4.4	n.a	<10,0	n.a	n.a	37	n.a	1,1	<0,10	<20,0	9,24
BBT 4.8	n.a	<10,0	n.a	n.a	<10,0	n.a	1,1	<0,10	<20,0	9,11
BBT 4.8	n.a	27	n.a	n.a	13	n.a	1,4	<0,10	<20,0	9,79
BBT 4.8	n.a	<10,0	n.a	n.a	<10,0	n.a	1,2	<0,10	<20,0	9,84
BBT 4.8	1500	<10,0	<0,32	<0,020	49	<1,0	1,6	<0,10	<20,0	9,3
Limberg 3	5000	2700	<0,05	<0,025	50,6	<0,54	3,1	21	490	8,8

#### AP 4 „Entwicklung eines Sprühnebelsystems zur Bindung von lungengängigem Quarzstaub im Tunnelbau“

Da die Arbeitspakete AP4 und AP5 erst nach der Grundlagenermittlung wirklich aktiv werden, wurde seitens der CFT GmbH bis dato zu den allgemeinen Gemeinschaftsarbeiten und gemeinsamen Sitzungen zur Abstimmung der Vorgehensweisen beigetragen. Hierbei wurde das Fachwissen und die Praxiserfahrung der CFT mit ihren Nassentstaubungsanlagen, sowie der Korfmann Lufttechnik über die bedarfsgerechte Bewetterung in die Diskussionen zur Vorgehensweise und Umsetzung der Praxistests und Messungen eingebracht.

Mit dem Schritt der konkreten Auswahl an Düsenmaterial fand ein Austausch von Fachliteratur, wissenschaftlichen Aufzeichnungen und Veröffentlichungen mit dem MCI statt. Ebenfalls wurden die Kriterien der von der CFT genutzten Düsen bei Nassentstaubern ausgetauscht. Hierbei wurde festgestellt, dass auf dem europäischen Markt keine Untersuchungen zu einzelnen Düsen seit etwa 2005 veröffentlicht wurden.

Einzelbeispiel einer verwendeten Düse der Fa. Lechler (Abb. 12):

Zur möglichen Wechselwirkung des Sprengdruckes auf die Wassertropfen, konnte auf eine Arbeit des Fraunhofer Institutes verwiesen werden.

Weitere Unterstützung gab es in Abstimmungsgesprächen und Kommentaren zu einzelnen Themen wie dem Aufbau einer Bedüsungsanlage.



Abbildung 12: Düse der Fa. Lechler

Das AP 4.1, das im ersten Forschungsjahr bearbeitet wurde, widmete sich der Untersuchung von Düsen in Laborumgebung. Hierfür wurden zuerst in Abstimmung mit den Projektpartnern praxisgerechte Rahmenbedingungen definiert, welche das Sprühnebelssystem im Tunnelbau erfüllen soll. Zusammengefasst lauten diese Festlegungen:

- 5 m<sup>3</sup> Behälter und Sprühnebelssystem so nahe wie möglich an der Ortsbrust
- 16 Düsen
- 2,5 min Betriebszeit (0,5 min vor der Sprengung bis 2 min nach der Sprengung)
- 120 m<sup>3</sup>/h
- 10 bar Betriebsdruck

Aus diesen Festlegungen ergab sich eine Eingrenzung der in Frage kommenden Düsen (s. Tabelle 8) sowie des hierfür notwendigen Gesamtsystems (siehe Abbildung 13).

Tabelle 8: Eingrenzung der Düsenauswahl und Volumenstrombereich bei unterschiedlichen Vordrücken

Düsenart	Lechler Nr.	V bei 2 bar (L/min)	V bei 10 bar (L/min)
Flachstrahl	632	50	112
	633	25	56
	616	40	89
	617	63	140
	664	63	140
Hohlkegel	304	27	60
	306		
	307		
	373	63	140
Vollkegel	490	50	95
	491		

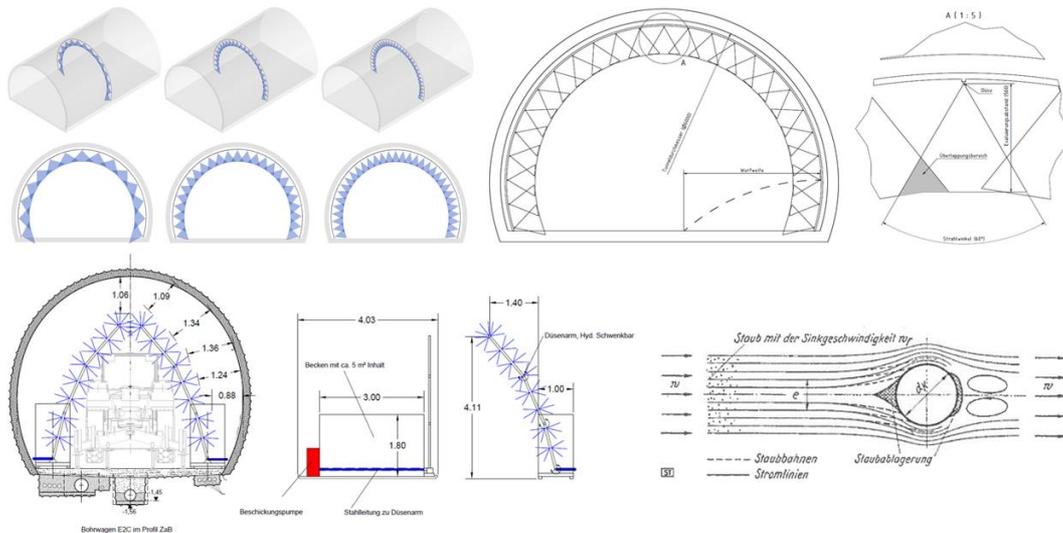


Abbildung 13: Grundsätzliche Überlegungen zum Sprühnebelssystem (Düsenanordnungen, Sprühwinkel, Anzahl, Schnittpunkte)

Auf Basis der oben gezeigten Überlegungen wurde ein Versuchsstand (siehe Abbildungen 14 und 15) entwickelt, der die freie Auswahl von Betriebspunkten für einzelne Düsen ermöglicht. Diese Düsen sprühen durch das Messfeld eines Laserbeugungsmesssystems, mit welchem letztlich die Tröpfchengrößenverteilungen an einem bestimmten Punkt im Sprühnebel gemessen werden können.

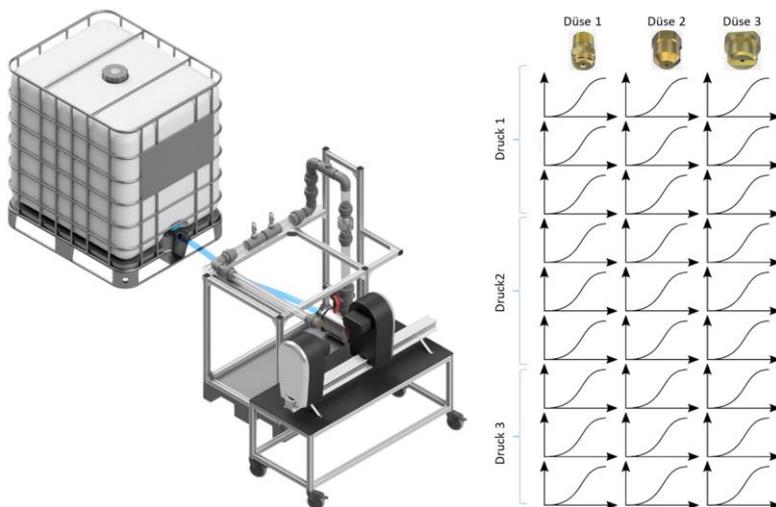


Abbildung 14: Versuchsaufbau (links) mit Vorlagebehälter, Versuchsstand (Pumpe, Sensorik, Bedienelemente, Fittinge, Düse) und Laserbeugungsmesssystem zur Tröpfchengrößenanalyse. Versuchsplan und zu erwartendes Ergebnis (rechts).



Abbildung 15: Düsen (links), Inbetriebnahme des Versuchsstandes (Mitte) und Ansicht Versuchsstand (rechts)

### 3 PROJEKTTEAM UND KOOPERATION

- Gab es wesentliche Veränderungen im Projektteam (interne Schlüsselmitarbeiter\*innen und Drittleister)?
- Bei Konsortialprojekten und Forschungsk Kooperationen: Beschreiben Sie die Zusammenarbeit im Konsortium.

Die BBT-SE ist nun durch Andrea Lussu und Martin Schöll vertreten. Andrea Lussu besetzt die Position des aus der BBT-SE ausgeschiedenen Erwin Reichel.

Am Lehrstuhl für Subsurface Engineering folgt Herrn Manuel Kühbacher Herr Alexandros Evangelatos nach.

### 4 WIRTSCHAFTLICHE UND WISSENSCHAFTLICHE VERWERTUNG

- Beschreiben Sie die bisherigen Verwertungs- bzw. Weiterverbreitungsaktivitäten. Ist eine Verwertung möglich?
- Listen Sie Publikationen, Dissertationen, Diplomarbeiten sowie etwaige Patentmeldungen, die aus dem Projekt entstanden sind, auf.
- Welche weiterführenden F&E-Aktivitäten sind geplant?
- Wie werden die im Projekt geschaffenen Prototypen weiterverwendet?

Masterarbeit Paul Heiling: Quarzstaub im Tunnelbau (abgeschlossen im August 2023).

Aktuell laufen 2 weitere Masterarbeiten und 2 Dissertationen am Lehrstuhl für Subsurface Engineering.

Vorgesehene Publikationen am World Tunnel Congress in Shenzhen, China (21. – 24. April 2024) und am Österreichischen Tunneltag in Salzburg (9. Oktober 2024)

## 5 ERLÄUTERUNG ZU KOSTEN UND FINANZIERUNG

Beschreiben und begründen Sie wesentliche aufgetretene Abweichungen vom Kostenplan.

Es gibt bzw. es sind keine Änderungen geplant.

## 6 PROJEKTSPEZIFISCHE SONDERBEDINGUNGEN UND AUFLAGEN

Falls im Förderungsvertrag projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen vereinbart wurden, gehen Sie bitte konkret auf die Erfüllung der noch offenen Sonderbedingungen und Auflagen ein. Schriftliche Nachweise können im eCall hochgeladen werden.

Besondere Förderungsbedingungen:

Die Projektergebnisse sind zu veröffentlichen. Die Veröffentlichungsschrift ist dem Endbericht beizulegen.

Über alle laufenden FFG-Projekte wird in der ÖBV eigenen Veröffentlichung BAUTECHNIK berichtet. Alle Endberichte werden zusätzlich unter [www.bautechnik.pro](http://www.bautechnik.pro) veröffentlicht.

## 7 MELDUNGSPFLICHTIGE EREIGNISSE

Gibt es besondere Ereignisse rund um das geförderte Projekt, die der FFG mitzuteilen sind? Beispielsweise

- Änderungen der rechtlichen und wirtschaftlichen Einflussmöglichkeiten bei den Fördernehmer\*innen,
- Insolvenzverfahren,
- Ereignisse, die die Durchführung der geförderten Leistung verzögern oder unmöglich machen,
- Weitere Förderungen für die im Projekt abgerechneten Kosten (Mehrfachförderung).

Es gibt keine meldungspflichtigen Ereignisse.