Dipl.-Ing. (FH)* Bergtechnik und Bauingenieurwesen *Manfred Krämer

Von der IHK Saarland öffentlich bestellter vereidigter Sachverständiger
für über- und untertägige Fels- und Gewinnungssprengungen

1. Ausfertigung
Archiv: 06/2025
elektronische
Fassung

Ergänzungsgutachten zum

sprengtechnischen Immissionsgutachten Dipl.-Ing. Detlef Wendt
vom 28.08.2024
über die zu erwartenden Sprengimmissionen aus
den Sprengungen im geplanten Neuaufschluss
des untertägigen Gewinnungsbetriebes der
Knauf Gips KG in Altertheim

Ergänzung

Erschütterungen im Nahbereich durch untertägige Gewinnungssprengungen

Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser

---

Von der Industrie- und Handelskammer öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
Dipl.-Ing.(FH) Manfred Krämer
Über- und untertägige Fels- und Gewinnungs-sprengungen

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines 3

2. Veranlassung 4

3. Erschütterungen im Nahbereich durch untertägige Gewinnungssprengungen . 4

3.1. Gegenstand der Untersuchung 4

3.2. Grundlagen der Bewertung 4

3.3. Gesamtbewertung / Fazit- Erschütterungen durch untertägige Gewinnungssprengungen 11

4. Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser 13

4.1. Gegenstand der Untersuchung 13

4.2. Grundlagen der Bewertung 13

4.3. Bewertung der eingesetzten Sprengstoffe 13

4.4. Mögliche Sprengstoffsorten 13

- Patronierte Sprengstoffe 13
- Lose Emulsionssprengstoffe 13
- ANFO-Sprengstoffe 14

4.5. Emissionen aus der Detonation (Sprengschwaden) 14

4.6. Rückstände nicht umgesetzter Sprengstoffe 14

4.7. Mögliche Reaktionspfade im Haufwerk 14

4.8. Gesamtbewertung / Fazit- Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser 15

1. Allgemeines

Auftraggeber: Knauf Gips KG
Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen
vertreten durch:
Herrn Jonas Heinzler, Projektingenieur Bergbau KCNE
Herrn Jakob Herrmann, Projektingenieur Bergbau KCNE

Objekt: Neuaufschluss eines untertägigen Gewinnungsbetriebes auf Kalziumsulfatgestein (Gips und Anhydrit) in Altertheim

Auftrag: Ergänzung des bestehenden sprengtechnischen Gutachtens um die Punkte

1. Erschütterungen im Nahbereich durch untertägige Gewinnungssprengungen
2. Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser.

Grundlage: Beauftragung und zur Verfügung gestellte Unterlagen der Knauf Gips KG, Beauftragung Herr Heinzler per E-Mail am 18.06.2025

Sachverständiger: Dipl.-Ing. Manfred Krämer
Auf der Hell 6
66606 St.Wendel

Tel. : 06851 / 806569
Fax. : 06851 / 806570
E-Mail: manfredkraemer@t-online.de

St.Wendel, den 29.08.2025

Inhalt: 15 Seiten

Anlagen: keine

2. Veranlassung

Die Knauf Gips KG plant im Raum Altertheim (Bayern) das untertägige Bergwerk „Altertheimer Mulde“ zum Abbau von Kalziumsulfatgestein (Gips/Anhydrit) und hat im November 2024 den neu gefassten Antrag für die Zulassung des bergrechtlichen Rahmenbetriebsplans mit integriertem Hauptbetriebsplan vorgelegt. Das Bergamt Nordbayern hat Knauf gebeten, eine Ergänzung zum Sprenggutachten von Herrn Dipl.-Ing. Wendt öbuv Sachverständiger hinsichtlich der folgenden Aspekte beizubringen:

Erschütterungen im Nahbereich durch untertägige Gewinnungssprengungen (Punkt 3)

Eintrag von Schadstoffen in das Grubenwasser durch Sprengungen (Punkt 4)

3. Erschütterungen im Nahbereich durch untertägige Gewinnungssprengungen

3.1. Gegenstand der Untersuchung

Gegenstand der Untersuchung ist die Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten im Nahbereich des Streckenquerschnitts infolge der sprengtechnischen Gewinnung von Gips im Bergwerk Altertheim.

3.2. Grundlagen der Bewertung

Im Nahfeld von Bohrlochsprengungen entstehen hohe Schwinggeschwindigkeiten, die mithilfe von verschiedenen Prognoseformeln abgeschätzt werden können.

Der hier getroffene modellhafte Ansatz geht von einer Initiierung der Ladungen im Sohlbereich mit dem Sprengen des Einbruchs aus.

Die Prognoseformel nach KOCH ist für Erschütterungsprognosen durch Sprengungen im Bereich bis ca. 100m bewährt. Im Nahbereich von 3 bis ca. 12m ist diese jedoch anzupassen und mit adäquaten Prognoseformeln zu überprüfen.

Die Prognoserechnung nach ACSE-Guide (Holmberg) gilt für die Grenzbetrachtung der Stoßwelle zur seismischen Welle. Dabei fließen die Sprengenergie (Joule) sowie die gesteinsspezifischen Parameter (Dichte, Schallgeschwindigkeit) mit ein. Die Holmberg-Formel (Ansatz Punktquelle) ist die, für den Nahbereich (3 – ca. 12 m), anzusetzende Prognoseformel.

Die Bewertung erfolgt auf Grundlage der bereits getroffenen Aussagen im „Sprengtechnischen Immissionsgutachten über die zu erwartenden Sprengimmissionen aus den Sprengungen im geplanten Neuaufschluss des untertägigen Gewinnungsbetriebes der Knauf Gips KG in Altertheim“, Dipl.-Ing. Detlef

Wendt, 28.08.2024. Dabei wurde eine maximale Lademenge pro Zündzeitstufe (Lademenge/ZzSt) aufgrund konservativer Annahmen von **24kg/ZzSt** ermittelt.

Für die Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten wurde hier die Prognoseformel nach KOCH gewählt. Diese ist für den Nahbereich von 10 – 100m die zutreffendste Prognoseformel. Abstandsspezifische Geltungsbereiche für Prognoseformeln werden allgemein nicht angegeben. Die Annahmen beruhen auf einer großen Datengrundlage und den Erfahrungswerten des Verfassers. Außerdem werden diese durch Gegenrechnungen mit Berechnungsgrundlagen aus der Literatur und Forschung verifiziert.

Die Frequenz im unmittelbaren Nahbereich der Sprenganlage beträgt mindestens 50Hz.

Für eine Vorausermittlung der zu erwartenden Einwirkungen durch Sprengungen, kann aufgrund der bisherigen Erkenntnisse die Abstands-Mengen-Beziehung in ihrer allgemeinen Form angewandt werden:

$$v_i = k \cdot \left(\frac{L}{L_0}\right)^b \cdot \left(\frac{R}{R_0}\right)^{-m} \qquad (1)$$

Es bedeuten:

v	=	max. Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
k, b, m	=	empirisch ermittelte Kennwerte, die ihre Größe ändern können
L_0	=	1 kg (Bezugsgröße)
L	=	Sprengstofflademenge je Zündzeitstufe
R_0	=	1m (Bezugsgröße)
R	=	Abstand der Sprengstelle zum Messort (m)

<u>Prognose</u>

Für die Prognose der Schwinggeschwindigkeiten durch Sprengerschütterungen wird die allgemeine Form als Berechnungsgrundlage zu Grunde gelegt:

$$v = kL^b \; R^{-m} \qquad (2)$$

Es bedeuten:

V	=	Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
k, b, m	=	empirisch ermittelte Kennwerte, die ihre Größe ändern können

L = Lademenge je Zündzeitstufe (kg/ZzSt)

R = Abstand der Sprengstelle zum Messort (m)

(A) Berechnung nach „KOCH“

$$v = 100L^{0,50}R^{-1} \quad (3)$$

Die gesteinsspezifischen k-Faktoren variieren stark mit dem Abstand zum Immissionsort. Im Folgenden wird der gesteinsspezifische, dimensionslose k-Faktor von 100 für die Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten im Nahbereich von 3-12m verdoppelt.

Abstand zur Ladung	**KOCH**
	k= 200
	24 kg/ZzSt.
3,00 m	327 mm/s
4,00 m	245 mm/s
5,00 m	196 mm/s
6,00 m	163 mm/s
7,00 m	140 mm/s
8,00 m	122 mm/s
9,00 m	109 mm/s
10,00 m	98 mm/s
11,00 m	89 mm/s
12,00 m	82 mm/s

Tabelle 1. Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten nach KOCH mit einem K-Wert von 200 und einer Lademenge von 24 kg/ZzSt **Ansatz Punktquelle**

(B) Betrachtung aufgrund einer Datengrundlage bei Tunnelsprengungen

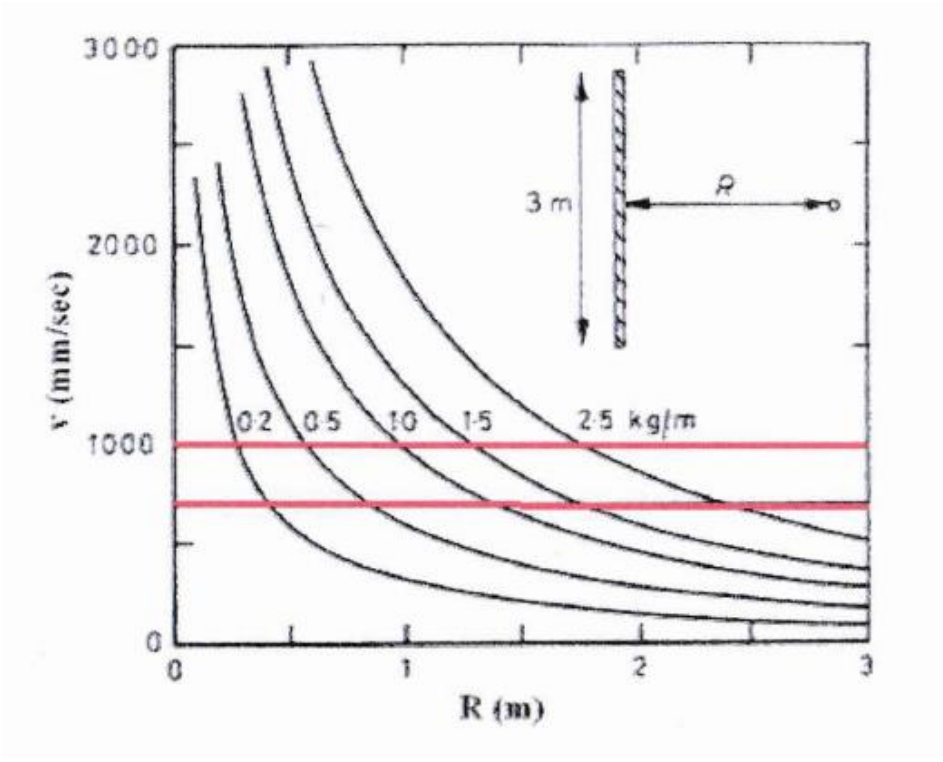

Abbildung 1 Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten bei Tunnelsprengungen aufgrund von Messergebnissen. **Ansatz Linienquelle** für E-Modul=60GPa; ρ=2.600kg/m³, cp=4.800m/s. (Quelle: Persson, Holmberg et al. (1993), modified Blasting & Engineering)

(C) Berechnung nach Holmberg (ASCE) als Linienquelle

$$v_L = 0{,}00465 * c^2 \sqrt{\frac{\rho}{P_0}} * \left(\frac{E}{\rho c^2 R^2}\right)^{0{,}734}$$

v_L	=	Schwinggeschwindigkeit (m/s)
c	=	Schallgeschwindigkeit im Medium (hier 2.780 m/s)
ρ	=	Gesteinsdichte (hier 2.330 kg/m³)
R	=	Abstand Bohrloch Immissionsort (m)
E/L	=	Energie Sprengstoff pro Lademeter
		(ANFO = 3,7MJ/kg, bei 1,1 kg/m ergeben sich 4,1 MJ/m)
P_o	=	Umgebungsdruck (hier 101.350 Pa)

Quelle: ASCE ,ALA, FEMA : Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe ; USA July 2001, Holmberg R. (Editor) : Explosives and Blasting Technique ,BALKEMA ;NL 2003

Aus der Berechnung nach ASCE, ergeben sich mit diesen Parametern folgende Schwinggeschwindigkeiten:

Abstand zur Ladung	**Holmberg**
	Linie
	1,10 kg/m
	BLd=40mm
3,00 m	2485 mm/s
4,00 m	1629 mm/s
5,00 m	1174 mm/s
6,00 m	898 mm/s
7,00 m	716 mm/s
8,00 m	589 mm/s
9,00 m	495 mm/s
10,00 m	424 mm/s
11,00 m	369 mm/s
12,00 m	325 mm/s

Tabelle 2. Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten nach Holmberg mit Lademetergewicht von 1,1 kg/m; BLd=Bohrlochdurchmesser - **Ansatz Linienquelle**

(D) Berechnung nach Holmberg (ASCE) als Punktquelle

$$v_P = 0{,}00489 * c^2 \sqrt{\frac{\rho}{P_0}} * \left(\frac{E}{\rho c^2 R^3}\right)^{0{,}79}$$

v_L = Schwinggeschwindigkeit (m/s)

c = Schallgeschwindigkeit im Medium (hier 2.780 m/s)

ρ = Gesteinsdichte (hier 2.330 kg/m³)

R = Abstand Bohrloch Immissionsort (m)

E/L = Energie Sprengstoff pro Bohrloch

(ANFO = 3,7MJ/kg, bei 4 kg/Bohrloch ergeben sich 14,8MJ/Bohrloch)

P_o = Umgebungsdruck (hier 101.350 Pa)

Quelle: ASCE ,ALA, FEMA : Guidelines for the Design of Buried Steel Pipe ; USA July 2001, Holmberg R. (Editor) : Explosives and Blasting Technique ,BALKEMA ;NL 2003

Aus der Berechnung **nach ASCE,** ergeben sich mit diesen Parametern folgende Schwinggeschwindigkeiten:

Abstand zur Ladung	**Holmberg** **Punktquelle** **4 kg/BL** BLd=40mm
3,00 m	1503 mm/s
4,00 m	760 mm/s
5,00 m	448 mm/s
6,00 m	291 mm/s
7,00 m	202 mm/s
8,00 m	147 mm/s
9,00 m	111 mm/s
10,00 m	87 mm/s
11,00 m	69 mm/s
12,00 m	56 mm/s

Tabelle 3. Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten nach Holmberg mit Lademenge pro Bohrloch = 4kg; BL=Bohrloch - **Ansatz Punktquelle**

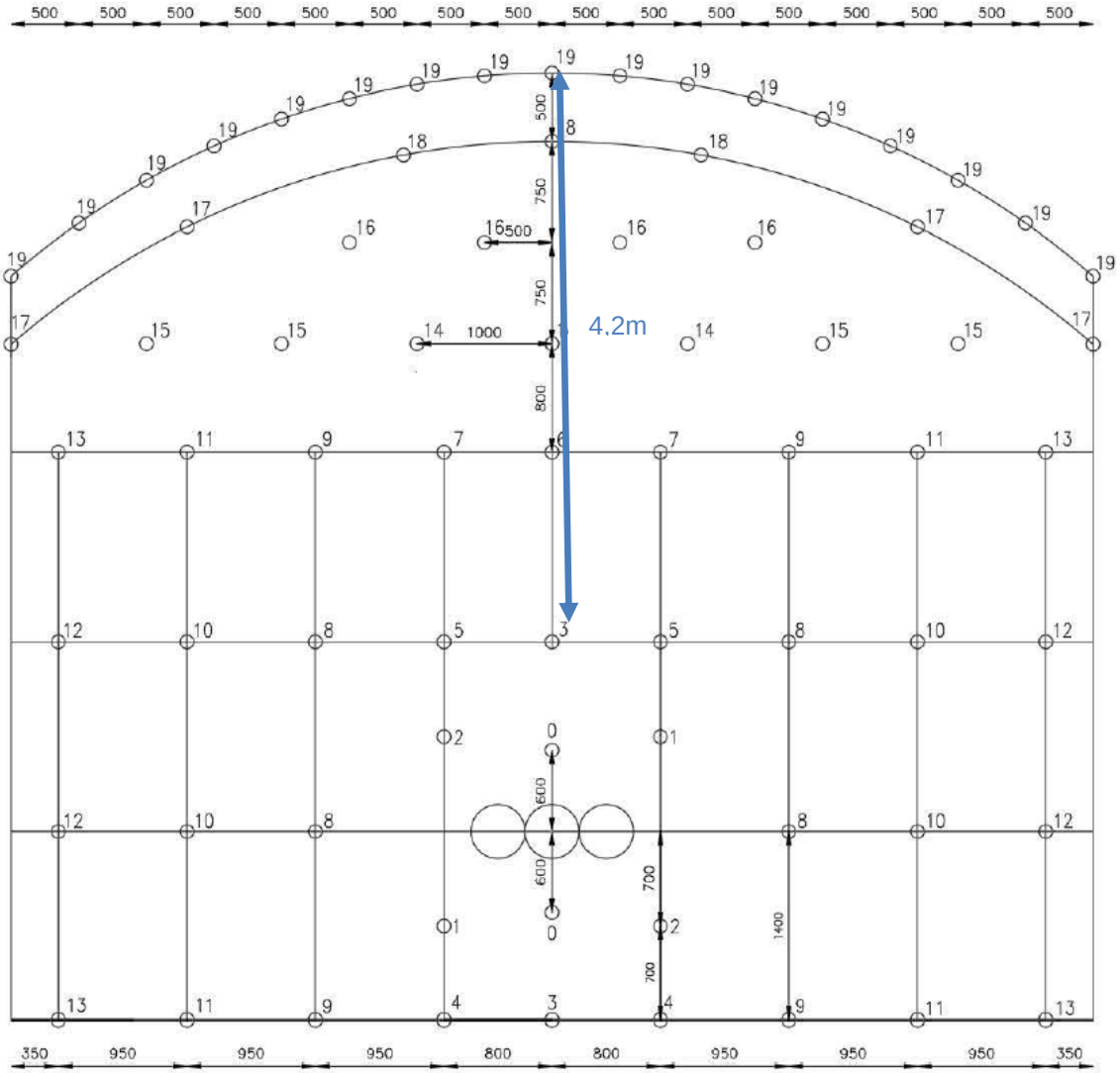

Abbildung 2 Geplantes Sprengleitbild, blauer Pfeil markiert den Abstand Einbruch/Firste (Quelle: Ercosplan Ingenieurgesellschaft)

Es ist geplant einen Bohrlochdurchmesser von 40mm für die Sprengbohrlöcher abzubohren. Daraus ergibt sich ein Lademetergewicht von **1,10kg/m** für den Einsatz von eingeblasenem ANFO-Sprengstoff (ANFO = AmmoniumNitratFuelOil), wie er in der Praxis in trockenen Bohrlöchern vorgesehen ist. In ggf. nassen Bohrlöchern werden patronierte, wasserfeste Sprengstoffe eingesetzt. Das Lademetergewicht der patronierten Sprengstoffe mit 30mm Durchmesser ist < 1,0 kg/m.

Ebenso wird bei der Berechnung der Punktquelle nach Holmberg (D) die Überschneidungsfreiheit der pyrotechnischen Zünder als größer 8ms eingestuft. Damit ergibt sich die Betrachtung der Lademenge pro Bohrloch (kg/BL) und nicht pro Zündzeitstufe. Im Nahbereich ist dies ausschlaggebend, da die hier die Grenze zwischen der Stosswelle (Zertrümmerung) und der seismischen Welle (elastische Verformung) dezidierter betrachtet werden muss.

Der Abstand vom Einbruch der Zeitstufen 0 - 5 zu der TSW-Schicht bzw. der Firste beträgt ca. 4,2 m (vgl. Abbildung 2). Dies liegt darin begründet, dass die nachfolgenden Zeitstufen auf die freie Fläche des Einbruchs wirken und somit nur bedingt zu der prognostizierten maximalen Schwinggeschwindigkeit beitragen.

Die Lademenge pro Bohrloch generiert sich bei einem Lademetergewicht von 1,10kg/m, einer Abschlagslänge von 5m und einem Endbesatz von 1,5m zu 3,85kg/BL, aufgerundet zu 4kg/BL.

Es ergeben sich unterschiedliche Werte bei der Zugrundelegung einer Punktquelle mit 24kg/ZzSt (Tabelle 1) im Vergleich zu einer Linienquelle mit einem Lademetergewicht von 1,10kg/m (Tabelle 2) und der Lademenge pro Bohrloch von 4kg/BL (Tabelle 3).

Die gebirgsschonende Spaltsprengung in der Firste wird mit Sprengschnur (ca. 40g/m) durchgeführt. Die Bohrlochladungen werden möglichst auf eine Zeitstufe gezündet, so dass ein Spalt zwischen benachbarten Bohrlöchern entsteht. Das Anstehende wird so gebirgsschonend bearbeitet.

3.3. Gesamtbewertung / Fazit- Erschütterungen durch untertägige Gewinnungssprengungen

Für die Betrachtung nach KOCH ergeben sich im Abstand von 1,5 m zur Firste und bei der Prognose nach Holmberg als Punktquelle mit 4,2m vom Einbruch zur Firste gleiche Schwinggeschwindigkeiten von ca. 700mm/s (siehe Abbildung 3).

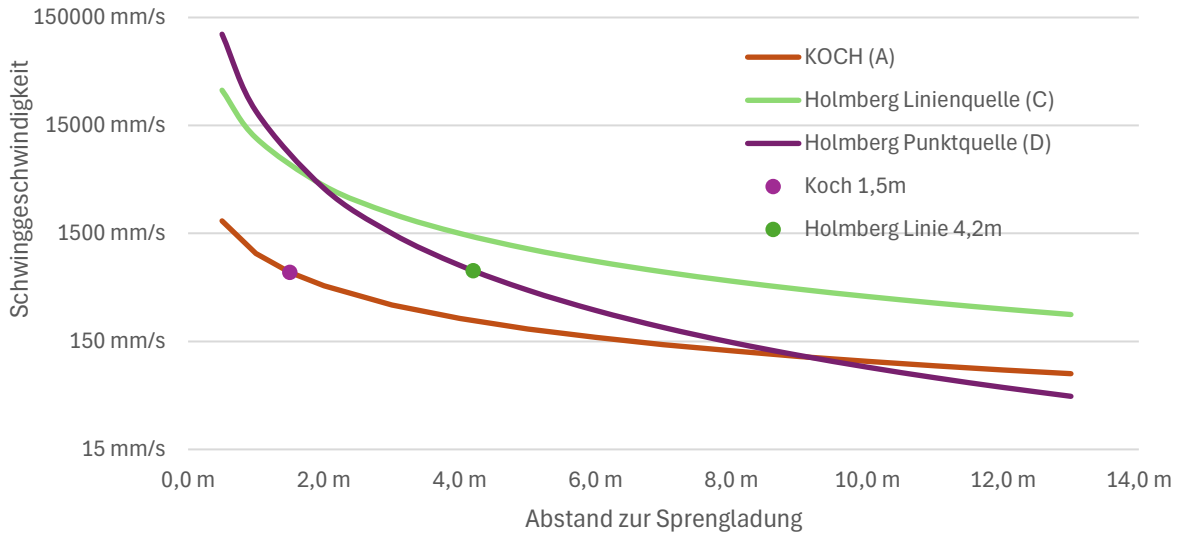

Abbildung 3 Vergleich der getroffenen Erschütterungsprognosen

Die in Abbildung 1 dargestellten Zusammenhänge der Schwinggeschwindigkeit und des Abstandes aus Erfahrungswerten im Tunnelbau untermauern diese Betrachtung. Bei einem Abstand von 3m ergeben sich in diesem Diagramm ca. 300mm/s Schwinggeschwindigkeit. Diese würden wiederum dem Koch‘schen Ansatz entsprechen.

Bei Beginn der Sprengarbeiten im Abbau sind die modellhaft angenommenen Parameter sowie die empirischen Prognoseansätze durch Messdaten zu überprüfen und zu verifizieren. Gegebenenfalls können technische Maßnahmen umgesetzt werden, um die Schwinggeschwindigkeit zu reduzieren. Hierzu gehören

- Anpassung des Sprengleitbildes (Sprengstoffaufwand, Bohrlochanzahl, Zeitstufenauswahl)
- Reduzierung der Abschlagslänge
- Anpassung des Bohrlochdurchmessers

Die gebirgsschonende Spaltsprengung mit Sprengschnur in der Firste ist als erschütterungsmindernd einzustufen. Außerdem wird das Anstehende geschont und bleibt aus bergmännischer Sicht unverrizt.

Die, an der Firste wirkende Schwinggeschwindigkeit, beträgt ca. 0,7 m/s und kann mithilfe der dargestellten Varianten der Prognosen verlässlich abgeschätzt werden.

4. Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser.

4.1. Gegenstand der Untersuchung

Gegenstand der Untersuchung ist die Bewertung möglicher Beeinträchtigungen des Grubenwassers infolge des Einsatzes moderner, gewerblich verwendeter Sprengstoffe bei der sprengtechnischen Gewinnung von Gips im Bergwerk Altertheim.

Im Fokus steht insbesondere das Verhalten der Stoffe vor und nach der Detonation sowie die potenziellen Reaktionsprodukte unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einsatzbedingungen.

4.2. Grundlagen der Bewertung

Die Bewertung erfolgt auf Grundlage technischer Informationen und Erfahrungswerte der Orica Germany GmbH (2005/2006) sowie aktueller Kenntnisse zu chemisch-physikalischen Reaktionen von Explosivstoffen und deren Umsetzungsprodukten.

Quellen:

- [1] Delb, V., Marti, D.: *Umweltbelastungen durch Sprengstoffe*, Nobel Hefte 67 (2001), S. 61.
- [2] Orica Germany GmbH: *Explosivstoffe und ihr Einfluss auf Grund- und Oberflächenwasser*, Technische Information, Juli 2005.

4.3. Bewertung der eingesetzten Sprengstoffe

Moderne gewerbliche Sprengstoffe bestehen überwiegend aus Ammoniumnitrat-basierten Komponenten und enthalten keine persistenten, bioakkumulierbaren oder langlebigen toxischen Stoffe.

4.4. Mögliche Sprengstoffsorten

➢ **Patronierte Sprengstoffe und Sprengschnur**

- Gute Wasserbeständigkeit durch dichte Patronenhüllen. (Bei Sprengschnur Benutzung von Endkappen)
- Kurze Expositionszeit im Bohrloch (< 1 Tag).
- Grubenwasserbeeinträchtigung ist auszuschließen.

➢ **Lose Emulsionssprengstoffe**

- Sehr hohe Viskosität, nicht wasserlöslich.
- Auch bei theoretisch längerer Wasserexposition (mehrere Tage) stabil.
- Keine messbare Beeinträchtigung des Grubenwassers.

- **ANFO-Sprengstoffe**

- Nicht wasserbeständig, hygroskopisch.
- Deshalb ist der Einsatz in stark wasserführenden Bereichen unzulässig.
- Bei vorschriftsgemäßem Einsatz keine Gefährdung für das Grubenwasser gegeben.

4.5. Emissionen aus der Detonation (Sprengschwaden)

Die Umsetzung der Sprengstoffe führt primär zur Bildung von stabilen Umsetzungsprodukten:

- Stickstoff (N_2)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Wasserdampf (H_2O)

In geringeren Mengen entstehen Kohlenmonoxid (CO), nitrose Gase (NO, NO_2) und Ammoniak (NH_3). Die Emission dieser Stoffe ist gering (< 0,4 % des Schwadenvolumens) und die schnelle Verflüchtigung in der Umgebungsluft aufgrund der Bergwerksbewetterung schließt eine relevante Akkumulation am Haufwerk, in der Sohle oder im Grubenwasser aus.

4.6. Rückstände nicht umgesetzter Sprengstoffe

Mögliche Ursachen für Rückstände von nicht umgesetzten Sprengstoffresten:

- Verschütten beim Ladeprozess
- Mechanische Unterbrechung der Ladesäule (z. B. durch geologische Inhomogenitäten im Bohrlochverlauf)
- Totpressen („Deadpressing“) durch benachbarte Detonationen
- Zündversager

In der Praxis werden erkannte Rückstände unmittelbar entfernt. Vorkommen sind selten und bei fachgerechter Sprengtechnik weitestgehend vermeidbar.

4.7. Mögliche Reaktionspfade im Haufwerk

Da beim sprengtechnischen Gewinnungsprozess unter Tage kein Wasser zugeführt wird, können auch im Fall größerer loser Sprengstoffreste im Haufwerk nach der Sprengung keine Stickstoffverbindungen, wie z.B. die Umwandlung von NH_4^+ zu Ammoniak (NH_3) oder die Bildung von Nitrit (NO_2) ermöglicht werden.

In den ersten beiden Abbaujahren, bis der Brecher unter Tage installiert ist, wird das Haufwerk nach über Tage transportiert und dort verladen. Beim Zwischenlagern auf der Betriebsfläche ist es möglich, dass Regenwasser die oben beschriebenen Reaktionspfade initiiert. Das Zwischenlagern sollte, sofern notwendig, auf einer

befestigten und ggf. überdachten Fläche auf dem Voreinschnitt erfolgen. So wird die Entstehung von stickstoffhaltigen Abwässern verhindert.

4.8. Gesamtbewertung / Fazit- Eintrag von Schadstoffen durch Sprengungen in das Grubenwasser

Es ist festzustellen, dass die untertägige Gewinnung von Gips im Bergwerk Altertheim im Trockenbauverfahren durchgeführt wird. Auch das Spülmedium für das Sprenglochbohren ist Druckluft. Eine direkte Kontamination des Grubenwassers ist daher im Betrieb ausgeschlossen. Bei einem eventuellen späteren volllaufenlassen des Grubengebäudes ist das gesprengte Haufwerk verarbeitet. Eine Kontaminationsfront ist dann lediglich durch die freien Flächen der Strecken (Stoß, Firste, Streckensaum) und Pfeiler gegeben. Diese Kontamination ist vernachlässigbar gering.

Nach aktuellem Stand der Technik und unter Einhaltung der einschlägigen Vorschriften besteht **keine signifikante Gefahr für das Grubenwasser** durch den Einsatz moderner gewerblicher Sprengstoffe oder deren Reaktionsprodukte.

Explosivstoffreste werden bei ordnungsgemäßer Anwendung kurz- bis mittelfristig in **unbedenkliche, umweltneutrale Stoffe** umgewandelt. Eine Anreicherung langlebiger oder toxischer Substanzen ist **nicht zu erwarten**.

Dieses Gutachten wurde nur für die in Punkt 2 genannten Aufgabenstellungen erstellt und ist nur für diesen Einzelfall zu verwenden.

Von der Industrie- und Handelskammer öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
Dipl.-Ing.(FH) Manfred Krämer
Über- und untertägige Fels- und Gewinnungssprengungen

Dipl.-Ing. Manfred Krämer St.Wendel, den 29.08.2025