

**Antragsunterlagen für das wasserrechtliche
Planfeststellungsverfahren gemäß § 68 WHG zur
Erweiterung des Granitsteinbruchs
Gehrenberg der RÖHRIGgranit® GmbH**

**Kapitel XXI
Sprenggutachten**

Antragsteller:



RÖHRIGgranit® GmbH
Werkstraße Röhrig 1
64646 Heppenheim

Bearbeitet von:



Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner
Ingenieurgesellschaft mbH
Charlottenburger Allee 39
52068 Aachen
Dipl.-Ing. M. Buschmann
Dr. M. Schmitz, M. Sc.

Projekt-Nr.: 1604501

August 2020

1. Ausfertigung
Archiv: 07/2020
elektronische
Fassung

Sprengsachverständigengutachten

Genehmigungsverfahren für die Erweiterung des Granitsteinbruchs Gehrenberg der RÖHRIGgranit GmbH®

Prognose und Beurteilung der Sprengimmissionen durch
Gewinnungssprengungen.

Festlegung von sprengtechnischen Parametern



INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
Deckblatt	
Inhaltsverzeichnis	
1. Allgemeines	3
2. Beschreibung des Vorhabens	4
3. Geologische Situation und Beschaffenheit der Lagerstätte	6
4. Aufgabenstellung	6
5. Grundlagen - vorhandene Unterlagen	7
6. Mögliche Gefährdungen schutzbedürftiger Objekte, Maßnahmen zur sicheren Ausführung der Sprengarbeiten	8
6.1 Sprenglärm	8
6.2 Streuflug	13
6.3 Sprengschwaden und Gesteinsstäube	16
6.4 Sprengerschütterungen	16
6.4.1 Entstehung von Sprengerschütterungen	16
6.4.2 Anerkannte technische Regeln zur Beurteilung von Sprengerschütterungen	16
7. Entfernungen zu den Schutzobjekten und Einteilung nach DIN 4150 Teil 3 – Erschütterungen im Bauwesen	19
7.1 Beurteilung von erdverlegten Rohrleitungen	22
8. Erschütterungsprognose und Lademengenbegrenzungen	22
9. Beispiel einer Ladungsberechnung	28
10. Festlegung der Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeiten	30
11. Beurteilung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden	31
11.1 Beurteilung des KB_{Fmax} -Wertes, gemessen an Hand der Erschütterungsprognose nach DIN 4150, Teil 2	32
12. Einrichtungen der öffentlichen Versorgung	36
12.1 Funksendemast Erbach	36
13. Zusammenfassung – gutachterliche Empfehlung	38
13.1 Stand und zukünftige Verfahrensweise der angewandten Sprengtechnik im Betrieb Gehrenberg	38
13.2 Schlussbetrachtung	40
14. Nachweis der benutzten betrieblichen Unterlagen und der Literatur	42
Anlagen	44
Inhalt: Text	43 Seiten

Anlagen: 9 Seiten

1. Allgemeines

Auftraggeber: RÖHRIGgranit GmbH®
Werkstraße Röhrig 1
64646 Heppenheim

vertreten durch: Dipl.-Ing. (FH) Marco Röhrig - Geschäftsführer
Stefan Koob - technischer Leiter

Objekt: Erweiterung des Granitsteinbruchs Gehrenberg

Auftrag: Prognose und Beurteilung der
Sprengimmissionen im neuen Abbaugebiet,
Festlegung von sprengtechnischen
Parametern

Grundlage: Zur Verfügung gestellte Unterlagen (Pkt. 5)

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

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

St.Wendel, den 09.08.20

2. Beschreibung des Vorhabens

Die Firma RÖHRIGgranit GmbH® betreibt seit 1964 den Granitsteinbruch Gehrenberg in Heppenheim-Sonderbach. In diesem Steinbruch werden seit dieser Zeit jährlich ca. 500.000 t Festgestein gewonnen, welches in Aufbereitungsanlagen weiterveredelt wird. Die umfangreiche Produktpalette umfasst neben Hochleistungsfüllstoffen, Zuschlagstoffen und Gesteinsmehlen auch feuergetrocknete und hochentstaubte Feinsande und Edelsplitte. Die Kunden verwenden diese hochwertigen Produkte u.a. für den Straßenbau, den Transportbeton und den Vorsatzbeton, sowie zur Herstellung von Putzen, Mörteln, Farben und Lacken. Außerdem werden die Produkte im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt. Die Produktionsmenge soll auch zukünftig beibehalten werden, eine Produktionssteigerung ist nicht geplant.

Die Grundlage der betrieblichen Tätigkeiten bildet eine Genehmigung nach dem BImSchG, die das Regierungspräsidium Darmstadt am 12.03.2007 erteilte. Gegenstand dieser Genehmigung ist u.a. die Nutzung einer ca. 4,43 ha umfassenden Fläche im Südwesten des Steinbruchs. Im Zuge der Arbeiten hat sich allerdings gezeigt, dass die oberen Sohlen des dort anstehenden Granits in diesem Bereich tiefgründig verwittert sind, so dass die Verwendung des Rohmaterials aufgrund zu geringer Festigkeit eingeschränkt ist. Darüber hinaus weist der Granit erhebliche Farbschwankungen auf. Da vor allem die hochwertigen Produkte enge Farbabstufungen einhalten müssen, bedeutet diese Anomalie in der Lagerstätte, welche vorab nicht erkennbar gewesen ist, einen enormen Qualitätsverlust.

Zur Erweiterung wurde eine etwa 6,2 ha große Fläche südlich des Steinbruchs abgegrenzt, deren Gewinnung in Abstimmung mit dem RP Darmstadt nunmehr in einem Planfeststellungsverfahren nach § 68 WHG beantragt werden soll. In diesem Verfahren wird die erforderliche Genehmigung nach BImSchG integriert. Das Vorhaben wird in einem Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung und Umweltverträglichkeitsprüfung beantragt. [2]

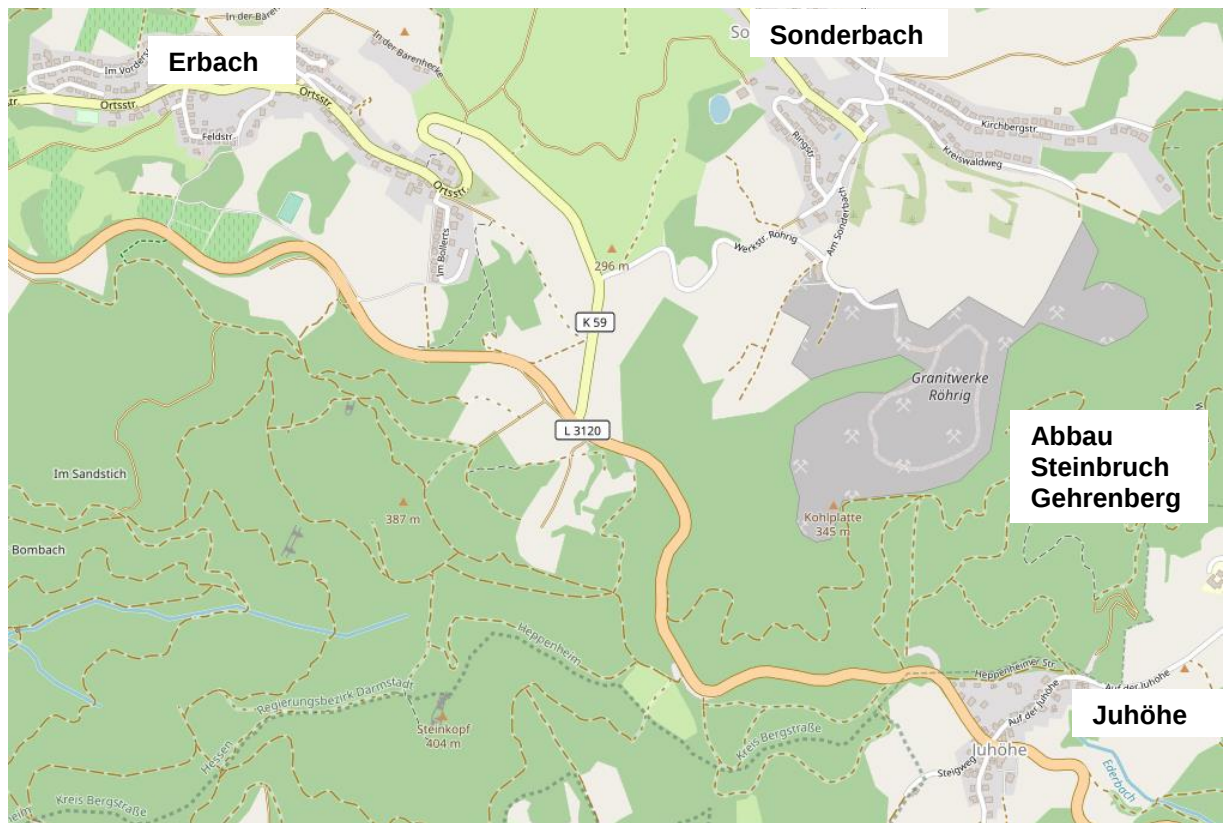


Abbildung 1 Übersichtsplan des bestehenden Steinbruchs Gehrenberg und angrenzende Ortschaften (Quelle: OpenStreetMap - Deutschland).

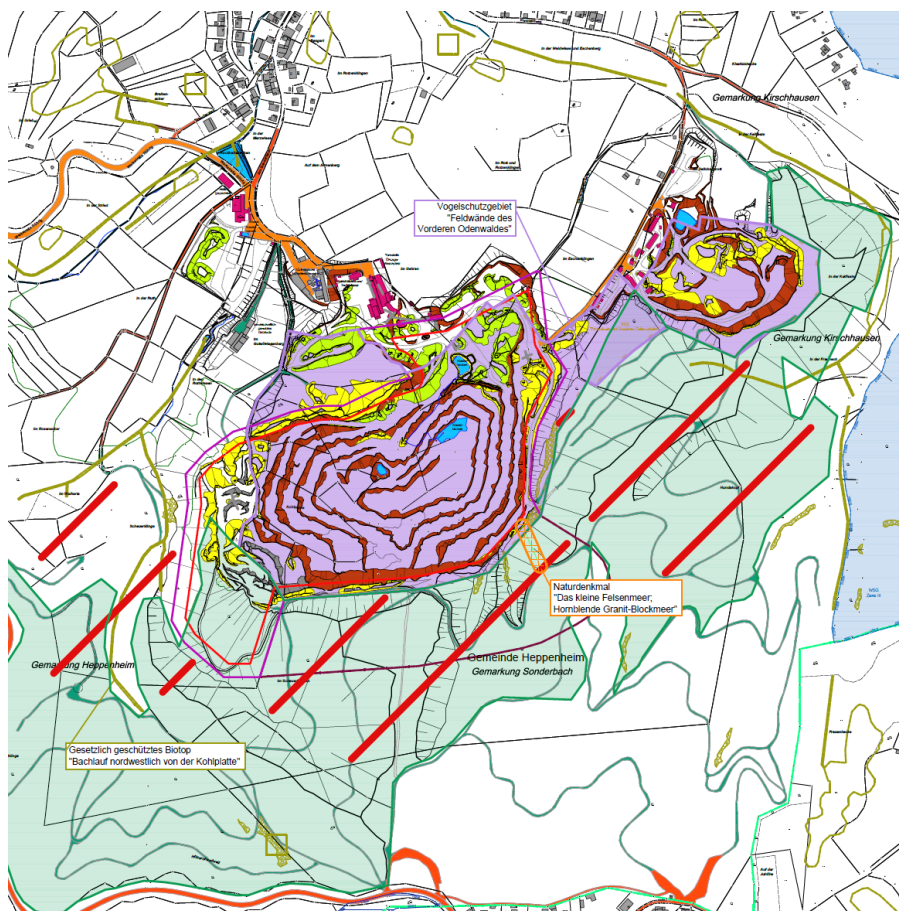


Abbildung 2 Genehmigter Abbau und Erweiterungsfläche (Quelle: SST Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH)

3. Geologische Situation und Beschaffenheit der Lagerstätte

Der zum variszischen Orogen gehörende Weschnitzpluton ist der größte Intrusivkörper im Odenwald. Es handelt sich um magmatische Tiefengesteine, die wegen ihres Mineralbestandes und ihrer chemischen Zusammensetzung zur Gruppe der „I-Typ-Granitoide“ gehören. Der Pluton entstand im Unterkarbon (vor ca. 340 bis 335 Millionen Jahren) durch Kristallisation eines aus Schmelze und Kristallen bestehenden Magmas, das im Bereich eines lokalen Dehnungsgebietes in die Erdkruste intrudierte. Damals lag der Weschnitzpluton in einer Tiefe von rund 17 km. Durch eine starke Anhebung des kristallinen Bergsträßer Odenwaldes, vor allem im Tertiär, und der darauffolgenden bevorzugten Erosion in Richtung Rheingraben-Senke, befindet sich der granitoide Gesteinskomplex des Weschnitzplutons heute an der Erdoberfläche.

Das kristalline Grundgebirge im vorderen Odenwald ist durch einen kleinräumigen Wechsel der verschiedenen Metamorphite, Tiefen- und Ganggesteine charakterisiert. Die Lagerstätte Gehrenberg gehört zum oben beschriebenen Weschnitz-Pluton. Die gesteinsbildenden Minerale sind insbesondere Plagioklas (Feldspat), Orthoklas (Kalifeldspat), Quarz, Biotit und Hornblende. Ein typisches Kennzeichen der lokalen Gegebenheiten ist die Wollsackverwitterung, bei der insbesondere die Feldspäte des Granodiorit entlang von Kluffflächen mehr oder weniger tiefgründig verwittern. Das verwitterte Gestein wird als Felsenkies bezeichnet. Bei entsprechender topographischer Situation wird der Felsgrus weggespült und die zurückbleibenden Granitblöcke bilden die regional häufig vorkommenden Felsenmeere. [2]

4. Aufgabenstellung

Im Zuge dieser gutachterlichen Bewertung sollen die Sprengimmissionen hinsichtlich ihrer schädigenden Wirkung auf die angrenzenden Schutzobjekte und insbesondere auf Personen untersucht werden. Die Sprengimmissionen beziehen sich auf den Anschluss der geplanten Erweiterung an die genehmigte Abbaugrenze.

Es wird eine sprengtechnische Verfahrensweise, unter Festlegung der Berechnung sprengtechnischer Parameter, für die Durchführung der Sprengarbeiten vorgegeben.

5. Grundlagen - vorhandene Unterlagen

Der Ausarbeitung des Gutachtens lagen folgende Unterlagen zu Grunde:

- [1] Ortstermine am 04.08. und 11.05.2017
- [2] Antrag auf Änderung der Schutzwalderklärung sowie auf Umwandlung von Wald in eine andere Nutzungsform vom Mai 2016, SST Ingenieurgesellschaft mbH
- [3] Planunterlagen Lagepläne der Abbaugrenzen und der Bebauungen, SST Ingenieurgesellschaft mbH
- [4] Genehmigungsbescheid vom 12.03.2007 Az IV/da 43.1 – 53e 621 –Röhrig (6) auszugsweise Seite 1 – 13 und Seite 25 – 27
- [5] Sprengsachverständigengutachten Dipl.-Ing. Jürgen Busch, 31.01.2005
- [6] Bericht über die Durchführung von Geräuschemessungen vom 11.01.2017; InfraServ GmbH
- [7] Erschütterungsmesswerte Steinbruch Gehrenberg Südwand von Mai 2010 bis April 2020

6. Mögliche Gefährdungen schutzbedürftiger Objekte, Maßnahmen zur sicheren Ausführung der Sprengarbeiten

Durch die geplanten Großbohrlochsprengungen treten Emissionen auf, die sich schematisch wie in Abbildung 3 darstellen lassen.

Im Folgenden werden die Sprengemissionen betrachtet und die Wirkung auf die Schutzobjekte bzw. Immissionsorte (IO) beschrieben und prognostiziert.

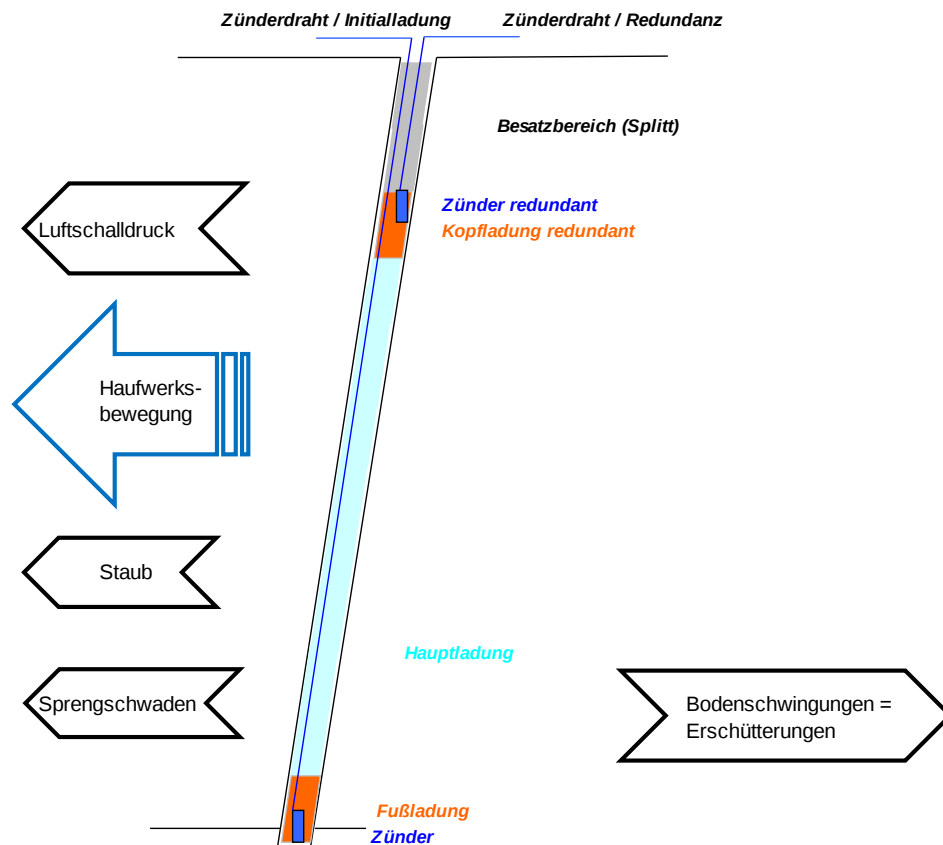


Abbildung 3 Schematische Darstellung der Emissionswirkungen einer Großbohrlochsprengung.

6.1 Sprenglärm

Lärm ist ungewollter Schall, der den Menschen stört, belästigt, unter Umständen gefährdet und schädigt. Der Ausdruck Lärm schließt schon eine Beurteilung einer Schallausbreitung ein. Nicht die Lautstärke, sondern die Einstellung des Hörers zur Schallquelle macht aus einem Geräusch Lärm. Diese Tatsache spielt in der subjektiven Beurteilung eines Sprengereignisses durch Betroffene eine außerordentliche Rolle. Besonders dann, wenn ein Schallereignis unerwartet und bei einem sonst sehr niedrigen durchschnittlichen Lärmpegel der Umgebung als Vorbelastung eintritt.

Als Schall wird eine schwingende Bewegung der Luftteilchen um ihre Ruhelage bezeichnet. Die räumliche Ausbreitung des Luftschalls von der Schallquelle erfolgt mit Schallgeschwindigkeit ($c = 340 \text{ m/s}$ bei 14°C) als Schallwelle. Diese Geschwindigkeit ist zum einen von der Lufttemperatur und zum anderen von der Windstärke und -richtung abhängig. Mit steigender Temperatur wächst die Schallgeschwindigkeit, mit sinkender Temperatur wird sie geringer. Bei der Durchführung von Gewinnungssprengungen entstehen Geräusche (Mischung beliebiger Frequenzen) mit Hauptenergieanteilen zwischen 10 und 90 Hz, deren Impulsgeräusche als tieffrequent eingestuft werden müssen.

Dieses Frequenzspektrum liegt sowohl im Infraschall- (0 - 16 Hz), als auch im Hörschallbereich.

Im Infraschallbereich besteht allerdings keine ausgeprägte Hörempfindung mehr. Tonhöhen- und Lautstärkeempfindungen fehlen. Diese Frequenzen verursachen aber beim Menschen Ohrendruck, Unsicherheits- und Angstgefühle. Durch mechanische Schwingungen als Sekundäreffekte wie Gläserklirren, Rütteln von Fenstern und Türen etc. erfolgt jedoch wieder eine hörbare Wahrnehmung der zunächst tieffrequenten Geräusche.

Bekannt sind die vier nachfolgend aufgeführten Hauptursachen für die Geräuschentwicklung bei Sprengungen, die zusammen die Gesamtamplitude bilden; ihre Reihenfolge entspricht der zeitlichen Wahrnehmung an einer Messstation:

1. Gesteinsdruck-Impuls, verursacht durch Erschütterungen im anstehenden Gestein (in der Regel die geringste Amplitude).
2. Luftdruck-Impuls, verursacht durch das Herausschieben des Wandteils, das Werfen der Vorgabe bzw. dem entweichenden Druck der Ladesäulen. Dieser erreicht die Messstation wegen der geringeren Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen in der Luft später als der durch 1. verursachte Geräuschpegel.
3. Freisetzung eines Gas-Impulses, verursacht durch das Entweichen der Sprengschwaden nach der detonativen Umsetzung der Ladesäulen durch das angebrochene Gestein bzw. die Klüfte hindurch.
4. Besatzfreisetzungs-Impuls, verursacht durch das Herausschleudern des Endbesatzes.

Für die Stärke des Sprenggeräusches sind demnach folgende Faktoren mitentscheidend:

- Verwendung von Sprengschnur in der Ladesäule und im Besatzbereich.

- Verwendung von ungeeignetem Besatzmaterial und nicht angepasste Besatzhöhe.
- Überladung von Bohrlöchern und damit mangelnder Einschluss des Sprengstoffes.
- Nicht angepasstes Bohrlochraster und ungünstige Zündzeitabstände bzw. Zündzeitfolgen.
- Atmosphärische Bedingungen.
- Freie Sichtverbindung von der Sprengstelle zum Immissionsort.
- Schlechte geologische Bedingungen wie z. B. Lehmeinlagerungen, Klüfte etc.

Freiliegende Sprengschnüre erzeugen einen hohen Detonationsknall.

Deshalb sollten aus dem Bohrlochmund herausragende Sprengschnurenden mit Splitt, Sand oder Bohrklein abgedeckt oder mit dem Endbesatz in das Bohrloch eingebracht werden.

Zur Vermeidung von Bauteilschäden soll der Spitzenwert des Detonationsgeräusches LA_{peak} 143 dB (ungefiltert), das entspricht einer Last von 0,6 kPa, als Immissionswert, nicht überschreiten.

Nachfolgend wird, für das der geplanten Abbauerweiterung des Steinbruchs Gehrenberg in Schallausbreitungsrichtung in nordwestlicher Richtung nächstgelegene Objekt, der zu erwartende Spitzenpegel errechnet. Dies ist aufgrund der topographischen Lage das Gebäude Erbacher Weg 8a (IO6) im Ortsteil Sonderbach. Dabei wird die nächstmögliche Sprengung als Emissionsquelle zugrunde gelegt. Dieser Maximalwert wird sich mit wachsender Entfernung zu den Immissionsorten deutlich verringern.

Grundlage sind als L_{peak} -Wert in 100 m Abstand von einer Sprengung 90 dB (A). (Siehe auch Veröffentlichung im Heft I/94 der Zeitschrift "Die Natursteinindustrie".)

Der Autor Herr Dipl.-Ing. K. Wietlake, gibt in seinem Beitrag "Beurteilung von Nachbarschaftslärm aus Betrieben der Steine- und Erdenindustrie" die Detonationsknalle von Sprengungen in 100 m Distanz mit $L_{peak} = 80 - 100$ dB (A) an.

Dieser Wert wurde durch Rolf Schillinger im Buch „Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis“ (siehe Literaturverzeichnis) bestätigt.

Die Einrechnung des Emissionswertes erfolgt über die allgemeine Beziehung

$$L_A(r) = L_A(Quelle) - 20 \lg\left(\frac{r_2}{1m}\right) - 6dB(A)$$

Der Quell-Schallpegel der Sprengung errechnet sich durch Umstellung der Formel gemäß zu:

$$L_A(Quelle) = 90dB(A) + 20 \lg\left(\frac{100m}{1m}\right) + 6dB(A) = 136 dB(A)$$

$$L_A(476m) = 136dB(A) - 20 \lg\left(\frac{476m}{1m}\right) - 6dB(A) - 10 dB(A)$$

Es ergeben sich 476m Entfernung zum Immissionsort Erbacher Weg 8a in Sonderbach (siehe Tabelle 2., Seite 21). Aufgrund der günstigen topographischen Lage (keine direkte Sicht zum Immissionsort, Wald und Hügel in Richtung Schutzobjekt), wird der Schallpegel mit 10dB(A) abgemindert. Dies ist gleichbedeutend mit einem Lärmschutzwall, der mit dem gleichen Wert als schallmindernd eingestuft wird.

= 66,4dB(A)

Bewertungen:

Damit sind die Forderungen der TA-Lärm für alle Gebiete auch im ungünstigsten Fall eingehalten, da für einzelne, kurzzeitige Geräuschspitzen - um diese handelt es sich bei Detonationsknallen von Sprengungen - tags - 30 dB(A) vom Prognosewert 66,4 in Abzug zu bringen sind. Die Immissionsrichtwerte (tags) von 90 dB (A) (aus 60 dB (A) + 30 dB(A) für kurzzeitige Geräuschspitzen) werden nicht überschritten.

Bei dieser Annahme wurde der in nordwestlicher Richtung nächste Immissionsort betrachtet. Dieser muss aufgrund der topographischen Lage nicht zwingend der Ungünstigste sein. Durch sprengbegleitende Schallpegelmessungen kann dieser ungünstigste Immissionsort ermittelt werden.

Die Abbauführung in das zu betrachtende Erweiterungsgebiet mit der vorhandenen topographischen Lage ist hinsichtlich der Schallimmissionen als positiv einzustufen.

Dies gilt auch für den zur Vermeidung von Bauteilschäden zulässigen maximalen Wert = 143 dB (ungefiltert).

Empfehlungen

- Auflegersprengungen sollten wegen des sehr hohen Detonationsschallpegelspitzenwertes nicht durchgeführt werden.
- Freiliegende, nicht abgedeckte, Sprengschnüre sind abzudecken oder in den Bohrlochmund mit einzubringen.

Anmerkungen

Beurteilungsgrundlage ist die derzeit gültige TA-Lärm

(GMBL G 3191 A vom 26.08.1998; Letzte Änderung am 1. Juni 2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5)).

Die Schallpegelmessungen, die mit dem Bericht über die Durchführung von Geräuschmessungen vom 11.01.2017 der InfraServ GmbH [7] dokumentiert wurden, ergaben für die Sirene und Sprengung einen Maximalpegel von $L_{AFmax} = 74 \text{ dB(A)}$, gemessen am Immissionsort Sonderbach, Erbacher Weg 8. Der zulässige Immissionsrichtwert bei Tag beträgt 90 dB (A) (wie vorlaufend beschrieben: 60 dB (A) + 30 dB(A) für kurzzeitige Geräuschspitzen).

Anfang Auszug TA-Lärm

"6. Immissionsrichtwerte

6.1 Immissionsrichtwerte für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

Die Immissionsrichtwerte für den Beurteilungspegel betragen für Immissionsorte außerhalb von Gebäuden

<i>a) in Industriegebieten</i>		<i>70 dB (A)</i>
<i>b) in Gewerbegebieten</i>		
	<i>tags</i>	<i>65 dB (A)</i>
	<i>nachts</i>	<i>50 dB (A)</i>
<i>c) in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten</i>		
	<i>tags</i>	<i>60 dB (A)</i>
	<i>nachts</i>	<i>45 dB (A)</i>
<i>d) in allgemeinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten</i>		
	<i>tags</i>	<i>55 dB (A)</i>
	<i>nachts</i>	<i>40 dB (A)</i>
<i>e) in reinen Wohngebieten</i>		
	<i>tags</i>	<i>50 dB (A)</i>

	nachts	35 dB (A)
f) in Kurgebieten, für Krankenhäuser und Pflegeanstalten		
	tags	45 dB (A)
	nachts	35 dB (A)

Einzelne kurze Geräuschspitzen dürfen die Immissionsrichtwerte am Tage um nicht mehr als 30 dB (A) und in der Nacht um nicht mehr als 20 dB (A) überschreiten.“

Ende Auszug

Die Prognose ergibt im ungünstigen Fall für Detonationsgeräusche der Gewinnungssprengungen im Steinbruch Gehrenberg 66,4 dB (A). Zulässig sind die Immissionsrichtwerte Tags nach vorlaufendem Auszug der TA Lärm + 30 dB (A).

Es empfiehlt sich, die bei Sprengarbeiten auftretenden Lärmpegel mit Kombinationsgeräten für die Messung von Schwinggeschwindigkeiten und Schalldruck an den Immissionsorten zu überprüfen.

6.2 Streuflug

Ursachen von Streu- oder Steinflug über den Nahbereich der Sprengstelle hinaus:

- Überladung der Sprenganlage – Unterschreitung der kritischen Vorgabe (siehe Tabelle 4, Seite 27)
- Keine ausreichende Endbesatzlänge
- Nicht beachtete Ausbrüche, Klüfte und/oder Einlagerungen in den freien Flächen

Streuflug kann nur aus der freien Flächen (Bruchwand) oder aus dem Bereich des Bohrlochmundes auftreten.

Die freien Flächen sind vor dem Laden auf Ausbrüche und Schwachstellen zu prüfen. In Bereichen von Ausbrüchen, lehmigen Einlagerungen oder Klüfte usw. muss die Sprengstoffdosierung besonders beachtet werden. Hier wird dann entweder kein oder nur wenig Sprengstoff eingesetzt.

An dieser Stelle wird gesondert auf die ordnungsgemäße Vermessung der Bruchwände bei Großbohrlochsprengungen¹ hingewiesen. Diese wird gemäß der technischen Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (SprengTR 310 - Sprengarbeiten) erforderlich über 12m Bruchwandhöhe. Die unterschiedlichen Vorgaben müssen in Abhängigkeit der Neigung der Felswand und der gewählten Bohrlochneigung angepasst werden.

Vor dem Laden der Bohrlöcher sind diese auf Tiefe, Durchgang und Verlauf zu überprüfen. Bohrlöcher, die von der geplanten Richtung und Tiefe abweichen, dürfen nur gesprengt werden, wenn durch geeignete Messverfahren (z.B. Boretrack, Diadem etc.) die Vorgaben ermittelt werden können.

Ursache für Streuflug aus dem Bereich des Bohrlochmundes ist eine zu kurz gewählte Endbesatzlänge². Als Faustregel gilt, dass der Endbesatz mind. 80% der Bohrlochvorgabe oder des Bohrlochseitenabstandes entsprechen soll (größerer Wert gilt- siehe Abschnitt 9, Seite 29).

Hier sei gesondert auf die DGUV Regel 113-016 (bisher BGR/GUV-R 241) Absatz 4.1.15 und insbesondere die Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (SprengTR 310 - Sprengarbeiten) Absatz 4.7 (2) bis (10) Sprengbereich³ hingewiesen. Dieser ist auf 300m festgelegt. Durch gesonderte Maßnahmen darf dieser unterschritten werden. Bei der Näherung des Abbaus unter 300m an die Schutzobjekte sind Maßnahmen zu treffen, die einen Steinflug verhindern:

- (1) Abgestufter Splitt (z.B. 8/11 oder 5/8) als Endbesatz
- (2) Erhöhung des Endbesatzes (min. Endbesatz = Vorgabe)
- (3) Auswurfriechung entgegengesetzt der Schutzobjekte oder Erhöhung der kritischen Vorgabe (siehe Tabelle 4) um mindestens 10%
- (4) Reduzierung der Abbauhöhen

Die Verkleinerung des Sprengbereiches legt der Sprengberechtigte unter Angabe der getroffenen Maßnahmen fest. Es ist eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen.

Zitat aus der SprengTR 310, Absatz 4.7 (5):

¹ Großbohrlochsprengungen sind Sprengungen zur Gewinnung von Gesteinen und Mineralien in Bohrlöchern von mehr als 12 m Tiefe und auch in kürzeren Bohrlöchern, soweit sie zur Unterstützung von Großbohrlochsprengungen erforderlich sind (Hilfsbohrlöcher)

² Als Endbesatz bezeichnet man den obersten Teil des Bohrloches, der nicht mit Sprengstoff geladen wird. Dieser Teil wird mit Splitt verfüllt.

³ Der Sprengbereich ist der Bereich um eine Sprengstelle herum, in dem Streuflug nicht ausgeschlossen werden kann oder in dem Personen- und/oder Sachschäden durch direkte Sprengwirkung entstehen können.

„Der Sprengberechtigte darf im Einvernehmen mit dem Erlaubnisinhaber den Sprengbereich verkleinern, wenn sichergestellt ist, dass Personen und Sachgüter nicht gefährdet werden. Dies muss im Rahmen der Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungen dargelegt werden.“

6.3 Sprengschwaden und Gesteinsstäube

Bei der detonativen, chemischen Umsetzung von Sprengstoff entstehen Sprengschwaden, die Kohlendioxid CO_2 , Kohlenmonoxid CO und Nitrose Gase NO_x enthalten.

Diese Gase werden bei den geplanten Sprengarbeiten durch die Umgebungsluft schnell verdünnt und sind nach einer geringen Belüftungszeit ungefährlich.

Gesteinsstaub fällt durch die Zerkleinerung des Gesteins und die damit verbundene Vergrößerung der Kornoberflächen an. Außerdem wird Staub auf den unterhalb der Sprenganlage befindlichen Sohlen durch die Haufwerksbewegung aufgewirbelt.

Entstehende Stäube durch Gewinnungssprengungen legen sich schnell nieder und tragen erfahrungsgemäß in den aufgezeigten Abständen zu den Immissionsorten nicht zur Beeinträchtigungen des Umfeldes bei.

6.4 Sprengerschütterungen

6.4.1 Entstehung von Sprengerschütterungen

Bei der Umsetzung des Sprengstoffes wird ein Teil der freiwerdenden Energie zum Zertrümmern und Lockern des dem Bohrloch umgebenden Gesteins verwendet. Ein Teil der Sprengenergie wird in dem angrenzenden Fels als Erschütterung weitergegeben.

Auftretende Sprengerschütterungen sind von mehreren Faktoren abhängig:

1. max. Sprengstoffmenge je Zündzeitstufe
2. Entfernung der Sprengstelle zum Objekt
3. Lage der Sprengstelle zum Objekt
4. Verspannung im Gebirge
5. zu sprengendes Gestein

6.4.2 Anerkannte technische Regeln zur Beurteilung von Sprengerschütterungen

Die DIN 4150, „Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3, Ausgabe Dezember 2016, Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, sagt u.a. folgendes zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen⁴ (Sprengerschütterungen) aus:

⁴ **kurzzeitige Erschütterungen:** Erschütterungen, deren Häufigkeit des Auftretens nicht ausreicht, um Materialermüdungserscheinungen hervorzurufen, und deren zeitliche Abfolge und Dauer nicht geeignet sind, um in der betroffenen Struktur eine wesentliche Vergrößerung der Schwingungen durch Resonanzerscheinungen zu erzeugen

Zitat DIN4150-3

„Die am Bauwerk auftretenden Erschütterungen können mit Weg-, Geschwindigkeits-, oder Beschleunigungsaufnehmern direkt erfasst werden. Die Beurteilung erfolgt auf Basis von Betragsmaximalwerten der Schwinggeschwindigkeit. Bei der Beurteilung wird zwischen kurzzeitigen Erschütterungen und Dauererschütterungen unterschieden.

Die DIN 4150 Teil3 nennt Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten, die aus zahlreichen Messungen als Erfahrungswerte gewonnen wurden.

Werden diese Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden⁵ im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten müssen. Bei Überschreitungen sind gegebenenfalls weitergehende Untersuchungen erforderlich, beispielsweise die Spannungsermittlung und –beurteilung.

Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne dieser Norm ist z. B.:

- Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und*
- Verminderung der Tragfähigkeit von Decken und anderen Bauteilen.*

Bei Gebäuden nach den Tabellen 1, 4 oder B.1, jeweils Zeilen 2 und 3, ist eine Verminderung des Gebrauchswertes auch gegeben, wenn z. B.:

- Risse im Putz von Wänden auftreten;*
- bereits vorhandene Risse in Gebäuden vergrößert werden;*
- Trenn- und Zwischenwände von tragenden Wänden oder Decken abreißen.*

Diese Schäden werden auch als leichte Schäden bezeichnet.

Werden Gebäude nach der Tabelle 1, Zeile 1, beurteilt, stellen leichte Schäden keine Minderung des Gebrauchswertes dar.

Unter der besonderen Erschütterungsempfindlichkeit (Tabelle 1, Zeile 3) wird die Eigenschaft eines Bauwerks verstanden, dass bereits geringe Erschütterungen leichte Schäden hervorrufen können.

⁵ **Schaden:** bleibende Folge einer Einwirkung, die eine Verminderung des Gebrauchswertes des betroffenen Bauwerks oder Bauteils im Hinblick auf seine Nutzung bedeutet

Spalte	1	2	3	4	5	6
Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s				
		kurzzeitige Erschütterungen				
		Fundament			oberste Deckenebene horizontal $i = x, y$	Decken, vertikal $i = z$
		Frequenzen ***)				
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz	alle Frequenzen	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen <u>und</u> besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.						
a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden						
b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten						

Tabelle 1. DIN 4150 Teil 3, Tabelle1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen

Für Ingenieurbauwerke in massiver Bauweise (z.B. Stahlbetonbauteile für Widerlager oder Blockfundamente) dürfen die Anhaltswerte nach Tabelle 1 bis auf das 2 -fache angehoben werden, sofern keine Gefahren bodenmechanischer Vorgänge entstehen können.

Beurteilung des Gesamtbauwerkes

Für die Beurteilung sind die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten in der obersten Deckenebene maßgebend. Es wird der größere Wert der beiden horizontalen Einzelkomponenten zugrunde gelegt. Bei Messungen an dieser Stelle werden in der Regel die maximalen horizontalen Schwingungsantworten des Bauwerks auf die Anregung im Fundamentbereich ermittelt.

Alternativ zu einer direkten Messung in der obersten Deckenebene kann für die Beurteilung kurzzeitiger Erschütterungen auch am Gebäudefundament gemessen werden. Für diese Beurteilung wird der größte Wert $v_{i,max}$ der drei

Einzelkomponenten $i = x, y, z$ der Schwinggeschwindigkeit $v(t)$ am Fundament herangezogen.

Die Anhaltswerte für $v_i, \max$ am Fundament und in der obersten Deckenebene ($i=x,y$) sind in Tabelle 1 für verschiedene Gebäudearten angegeben. Die frequenzabhängigen Anhaltswerte für Fundamenterschütterungen berücksichtigen das Übertragungsverhalten vom Fundament auf die oberste Deckenebene. In Bild 1 sind die Werte der Spalten 2 bis 4 aus Tabelle 1 graphisch dargestellt.

Für die Einordnung in die Frequenzbereiche, die in Tabelle 1 angegeben sind, muss jene Frequenz zugrunde gelegt werden, die im Bereich der maßgebenden Schwinggeschwindigkeitswerte auftritt, wobei auf die Erfassung der niedrigen Frequenzen besondere Sorgfalt zu verwenden ist. Bei Anwendung von Analyseverfahren ist dem Signalcharakter Rechnung zu tragen, z. B. durch geeignete Fensterfunktionen.

Beurteilung von Decken

Treten bei kurzzeitigen Erschütterungen Deckenschwingungen auf, so ist bei $v_{i,\max} \leq 20 \text{ mm/s}$ in vertikaler Messrichtung ($i= z$) am Ort der größten Schwinggeschwindigkeit – dies ist im Allgemeinen in Deckenmitte – eine Verminderung des Gebrauchswertes der Decken nicht zu erwarten. Alternativ zu einer direkten Messung dürfen die vertikalen Schwingungen am Fundament zur Beurteilung (siehe Tabelle 1, Spalten 2 bis 4) herangezogen werden.

Bei der Gebäudeart nach Tabelle 1, Zeile 3 kann zur Verhinderung leichter Schäden eine deutliche Abminderung dieses Anhaltswertes notwendig werden.

Zitat Ende.

7. Entfernungen zu den Schutzobjekten und Einteilung nach DIN 4150 Teil 3 – Erschütterungen im Bauwesen

Die Schutzobjekte werden hinsichtlich ihrer Erschütterungsempfindlichkeit in 3 Kategorien eingeteilt –siehe hierzu Punkt 6.4.2 Tabelle 1.

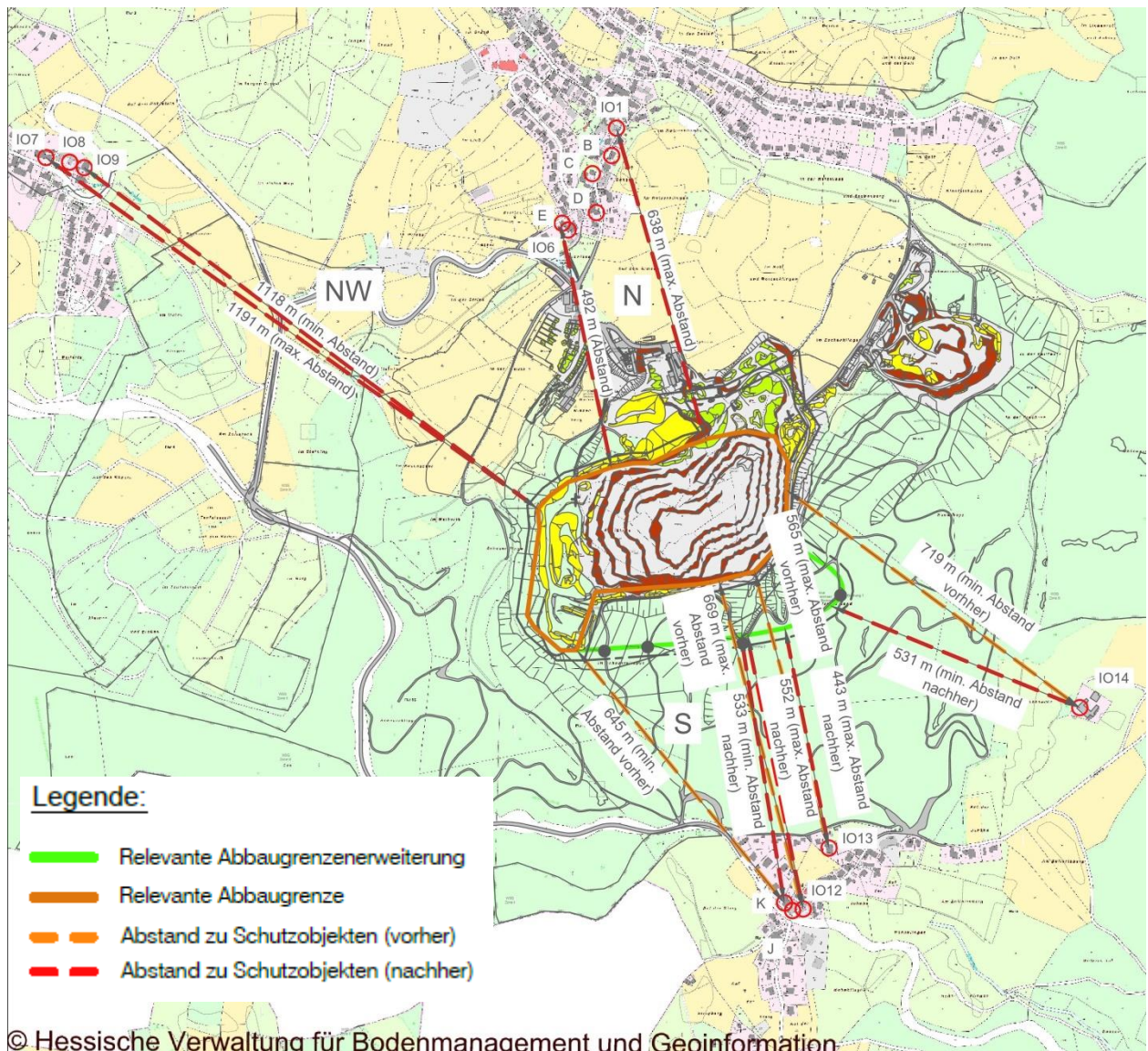


Abbildung 4 Genehmigter Abbau und Erweiterungsflächen mit den Immissionsorten (IO). Die Entfernungen zur Abbaugrenze bisher / zukünftig werden u.a. in nachfolgender Tabelle 2 angegeben.
(Quelle: SST Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH)

Die Immissionsorte wurden konform des Genehmigungsbescheides vom 12.03.2007 (Az. IV/Da 43.1 – 53e 621 –Röhrig (6)) gewählt.

Durch die Lage der Immissionsorte zur Grenze der Erweiterungsfläche ergeben sich die bisherigen Abstände (bestehender Abbau) zu den zukünftigen Abbaugrenzen (geplante Erweiterung).

Dabei wird die zukünftige Abbaugrenze ca. 120m näher an den Ortsteil Juhöhe herangeführt als es zurzeit im Bestand der Fall ist.

Für die Ortsteile Erbach und Sonderbach ändert sich aufgrund der bestehenden Abbaugrenzen nichts. Durch die Abbauführung nach Süden in die geplante Erweiterungsfläche werden die Abstände vergrößert und somit die Immissionen verkleinert.

Schutzobjekt		Lage zur geplanten Abbaugrenze	NN Höhe (aus Google Earth)	ca. Entfernung zur Abbaugrenze bisher	ca. Entfernung zur Abbaugrenze zukünftig	Einteilung nach DIN4150 Teil3 Tabelle1	Anhaltswert DIN4150 Teil3 Tabelle1
Sonderbach, Am Sonderbach 59	IO1	N	215 m	638 m		Zeile 3	3 mm/s
Sonderbach, Am Sonderbach 66 (B)	IO2	N	219 m	589 m		Zeile 3	3 mm/s
Sonderbach, Am Sonderbach 67 [C]	IO3	N	218 m	569 m		Zeile 3	3 mm/s
Sonderbach, Am Sonderbach 71 (D)	IO4	N	221 m	493 m		Zeile 3	3 mm/s
Sonderbach, Erbacher Weg 8	IO5	N	222 m	491 m		Zeile 3	3 mm/s
Sonderbach, nächst gelegenes Wohngebäude (Erbacher Weg 8a)	IO6	N	221 m	476 m		Zeile 2	5 mm/s
Erbach, Ortsstraße 86	IO7	NW	248 m	1191 m		Zeile 3	3 mm/s
Erbach, Ortsstraße 90	IO8	NW	250 m	1148 m		Zeile 3	3 mm/s
Erbach, nächst gelegenes Wohngebäude (Ortsstraße 92)	IO9	NW	252 m	1118 m		Zeile 2	5 mm/s
Juhöhe, Heppenheimer Str. 1 (J)	IO10	S	367 m	667 m	551 m	Zeile 3	3 mm/s
Juhöhe, Auf der Juhöhe 2 (K)	IO11	S	369 m	645 m	533 m	Zeile 3	3 mm/s
Juhöhe, Auf der Juhöhe 1	IO12	S	366 m	669 m	551 m	Zeile 2	5 mm/s
Juhöhe, Heppenheimer Str. 25	IO13	S	372 m	565 m	443 m	Zeile 2	5 mm/s
Hof Frauenhecke, Auf der Juhöhe 40	IO14	O	345 m	719 m	531 m	Zeile 2	5 mm/s

Tabelle 2. Schutzobjekte bzw. Immissionsorte mit ihrer Lage, minimale Entfernung zur Abbaugrenze der Bauabschnitte (BA) und Einteilung nach DIN 4150 Teil 3, Tabelle 1 – Höhe und Abstand von SST-Consult Ingenieurgesellschaft mbH vom 08.06.2018.

7.1 Beurteilung von erdverlegten Rohrleitungen

Für die Beurteilung von erdverlegten Rohrleitungen sind Anhaltswerte in der DIN4150, Teil3 Tabelle 3 angegeben.

Die Anwendung der Anhaltswerte setzt voraus, dass die Leitungen nach dem heutigen Stand der Technik hergestellt und verlegt wurden, andernfalls sind gesonderte Betrachtungen erforderlich. Das gilt ebenso für alle Leitungen, wenn Folgen aus bodenmechanischen Vorgängen zu befürchten sind oder unterschiedliche Einspannungsverhältnisse, z. B. bei Anschlüssen an Bauwerke, vorliegen.

Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für $v_{i,max}$ in mm/s auf der Rohrleitung
Stahl, geschweißt	100
Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit oder ohne Flansche	80
Mauerwerk, Kunststoff	50

Tabelle 3. Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Rohrleitungen (aus DIN4150, Teil3 Tabelle 3)

Aufgrund der relativ, zu den betrachteten Gebäuden, hohen Anhaltswerte für erdverlegte Rohrleitungen, kann eine kritische Belastung im Umfeld der geplanten Abbauerweiterung durch die Sprengerschütterungen ausgeschlossen werden.

8. Erschütterungsprognose und Lademengenbegrenzungen

Die RÖHRIGgranit GmbH® betreibt seit Jahrzehnten ein umfassendes Controlling, was die Planung, Aufzeichnung und Immissionskontrolle der Sprengarbeiten betrifft. So werden Erschütterungsmessungen auf der Juhöhe am Anwesen der Familie Rapp, Heppenheimer Str. 25, 69509 Heppenheim, durchgeführt, die mit maximaler Schwinggeschwindigkeit, Frequenz, Abstand, sprengtechnischen Parameter (u.a. Lademenge pro Zündzeitstufe), Wurf- und Abbaurichtung, bei jeder Sprengung dokumentiert wurden. Dabei ist die südliche Betrachtung der Schutzobjekte ist für die Erschütterungsausbreitung durch Sprengungen, anders als für den Lärm, die maßgebende.

Auf eine statistische Auswertung der gesamten aufgezeichneten spreng- und erschütterungstechnischen Daten wurde aufgrund des diffusen Zusammenhangs verzichtet.

Zur Absicherung einer Prognoseformel für die Sprengerschütterungen wurden stattdessen 198 Messergebnisse der Südwand von Mai 2010 bis April 2020 statistisch ausgewertet. Diese Abbauwand liegt am nächsten zum Immissionsort der Juhöhe, Heppenheimer Str. 25, 69509 Heppenheim. Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten mit der eingesetzten Lademenge (L) und des Abstandes (R) bilden daher eine gute Stichprobe für die gesamten durchgeführten Erschütterungsmessungen im Steinbruch Gehrenberg, der statistisch gesehenen Grundgesamtheit, ab.

Der Datensatz der Südböschung umfasst Datensätze mit Lademengen zwischen 54 kg und 158 kg (Mittelwert: 118 kg) und Radien zwischen 567 m und 751 m (Mittelwert: 630 m). Die gemessenen Geschwindigkeiten bewegen sich zwischen 0,50 mm/s und 3,90 mm/s (Mittelwert: 1,87 mm/s). Die maximale Frequenz ist zwischen 10 Hz und 79 Hz gemessen worden (Mittelwert 54Hz).

Da die Frequenz nicht prognostiziert werden kann, wird für die Prognoseformel eine Frequenz von kleiner oder gleich 10 Hz angenommen. Dies ist die ungünstigste Annahme.

Die durchschnittliche Hauptfrequenz der Schwinggeschwindigkeit wird jedoch aufgrund der aktuellen und im Datensatz gemessenen Schwinggeschwindigkeiten und den Erkenntnissen aus dem Sprenggutachten Dipl. -Ing. J. Busch (45 Hz) sehr viel höher erwartet.

Durch den Verfasser wurden am 08.05. und am 11.05.2017 sprengbegleitende Erschütterungsmessungen zur Kontrolle durchgeführt, die nicht in diese Bewertungen mit einfließen, da die Sprengungen nicht an der Südwand durchgeführt wurden und somit nicht repräsentativ für die Stichprobe sind.

Im Zuge des Abbaus variieren die Abstände der Sprenganlagen zu den einzelnen Schutzobjekten. Dabei können im Nahbereich geringere Lademengen pro Zündzeitstufe erforderlich werden. Die Schutzobjekte und deren minimaler Abstand zur Abbaugrenze wurden unter Punkt 7 angegeben.

Die Vorausermittlung der Einwirkung von Sprengerschütterungen auf Bauwerke wird in der DIN 4150, Teil 1, festgelegt.

Die DIN 4150 Teil 1 schreibt vor, dass prognostiziert, gemessen und beurteilt werden muss.

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

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

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)

Prognose

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

$$v = k L^b R^{-m} \quad (2)$$

Es bedeuten:

v	=	Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
k, b, m	=	empirisch ermittelte Kennwerte, die ihre Größe ändern können
L	=	Lademenge je Zündzeitstufe
R	=	Abstand der Sprengstelle zum Messort (m)

Die Prognose der Schwinggeschwindigkeiten erfolgte nach der Berechnungsformel BGR – kristallines Hartgestein (Bundesamt für Geophysik und Bodenmechanik Hannover).

Nach „Lüdeling/Hinzen“

$$v = k * L^{0,8} * R^{-1,3} \quad (3)$$

Der k-Wert wird auf 327 festgelegt.

Basis dieser Festlegung ist die statistische Auswertung der 198 Datensätze (**siehe Anlage 1**), die die lokale Erschütterungsübertragung der Emission auf den Immissionsort abbildet.

Der statistisch geschätzte k-Wert von 327 führt mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 in höchstens 5% aller Fälle zu Überschreitungen der Prognosewerte zu den gemessenen Werten. In 95% aller zu prognostizierenden Fälle sind die Messwerte kleiner als der Prognosewert.

Eine ausführliche Beschreibung der statistischen Auswertung, der als repräsentativ angenommenen Stichprobe von 198 Datensätzen, ist in Anlage 1 ausgeführt. Diese Datensätze werden statistisch als Stichprobe der Grundgesamtheit aller bisher durchgeführten Sprengungen und der in Zukunft durchzuführenden Sprengungen zu Grunde gelegt.

Bei der Erschütterungsprognose wurden verschiedene Lademengen in Bezug zur Entfernung der Sprengstelle zum Immissionsort betrachtet (**Anlage 2 bis 6**).

Die Prognose der Schwinggeschwindigkeiten ist durch geeignete Erschütterungsmessungen zu prüfen und die dann festgestellte Frequenz mit in die Betrachtung einzubeziehen.

Dem verantwortlichen Leiter der Sprengarbeiten bleibt es aufgrund der Abstände zu den Schutzobjekten überlassen, wie die Sprengparameter in Bezug auf die Lademenge pro Zündzeitstufe gewählt werden müssen.

Es können zugelassene elektrische, nicht elektrische und elektronische Zündsysteme eingesetzt werden. Es empfiehlt sich jedoch bei einer ausgeschöpften Optimierung der Sprengparameter das elektronische Zündverfahren anzuwenden, wenn durch die übrigen Zündverfahren die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 nicht eingehalten- bzw. Zündüberschneidungen nicht vermieden werden können.

Die Sprengparameter legt der Sprengberechtigte an Hand der örtlichen Verhältnisse eigenständig fest.

Der Sprengberechtigte hat folgende Sprengparameter für Gewinnungssprengungen sicherzustellen:

Maximaler Spezifischer Sprengstoffaufwand

$$q_{\text{spez,max}} = 0,950 \text{ kg/m}^3$$

Bei der Überschreitung des Maximalwertes von $0,950 \text{ kg/m}^3$ muss mit einer Wurfweite des Rohmaterials von mehr als der 3fachen Wandhöhe gerechnet werden. Es ist mit Streuflug zu rechnen.

Minimaler Spezifischer Sprengstoffaufwand

$$q_{\text{spez,min}} = 0,350 \text{ kg/m}^3$$

Bei der Wahl der Sprengparameter zur Einhaltung des spezifischen Sprengstoffbedarfs (q_{spez}) sollte immer auf die geometrischen Zusammenhänge der Sprenganlage, wie das Bohrlochraster ($a_b \times a_r$) bzw. der Ausbruchsfläche (A_b), den Bohrllochdurchmesser (D) und das sich daraus ergebende Lademetergewicht des Sprengstoffes (L_{ml}) verwiesen werden. Es gilt: $q_{\text{spez}} = f(a_b \times a_r, A_b, D, L_{ml})$.

Durch ein zu groß gewähltes Bohrlochraster kommt es zu einer Unterladung für die zu sprengende Kubatur. Dies ruft wiederum erhöhte Sprengerschütterungen durch die dann vergrößerte seismische Wirkung des Sprengstoffes hervor.

Neben einer Festlegung einer Obergrenze des spezifischen Sprengstoffaufwandes von $0,950 \text{ kg/m}^3$ Festgestein, sollte ebenso eine Untergrenze des spezifischen Sprengstoffaufwandes von ca. $0,350 \text{ kg/m}^3$ eingehalten werden, um einer Unterladung der Sprenganlage entgegen zu wirken.

$$\text{Minimale Vorgabe} \quad w_{\text{min}} = f(L_{ml})$$

Die Vorgabe w ist eine Funktion des Lademetergewichtes L_{ml} . Sie ist so zu wählen, dass das zu sprengende Gestein sicher geworfen werden kann und ein Steinflug, der die dreifache Wandhöhe übersteigt, minimiert wird.

Folgende Parameter sind sicherzustellen:

Lade- meter- gewicht	Mindestlängen		Ladevarianten Beispiele	
	Endbesatz	Vorgabe		
[kg/m]	[m] hb	[m] aw		
0.6	1.0	1.1	1/4 Patronen, d = 50 mm; mit Zw.-besatz	bei Zehen u. Sohl-Bl.: Abdeckung mit Splitt 0 - 11 oder zündtechnische Lösung
1.0	1.2	1.8	1/3 Patronen, d = 50 mm; mit Zw.-besatz	
1.0	1.5	1.5	1/2 Patronen, d = 50 mm; mit Zw.-besatz	
2.0	1.8	1.7	Patronen, d = 50 mm; Zw.-besatz	
2.5	1.8	1.9	Patronen, d = 50 mm; mit Wasser	
3.0	2.0	2.1	Patronen, d = 50 mm; gestaucht in trockenen Bohrlöchern	
4.0	2.3	2.4	Patronen, d = 50 u. 65 mm im Wechsel	
5.0	2.6	2.7	Patronen, d = 65 mm; loser ANC-Sprengstoff	
6.0	2.8	2.9	Patronen, d = 70 mm (geschlitzt); loser ANC Sprengstoff bei d _B = 92 mm	
7.8	2.9	3.0	Gepumpt, d _B = 89 mm	Patronen d _B = 80 mm
8.9	3.1	3.2	Gepumpt, d _B = 95 mm	Patronen d _B = 90 mm
10.2	3.3	3.4	Gepumpt, d _B = 102 mm	
10.8	3.4	3.5	Gepumpt, d _B = 105 mm	
11.9	3.6	3.7	Gepumpt, d _B = 110 mm	
13.0	3.8	3.9	Gepumpt, d _B = 115 mm	

Tabelle 4. Kritische Vorgaben in Abhängigkeit des eingesetzten Lademetergewichtes.

Minimum Endbesatz

Der minimal einzuhaltende Endbesatz beträgt 80% des Bohrlochabstandes oder 80% des Reihenabstandes der Bohranlage.

$$h_{Bmin} = 0,8 * a_{bmax} \text{ oder } 0,8 * a_{rmax} - \text{größerer Wert zählt}$$

9. Beispiel einer Ladungsberechnung

Der Sprengberechtigte legt, wie vorlaufend beschrieben, in Abhängigkeit der Wandhöhe, des Bohrlochdurchmessers, des gewählten Sprengstoffes, der Unterbohrung und des Endbesatzes sowie des Sprengstoffaufwandes die Bohrgeometrie (Bohrlochrasterung) fest:

$$q_{spez} = \frac{L_{ml} * (lb + ub - hb)}{A_b * lb}$$

$$A_b = \frac{L_{ml} * (lb + ub - hb)}{q_{spez} * lb}$$

spezifischen Sprengstoffbedarf ($q_{spez.}$)

Lademetergewicht des Sprengstoffes (L_{ml})

Bohrlochlänge (l_b)

Unterbohrung (u_b)

Endbesatz (h_b)

Ausbruchsfläche ($A_b = a_b \times a_r$)

Bohrlochabstand (a_b)

Reihenabstand (a_r) dieser entspricht der Vorgabe (a_v oder w) bei einreihiger Sprengung

Berechnungsbeispiel:

Örtliche Gegebenheiten:

Senkrechte Wandhöhe $h_w = 15,00 \text{ m}$

Wandneigung = Bohrlochneigung $\alpha = 15^\circ$

Bohrlochlänge $l_b = h_w / \cos \alpha \Rightarrow l_b = 15 \text{ m} / \cos 15^\circ$

Bohrlochlänge $l_b = 15,5 \text{ m}$

Gewählte Parameter:

Unterbohrung $u_b = 1,5 \text{ m}$

Endbesatz $h_b = 3,3 \text{ m}$

Bohrlochdurchmesser $d_B = 92 \text{ mm}$

Sprengstoffart => gep. Emulsionsspr. $L_{ml} = 8,9 \text{ kg/m}$ (nach Tabelle 4)

spezifischen Sprengstoffbedarf ($q_{spez.}$) $q_{spez.} = 0,650 \text{ kg/m}^3$

Lademeter $L_{Lm} = 13,7 \text{ m}$

Lademenge pro Bohrloch $L_{Bl} = 122 \text{ kg}$

Berechnete Parameter:

$$A_b = \frac{L_{ml} * (lb + ub - hb)}{q_{spez} * lb}$$

$$A_b = \frac{8,9 \frac{kg}{m} * (15,5 m + 1,50 m - 3,30 m)}{0,650 \frac{kg}{m^3} * 15,5 m}$$

$$A_b = 12,1 m^2$$

Bei symmetrischem Bohrlochraster ergibt sich:

$$ab = ar = \sqrt{12,1 m^2} = 3,47 m = w$$

Raster gewählt:

$$ab = ar = 3,5 m = w$$

Kontrollen nach gutachterlichen Festlegungen:

a) Sprengstoffaufwand

$$q_{min} = 0,350 kg/m^3 < 0,650 kg/m^3 < 0,850 kg/m^3 = q_{max} \Rightarrow \text{in Ordnung}$$

$$\text{Vorgabe } w = 3,5 > w_{min} = 3,2 m \text{ nach Tabelle 4} \Rightarrow \text{in Ordnung}$$

$$\text{Endbesatz } h_b = 3,3 \geq 0,8 \times 3,5 = 2,8 m \Rightarrow \text{in Ordnung}$$

$$\text{und } h_b = 3,5 m \geq 33 \times 0,09 = 3 m \Rightarrow \text{in Ordnung}$$

b) Maximale Lademenge pro Zündzeitstufe L_{mlZzst}

Die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe wird wie folgt bestimmt:

$$L_{mlZzst} = L_{ml} \times (l_b + u_b - h_b)$$

$$L_{mlZzst} = 8,9 kg/m \times (15,5 m + 1,50 m - 3,3 m)$$

$$L_{mlZzst} = 122 kg/Zzst.$$

Dieses Rechenbeispiel dient der Verdeutlichung des Berechnungsweges zur Dimensionierung der Sprenganlage für den Sprengberechtigten. Im Betrieb der RÖHRIGgranit GmbH® können die angenommenen Eingangsparameter abweichen.

Die tatsächlichen Parameter sind in der Praxis durch ein Ladeprotokoll und einen Sprengbericht zu erfassen. Abweichungen sind in der Lademengenberechnung schriftlich zu dokumentieren.

10. Festlegung der Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeiten

In den **Anlagen 2 bis 6** werden die maximalen Lademengen je Zündzeitstufe in Bezug zum Abstand zu den Schutzobjekten gesetzt. Daraus generieren sich die zu erwartenden maximalen Schwinggeschwindigkeiten.

Die Anhaltswerte der Prognose wurden gemäß der DIN 4150 Teil 3, Tabelle 1 aus Sicherheitsgründen 20% unterhalb der Anhaltswerte gesetzt und wie folgt für Frequenzen $\leq 10\text{Hz}$ festgelegt:

- Zeile 1 16,0 mm/s
- Zeile 2 4,0 mm/s
- Zeile 3 2,4 mm/s

Tabellenwerte Anlage 2 bis 6 als Planungsgrundlage

Wird z.B. der Wert für Wohngebäude überschritten (orangene oder rote Färbung), so muss die Lademenge pro Zündzeitstufe entsprechend reduziert werden (Sprengstoff mit kleinerem Lademetergewicht; Reduzierung Bohrlochdurchmesser, geteilte Ladesäule, Teilung der Wand etc.).

Der Vergleich erfolgt immer mit der unter Punkt 7 festgelegten Einteilung der Schutzobjekte mit der entsprechenden Zeilennummer, die den Anhaltswert nach DIN 4150, Teil 3, Tabelle 1 für die einzelnen Gebäudeklassen festlegt.

Die Sprenganlage ist auf ihre Verspannung im Gebirge (ein-, zwei-, drei-, oder allseitig) zu prüfen und ggf. Freiflächen zu schaffen, um die Erschütterungsemission zu reduzieren.

Die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3, Tabelle 1 dürfen auch bei höheren Frequenzen als 10Hz nur zu 80% erreicht werden ($v_{\max} = f(F)$). Bei Erreichung dieses Grenzwertes sind sprengtechnische Maßnahmen zur Reduzierung der Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Frequenz einzuleiten.

Anmerkung

Wie auf Seite 22f bereits erwähnt, wird die durchschnittliche Hauptfrequenz der Schwinggeschwindigkeit aufgrund der aktuellen Messergebnisse und den Erkenntnissen aus dem Sprenggutachten Dipl. -Ing. J. Busch mit 45 Hz als Fundamentwert angenommen.

Für Frequenzen von z.B. **45 Hz** ergeben sich die Anhaltswerte wie folgt:

- Zeile 1 30,0 mm/s
- Zeile 2 11,0 mm/s
- Zeile 3 6,0 mm/s

11. Beurteilung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden

In Räumen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, haben „spürbare“ Erschütterungen eine unerwünschte Eigenschaft. Die Wirkungen, die Erschütterungen bei Menschen verursachen, sind nicht nur von der Stärke der Schwingungen, sondern auch von anderen augenblicklichen Einwirkungen abhängig wie z. B. Lärm, sichtbare Bewegungen, Klappern von Gegenständen, Vibrieren von Fenstern und Türen u.a.m. Dieses kann durch Sprengarbeiten ausgelöst werden (siehe Tabelle 5).

Stufe	v in mm/s	Charakter der Spürbarkeit
0	0,125	Schwellenwert, beginnende Schwingungsempfindung
1	0,125 - 0,325	eben spürbar, kaum unangenehm, gut erträglich
2	0,325 - 1,25	gut spürbar, bei stundenlanger Einwirkung unangenehm, erträglich
3	1,25 - 3,75	stark spürbar, bei stundenlanger Einwirkung recht unangenehm, noch erträglich
4	3,75 - 12,5	unangenehm, bei stundenlanger Einwirkung nicht erträglich, höchstens eine Stunde zumutbar
5	12,5 - 37,5	sehr unangenehm, höchstens 10 Minuten zumutbar
6	37,5 - 100	äußerst unangenehm, höchstens 1 min zumutbar

Tabelle 5. Spürbarkeit von vertikalen (Dauer-) Erschütterungen (nach Diekmann)

Um die für die Beurteilung auf den Decken der Wohngebäude auftretenden Erschütterungen zu ermitteln, muss die Vergrößerung der Erschütterungen vom Fundament zum Obergeschoss bedingt durch die dynamischen Eigenschaften der Gebäude, berücksichtigt werden. Die Beurteilung der Wirkung der Erschütterungen

erfolgt durch einen sogenannten KB_{Fmax} -Wert. Er kann aus der Schwinggeschwindigkeit und der begleitenden Frequenz näherungsweise ermittelt werden.

11.1 Beurteilung des KB_{Fmax} -Wertes, gemessen an Hand der Erschütterungsprognose nach DIN 4150, Teil 2

Der KB_{Fmax} -Wert muss im Wohngebäude, am Ort der stärksten Einwirkung, dies ist in der Regel die Deckenmitte von Räumen, die für den dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, ermittelt und berechnet werden. Der dort ermittelte Wert macht keine Aussage über die Schwingungsanfälligkeit von Bauwerken, er wird nur für die bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke hinsichtlich von Menschen herangezogen.

Die Übertragung von Schwinggeschwindigkeiten vom Fundament auf die Deckenmitte des darüber befindlichen Raumes ist nach Erkenntnissen des Verfassers in der Regel mit einem Faktor 2 bis 3 zu ermitteln. Die am 08.05.2017 und am 11.05.2017 durchgeführten Erschütterungsmessungen am Anwesen der Familie Rapp, Heppenheimer Str. 25, 69509 Heppenheim / Juhöhe zeigten einen Überhöhungsfaktor von 1,1 und 1,3. Der gewählte Faktor für die meist 2-geschossige Gebäudeklasse wird für die vorhandene Bebauung der Juhöhe konservativ auf 3 bis 5 festgelegt.

Hierbei können geringe Schwankungen aufgrund des Resonanzverhaltens der Gebäudeteile auftreten. In der Regel sind die Frequenzen auf der Deckenmitte höher als am Fundament, wobei sich der KB_{Fmax} Wert in einem Frequenzbereich von ca. 8 Hz bis ca. 30 Hz nicht verändert, sondern von der maximalen einwirkenden Schwinggeschwindigkeit abhängt (siehe Tabelle 6).

Zeile	Einwirkungsort	tags	v _{max} in mm/s bei Vorzugsfrequenz					
		Ao	5 Hz	10 Hz	20 Hz	40 Hz	60 Hz	80 Hz
1	nur gewerbliche Anlagen bzw. Wohnungen für Inhaber von Betrieben	6	21,2	16,2	14,7	14,3	14,2	14,2
2	vorwiegend gewerbliche Anlagen							
3	weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen	5	17,7	13,5	12,2	11,9	11,8	11,8
4	vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen	3	10,6	8,1	7,3	7,1	7,1	7,1
5	besonders schutzbedürftig, z.B. Krankenhäuser, Kurkliniken...							

Tabelle 6. Anhaltswerte Ao der DIN4150-2 und korrespondierende Schwinggeschwindigkeiten - frequenzabhängig

Der Nachweis des KB_{Fmax} – Wertes erfolgt beispielhaft aufgrund der Erschütterungsprognose und einem prognostizierten Fundamentwert von **3,9 mm/s (Beispielhaft dem Maximalwert aus der Stichprobe)** sowie einem Überhöhungsfaktor (**ÜF**) von **3** (Fundament zu oberster Deckenebene). Dieser Wert wurde bei den betrachteten 198 Messergebnissen der Südwand von Mai 2010 bis April 2020 einmal erreicht. In der Anlage 3 können die zugehörigen Lademengen / Abstandsbeziehungen abgelesen werden.

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}}$$

$$KB_{fmax} = KB \cdot c_F$$

KB/KB _{fmax}	Beurteilungsgröße, dimensionslos
v _{max}	maximale Schwinggeschwindigkeit {mm/s}
f ₀	Grenzfrequenz des Hochpasses [Hz]
f	Frequenz [Hz]
c _F	Konstante, dimensionslos, 0,6 für Ereignisse kurzer Dauer ohne Resonanzbeteiligung

v _{Prognose Fundament}	=	3,9	mm/sec.
v _{max}	=	3 x 3,9 = 11,7	mm/sec.
f	=	10	Hz

$$KB_{Fmax} = 4,4$$

Die Wohngebiete werden aufgrund der Nutzung Wohnen und Gewerbe in der Zeile 3 der Tabelle 1 - DIN 4150 Teil2 (siehe Tabelle 7 folgende Seite) eingeordnet. Daraus ergibt sich ein tagsüber zulässiger **A₀-Wert von 5,0**.

Im Übrigen gibt es laut BürgerGIS des Landkreises Bergstraße im Ort Juhöhe nördlich der L3120 keinen Bebauungsplan. Damit ist von den Festlegungen im Flächennutzungsplan auszugehen, in dem diese Flächen als M (Mischgebiet) markiert sind. Dies bestätigt den angenommenen A₀-Wert laut Zeile 3 der Tabelle 1 der DIN 4150-2 von 5.

Für Sprengungen gilt außerdem:

Für selten auftretende und nur kurzzeitig einwirkende Erschütterungen bis zu 3 Ereignissen je Tag, z.B. Sprengungen, ist die Norm eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \leq A_0$ für das entsprechende Gebiet der Zeilen 1 bis 5 der Tabelle 1 ist (das $KB_{FTr} \leq A_r$ -Kriterium entfällt). Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung⁶ der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7:00 bis 13:00 Uhr und 15:00 bis 19:00 Uhr erfolgen, gelten in Gebieten der Zeile 3 und 4 auch A₀-Werte der Zeile 1, wenn nur 1 Ereignis pro Tag stattfindet (**$KB_{Fmax} \leq A_0 = 6$**).

Es gilt dabei die Norm als eingehalten, wenn $KB_{Fmax} \leq A_0$ oder
als nicht eingehalten, wenn $KB_{Fmax} > A_0$ ist

Bis ca. 570m wird der $KB_{Fmax} - A_0$ - Wert bei einer Lademenge von 120kg nach der Erschütterungsprognose eingehalten und liegt mit 4,4 nach Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 2, Zeile 3, innerhalb der Anforderungen.

Damit ist nachgewiesen, dass auf Grundlage der in diesem Fall prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten die Menschen in Gebäuden nicht unzumutbar beeinträchtigt werden.

Schlussfolgernd wurden auch bei dem maximal festgestellten Fundamentwert von 3,9 mm/s aus der Stichprobe die Anwohner nicht unzumutbar belastet.

In wenigen Fällen pro Jahr (bis zu 10mal) dürfen die **$KB_{Fmax} -$ Werte bis 8** betragen. (DIN 4150 – 2, 1999-06, Seite 7).

⁶ Als Vorwarnung gelten auch die Sprengsignale

Zeile	Einwirkungsort	tags			nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industrie- gebiete § 9 BauNVO)	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete § 8 BauNVO)	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete § 6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO)	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet § 3 BauNVO, allgemeine Wohngebiete § 4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete § 2 BauNVO)	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05
In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung - BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkung vor genommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt							

Tabelle 7. DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1: Anhaltswert A0 für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

12. Einrichtungen der öffentlichen Versorgung

Zu den Einrichtungen der öffentlichen Versorgung gehören Gas-, Wasser, Abwasser- und Stromleitungen. Diese Leitungen werden im Umkreis des Steinbruchs nicht beeinträchtigt.

Erdverlegte Rohrleitungen wurden bereits in Punkt 7.1 betrachtet.

In die Betrachtung fällt jedoch der Funksendemast in Erbach.

Der Funksendemast selbst wird durch die geplanten Sprengarbeiten nicht beeinflusst. Jedoch ist es möglich, dass der Funksendemast die evtl. einzusetzenden elektrischen Zünder durch Hochfrequenzenergien negativ beeinflussen kann.

12.1 Funksendemast Erbach

Auf der Gemarkung Erbach, Flur 3, Flurstück 41 steht ein Funksendemast. Der minimale Abstand zu den geplanten Sprengarbeiten beträgt 1200 m. Im Folgenden wird untersucht, ob sich die von dem Funksendemast ausgehenden Hochfrequenzenergien auf die elektronische bzw. elektrische Zündung auswirken.

Grundlage für den Nachweis des Vermeidens einer frühzeitigen Zündung durch Hochfrequenzenergien ist die Technische Regel Sprengarbeiten TR 310 - Anhang T-10 „Ermittlung des Mindestabstandes zu Hochfrequenzsendern“

Über die Bundesnetzagentur wurde die Standortbescheinigung (**Anlage 3**) des Funkmastes vorgelegt, aus der hervorgeht, dass 9 Sendeanlagen auf dem Mast installiert sind.

Der Mindestabstand errechnet sich für die beiden angewandten Zünderklassen (II entspricht U-Zünder; IV entspricht HU-Zünder) aus den einzelnen EIRP-Werten in Watt (= equivalent isotropically radiated power, die äquivalente isotrope Sendeleistung) und den rechnerischen Mindestabständen der Sender wie folgt:

$$a_{\text{MSR}} = \sqrt{(a_{\text{MRI}})^2 + (a_{\text{MRI}+1})^2 + (a_{\text{MRI}+2})^2 + \dots + (a_{\text{MRI}+n})^2} \quad (6)$$

Wenn der so ermittelte Mindestabstand a_{MSR} kleiner ist als jeder Abstand zu den einzelnen Sendern a_{S} , sind keine weiteren Schritte erforderlich.

Die einzelnen Mindestabstände werden für die Zünderklassen II (U) und IV (HU) wie folgt ermittelt: Sendefrequenz > 100MHz

$$a_{M(U)} = \sqrt{EIRP} \quad (7)$$

$$a_{M(HU)} = 0,3\sqrt{EIRP} \quad (8)$$

Nr.	Betriebsfrequenz	EIRP	$a_{M(U)}$	$a_{M(HU)}$
1	925 MHz	3342,87	58 m	17 m
2	925 MHz	3342,87	58 m	17 m
3	925 MHz	3342,87	58 m	17 m
4	791 MHz	3351,05	58 m	17 m
5	791 MHz	3351,05	58 m	17 m
6	791 MHz	3351,05	58 m	17 m
7	2130 MHz	2130	46 m	14 m
8	2130 MHz	2130	46 m	14 m
9	2130 MHz	2130	46 m	14 m
			163 m	49 m

Tabelle 8. Mindestabstände zu den Hochfrequenzsendern des Funksendemastes

Aus der Tabelle 2 ergibt sich unter Anwendung der im Vorfeld aufgeführten Berechnungsformeln ein Mindestabstand für U-Zünder der Zünderklasse II $a_{M(U)} = 163\text{m} < 1.200\text{m}$ und für HU-Zünder der Zünderklasse IV $a_{M(HU)} = 49\text{m} < 1.200\text{m}$.

Für die Durchführung der Sprengarbeiten werden keine Einschränkungen hinsichtlich der Zündtechnik in Bezug auf den Funksendemast Erbach vorgenommen.

13. Zusammenfassung – gutachterliche Empfehlung

Die Firma RÖHRIGgranit GmbH® Heppenheim, betreibt auf der Gemarkung Sonderbach der Stadt Heppenheim einen Steinbruch zur Gewinnung von Granit mit angeschlossener Brech- und Aufbereitungsanlage zur Herstellung von hochwertigen veredelten Bau- und Straßenbauzuschlagstoffen sowie von hochwertigen Produkten zur Herstellung von Putzen, Mörteln, Farben und Lacken.

Zur Rohstoffsicherung des Betriebes und der Region plant das Unternehmen eine Abbauerweiterung in südlicher Richtung.

13.1 Stand und zukünftige Verfahrensweise der angewandten Sprengtechnik im Betrieb Gehrenberg

Die Sprengarbeiten im Steinbruch Gehrenberg der RÖHRIGgranit GmbH® werden über die allgemein anerkannten Regeln der Sprengtechnik hinaus, nach dem Stand der Sprengtechnik in Deutschland, durchgeführt.

Folgende Maßnahmen werden zurzeit durch die RÖHRIGgranit GmbH® für eine sichere und fachgerechte Sprengarbeit umgesetzt:

- a) Die Bruchwandvermessung erfolgt mit einem elektronischen Lasertheodolit.
- b) Die Auswertung und Planung der Bohr- und Sprengparameter wird auf Grundlage der Bruchwandvermessung mit einer speziellen Planungssoftware durchgeführt. Dort erfolgt auch eine genaue Ladungsberechnung. Zündpläne werden erstellt.
- c) Die Übertragung der geplanten Bohrlochansatzpunkte auf das Bohrfeld erfolgt mit einem georeferenzierten GPS-System.
- d) Die erstellten Bohrlöcher werden mit einer Bohrlochsonde vermessen. Der Verlauf, die tatsächliche Neigung und Tiefe werden dann in der Planungssoftware weiterverarbeitet. Die Ladungsberechnung kann so dem ermittelten Bohrlochverlauf angepasst werden.
- e) Die Sprengungen werden mit einer hochauflösenden Videokamera gefilmt. Die Sprengung selbst mit der Haufwerksbewegung und somit auch die Planung und Durchführung, können analysiert werden.

- f) Es werden sprengbegleitende Erschütterungsmessungen mit modernsten Messgeräten vorgenommen, bei denen persönlich gemessen wird. Das subjektive Empfinden der Anwohner wird dokumentiert.
- g) Die Behörde wird rechtzeitig vor jeder Sprengung informiert.
- h) Halbjährlich wird eine Sprenganalyse durchgeführt. Die Sprengberechtigten werden intern unterwiesen und geschult.
- i) Es werden intern festgelegte Ziele für die Einhaltung von Schwinggeschwindigkeiten bei den Sprengerschütterungen festgelegt und überprüft. Diese internen Grenzwerte liegen weit unter den erlaubten Anhaltswerten. Bei Überschreitung erfolgt eine Ursachenermittlung und es werden Maßnahmen festgelegt.
- j) Es wird ein Beschwerdemanagement mit dem Ziel betrieben, mit den Betroffenen zu kommunizieren und Lösungswege zu finden – Lenkungsmaßnahmen.
- k) Durch das Betreiben von EMAS – Umweltmanagementsystem – werden zum einen alle notwendigen Maßnahmen zur sicheren und umweltschonenden Sprengausführung im Rahmen der Unternehmenspolitik umgesetzt, zum anderen wird im regelmäßigen Turnus eine Umwelterklärung erstellt.

Die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten der RÖHRIGgranit GmbH® zeigen eine positive Entwicklung. In den letzten vier Jahren lagen die Messwerte im Schnitt ca. 70 bis 90 % unter den Grenzwerten, bezogen auf den Fundamentanhaltswert nach DIN4150-3. Dies liegt in einer ständig optimierten Sprengtechnik über die letzten zwanzig Jahre begründet.

Im Zeitraum von 2014 bis Mitte 2018 lag der höchste Erschütterungswert bei ca. 25,7 % des zulässigen Grenzwertes.

13.2 Schlussbetrachtung

Im vorliegenden Gutachten wurden die Gefährdungen von Personen und Sachgütern durch Sprengarbeiten in dem vorgesehenen Erweiterungsgebiet des Steinbruchs Gehrenberg untersucht. Dabei wurden auch die Erschütterungsimmissionen auf die genannten Schutzobjekte und die Einwirkung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden analytisch betrachtet.

Eine Gefährdung von Personen und/oder Schutzobjekten durch Sprengarbeiten im bezeichneten Bauvorhaben ist, bei der Einhaltung der hier erfolgten Festlegungen, mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit, ausgeschlossen.

Mit der Erweiterungsfläche Richtung Süden wird auch zukünftig ein Abstand von mindestens 400 m zur Juhöhe eingehalten. Durch die Näherung zur Juhöhe Richtung Süden werden insbesondere durch die vorlaufend beschriebenen Maßnahmen, die Erschütterungsimmissionswerte auch zukünftig weit unter den Grenzwerten liegen und auf gleichem bzw. ähnlichem Niveau wie heute bleiben.

Bei einer Überschreitung der Lademenge pro Bohrloch in Bezug auf prognostizierte und gemessene Erschütterungswerte werden geometrische und zündtechnische Maßnahmen erforderlich, wie sie vorlaufend beschrieben wurden.

Um die Erschütterungsimmissionen auf die Ortslage Juhöhe zu reduzieren, wird empfohlen, neben der Wandhöhe auch die Abbaurichtung und damit auch die Sprengrichtung anzupassen. Diese sollte dann von Ost nach West oder umgekehrt erfolgen, so dass die Erschütterungsimmissionen, die sich in gleicher Weise bevorzugt ausbreiten, in Richtung der Ortslage Juhöhe weiter minimiert werden.

Die Gemeinden Bonsweier in südöstlicher Richtung sowie Ober-Laudenbach in südwestlicher Richtung werden durch diese Maßnahme aufgrund der größeren Entfernung nicht negativ beeinflusst.

Eine Begrenzung der Wandhöhen aufgrund sprengtechnischer Zwänge ist nicht erforderlich, da die errechneten Lademengen pro Zündzeitstufe theoretisch für Wandhöhen bis 30 m mit ein- oder mehrfach geteilter Ladesäule einsetzbar wären.

Empfohlen werden geringere Wandhöhen als 30 m, da diese bohr- und sprengtechnisch beherrschbarer sind. Es empfehlen sich Wandhöhen von 10 bis 20 m, die dann weitestgehend mit durchgehender Ladesäule gezündet werden können. Die Sprengparameter sind dann, wie beschrieben, anzupassen.

Es wird empfohlen, die Erschütterungsimmissionen in Abständen durch einen geeigneten Sachverständigen als Fremdüberwachung prüfen zu lassen. Dabei sind auch die Überhöhungsfaktoren (ÜF) der Schwinggeschwindigkeiten vom Fundament auf die oberste Deckenebene messtechnisch zu bestimmen.

Hierfür wird angeraten, hierfür zeitlich begrenzt an den nächsten Gebäuden eine Dauermessstelle am Fundament sowie auf der obersten Deckenebene zu betreiben.

In Eigenüberwachung sollten die Schwinggeschwindigkeiten regelmäßig an den genannten Schutzobjekten durch geeignete Messgeräte mit Schalldruckmessung überprüft werden.

Es ist zielführend, die Häufigkeit der Messungen möglichst in Abhängigkeit des Abbaus und der Näherung der Sprengstellen an die Schutzobjekte zu wählen.

Dieses Gutachten wurde nur für die in Punkt 4 genannte Aufgabenstellung erstellt und ist nur für diesen Einzelfall zu verwenden.



Dipl.-Ing. (FH) Manfred Krämer



St.Wendel, den 09.08.2020

14. Nachweis der benutzten betrieblichen Unterlagen und der Literatur

- [1] Ortstermine am 04.08. und 11.05.2017 - Gesprächsvermerke

- [2] Antrag auf Änderung der Schutzwaldklärung sowie auf Umwandlung von Wald in eine andere Nutzungsform vom Mai 2016, Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH

- [3] Planunterlagen Lagepläne der Abbaugrenzen und der Bebauungen, Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH

- [4] Genehmigungsbescheid vom 12.03.2007 Az IV/da 43.1 – 53e 621 –Röhrig (6) auszugsweise Seite 1 – 13 und Seite 25 – 27

- [5] Sprengsachverständigengutachten Dipl.-Ing. Jürgen Busch, vom 31.01.2005

- [6] Bericht über die Durchführung von Geräuschmessungen vom 11.01.2017; InfraServ GmbH

- [7] Erschütterungsmesswerte Steinbruch Gehrenberg Südwand von Mai 2010 bis April 2020

- [8] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 1, Sep. 2001, Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlung von Schwingungsgrößen

- [9] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 2, Jun. 1999, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden

- [10] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 3, Dez. 2016, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf bauliche Anlagen

- [11] DEUTSCHE NORMEN, DIN 20163, Nov. 1994, Sprengtechnik; Begriffe, Einheiten, Formelzeichen

- [12] DEUTSCHE NORMEN DIN 45669-1, Juni 1995, Messungen von Schwingungsimmissionen Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen, Prüfung“

- [13] DR. P.LICHTE, Ratgeber Erschütterungen, Leitfaden und Arbeitshilfe für die Arbeit mit erschütterungsemitierenden Vorgängen im Bauwesen und Sprengtechnik.

- [14] ROLF SCHILLINGER, Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis, 2009 Carl Hanser Verlag München

- [15] Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungs-
immissionen; Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom
10. MAI 2000

- [16] Handlungshilfe, Deutscher Sprengverband, Empfehlung zur
Steinflugverhinderung bei Gewinnungssprengungen, März 2012

- [17] Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (SprengTR 310 -
Sprengarbeiten). Vom 5. Oktober 2016 (BANz. vom 11.10.2016, B1)

- [18] DGUV Regel 113-016 (bisher BGR/GUV-R 241) Ausgabe: März 2012 –
aktualisierte Fassung November 2015

- [19] K. Wietlake, Beurteilung tieffrequenter Geräuscheinwirkungen unter
Berücksichtigung von Sprengknallen. Die Naturstein-Industrie 1/94, S. 14, 1994

- [20] Dr. Rolf Lüdeling; Dr. Klaus-Günter Hinzen; Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover: Erschütterungsprognose und
Erschütterungskataster – Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der
Sprengerschütterungen. Nobelhefte April – September 1986

Anlagen

(Anlage 1) Beschreibung der statistischen Ermittlung des k-Wertes zur Prognoseformel

(Anlage 2) Erschütterungsprognose Fundament, Lademengen / Abstandstabelle

(Anlage 3) Erschütterungsprognose OG, $\ddot{U}F=3$, Lademengen / Abstandstabelle

(Anlage 4) Erschütterungsprognose OG, $\ddot{U}F=5$, Lademengen / Abstandstabelle

(Anlage 5) Prognose KB_{Fmax} OG, $\ddot{U}F=3$, Lademengen / Abstandstabelle

(Anlage 6) Prognose KB_{Fmax} OG, $\ddot{U}F=5$, Lademengen / Abstandstabelle

ANLAGE 1

Ermittlung und statistische Absicherung der Erschütterungszahl, für die in maximal 5% der Fälle der Prognosewert größer als der Messwert ist.

Grundlegend zum Sprachgebrauch: Die Anwendung statistischer Methoden dient (nicht nur) im vorliegenden Fall dazu, Bedingungen unbekannter Ereignisse in der Zukunft vorherzusagen. Im Sprachgebrauch der Statistik bedeutet dies, dass aus den bekannten Daten einer Stichprobe (= Datensatz von 198 Messergebnissen) die Bedingungen in einer theoretisch unendlichen Grundgesamtheit **geschätzt** werden. Der Begriff des Schätzens stellt in diesem Sinn einen Terminus technicus dar, der **abweichend vom umgangssprachlichen Gebrauch** in keiner Weise eine verminderte Qualität der statistisch ermittelten Kennwerte bedeutet.

Datenlage

Die zur Verfügung stehenden Daten umfassen 198 Datensätze, aus denen für Sprengungen im Zeitraum Mai 2010 bis April 2020 die folgenden Messwerte für die nachfolgenden Berechnungen verwendet wurden:

Lademenge L in kg pro Zündzeitstufe

Entfernung R zum Immissionspunkt (IP) in m

Geschwindigkeit v am Fundament in mm/s

Lokale Faktor k - dimensionslos

Basierend auf der Formel

$$v = k * L^b * R^{-m}$$

Aufgelöst nach k wurde für jede Sprengung der lokale k-Wert ermittelt sowie als 10er-Logarithmus des k-Wertes die lokale Erschütterungszahl. Als konstant und auch für die Gegebenheiten geltend wurden die Parameter b und m angenommen.

Der Datensatz wurde auf die Südböschung des genehmigten Abbaus gefiltert. Er umfasst Datensätze ausschließlich von einem IP mit Lademengen ausschließlich zwischen 54 kg und 158 kg (Mittelwert: 118 kg) und Radien ausschließlich zwischen 567 und 751 m (Mittelwert: 630 m). die gemessenen Geschwindigkeiten bewegen sich zwischen 0,50 und 3,90 mm/s (Mittelwert: 1,87 mm/s).

Vorgehensweise

Die Erschütterungszahl, bei der in nicht mehr als 5% der Fälle Schwinggeschwindigkeiten über der aufgrund von Stichprobendaten prognostizierten Schwinggeschwindigkeit auftreten, entspricht dem 95. Perzentil der Verteilung der Erschütterungszahlen. Das 95. Perzentil in der Stichprobe lässt sich entweder statistisch schätzen oder numerisch ermitteln.

1. statistische Schätzung des Perzentilwerts aus zentraler Tendenz und Dispersion:

Für die verbreitete Schätzung eines Perzentilwerts basierend auf der zentralen Tendenz (hier: arithmetisches Mittel) und der Dispersion (hier: Varianz und daraus abgeleitete Konzepte) wird eine bekannte theoretische Verteilung der Daten, meist die Normalverteilung, angenommen. Die Schätzung des Perzentilwerts erfolgt dann auf der Basis der bekannten Eigenschaften der Standard-

Normalverteilung (Mittelwert = 0, Standardabweichung = 1). Der Perzentilwert P_{Qu} für ein Quantil Qu (hier z.B. 95%) wird ermittelt aus

$$P_{Qu} = \bar{x} + z_{Qu} * s$$

wobei z_{Qu} der Wert ist, bis zu dem der Flächeninhalt unter der Normalverteilungskurve dem Wert Qu entspricht (in diesem Fall also 0,95). Der z-Wert für das 95. Perzentil beträgt 1,65⁷.

2. Rechnerische Ermittlung des Perzentilwerts einer Stichprobenverteilung:

Dazu wird der Wert gesucht, unterhalb dessen das entsprechende Quantil der gemessenen Werte in der Stichprobe liegen. Für diese Ermittlung ist keine Annahme hinsichtlich der Verteilung der Messwerte notwendig.

Für beide Verfahren gilt, dass man hiermit den Perzentilwert der jeweiligen Stichprobe errechnet, nicht aber denjenigen, der in der Grundgesamtheit zu erwarten ist. Versucht man, über die Stichprobe hinaus auf die theoretisch unendliche Grundgesamtheit zu schließen, so stellt dies eine statistische Schätzung dar. Dieser Schluss sollte gegen mögliche Fehlentscheidungen aufgrund des Stichprobenfehlers mit einem akzeptablen Risiko für eine Fehlentscheidung (in der Regel < 5%) abgesichert werden. Die statistische Absicherung dieser Schätzung erfolgt mittels der Berechnung von Konfidenzintervallen (CI). Konfidenzintervalle sind diejenigen Intervalle, innerhalb derer ein Kennwert in der Grundgesamtheit mit einer angebbaren Wahrscheinlichkeit (hier 95 %) vermutet werden kann.

Die Schätzung des Perzentilwerts in der Grundgesamtheit kann ähnlich wie die Berechnung des Perzentilwerts in der Stichprobe mittels zweier unterschiedlicher Verfahren vorgenommen werden:

1. Schätzung und statistische Absicherung des Perzentilwerts der Grundgesamtheit auf der Basis der zentralen Tendenz und der Dispersion in der Stichprobe:

Diese Schätzung erfolgt auf der Grundlage zweier Annahmen:

- Die Stichprobe stellt eine gute Stichprobe dar, die die Grundgesamtheit sowohl hinsichtlich der Spannweite der auftretenden Messwerte als auch hinsichtlich deren Verteilung gut repräsentiert.
- Die Fehlerkomponenten in der Grundgesamtheit sind tatsächlich normalverteilt.

Sind beide Voraussetzungen erfüllt, kann das 95. Perzentil aus Mittelwert und Varianz der Stichprobe errechnet werden und anhand des Konfidenzintervalls des Mittelwerts statistisch abgesichert werden. Für die Absicherung gegen eine Überschreitung der oberen Grenze des Intervalls (einseitiges 95%-CI) addiert man zur oberen Grenze des Konfidenzintervalls des Mittelwerts 1,65 mal die geschätzte Standardabweichung der Grundgesamtheit.⁸

2. Schätzung des Konfidenzintervalls mittels Resampling-Verfahren (z.B. Bootstrapping):

Für diese Schätzung ist lediglich die Annahme

- Die Stichprobe stellt eine gute Stichprobe dar, die die Grundgesamtheit sowohl hinsichtlich der Spannweite der auftretenden Messwerte als auch hinsichtlich deren Verteilung gut repräsentiert.

⁷ Gelegentlich wird stattdessen der z-Wert 2 angenommen und der Perzentilwert über

$$P_{Qu} = \bar{x} + 2 * s$$

geschätzt. Grundlage dafür scheint das Missverständnis der Tatsache zu sein, dass die Fläche der Standardnormalverteilung über dem Intervall

$$\bar{x} \pm 2 * s$$

ca 95,45% der gesamten Fläche beträgt. Damit ist die obere Intervallgrenze allerdings keine Schätzung des 95. sondern des 97,5. Perzentils.

⁸ Stichprobenfehler, die die Standardabweichung verzerren könnten, werden hierbei nicht berücksichtigt. Für die Berechnung dieser Unsicherheiten liegen keine Standard-Verfahren vor

notwendige Voraussetzung. Resampling-Verfahren simulieren auf der Basis der Stichprobendaten eine Verteilung möglicher Stichprobenkennwerte für Stichproben mit dem gleichen Umfang aus der jeweiligen Grundgesamtheit. Dazu werden sehr häufig (>1000 mal) neue mögliche Stichproben als Zufallsziehungen aus der gegebenen empirischen Stichprobe mit zurücklegen gezogen und an diesen Bootstrap-Replikationen die gleiche Statistik berechnet. Aus der Verteilung der Bootstrap-Statistiken können dann Konfidenzintervalle für den gewählten Schätzer berechnet werden.

Anwendung auf das beschriebene Problem

1. Schritt: Überprüfung der Voraussetzungen:

Die Frage, ob die Stichprobe die Grundgesamtheit gut repräsentiert kann mit Mitteln der Statistik nur begrenzt diskutiert werden. Vielmehr sollte dies auf der Basis des Fachwissens zu dem jeweils betrachteten Sachverhalt beantwortet werden.

Die unten angeführten Berechnungen beruhen auf der Annahme, dass diese Voraussetzung erfüllt ist.

Die Annahme der Normalverteilung kann sowohl analytisch diskutiert als auch empirisch für die Stichprobe untersucht werden.

Analytisch ist die Annahme normalverteilter Fehlerkomponenten in der Grundgesamtheit nicht unbedingt plausibel. Die zukünftig zu erwartenden Sprengungen erfolgen voraussichtlich im gesetzlich-normativ gegebenen Rahmen und mit dem Ziel eines im ökonomischen Sinn effizienten Abbaus. Beide Komponenten schränken den Wertebereich sowohl der Lademengen als auch der Radien ein, was grundsätzlich eine Normalverteilung wenig plausibel macht. Für weitere Fehlerkomponenten (ungenau Bohrtiefen, Trennfächengefüge des Gesteins, Wasserführung etc) kann dagegen angenommen werden, dass diese bei jeder Sprengung zufällig auftreten und damit in der Summe einer Normalverteilung entsprechen. Trotzdem kann insgesamt analytisch die Annahme der Normalverteilung nicht aufrecht erhalten bleiben.

Bei der empirischen Überprüfung der Verteilung der Stichprobendaten kann sich trotz dieser rein analytischen Bedenken ergeben, dass Abweichungen von der Normalverteilung nur in unerheblichem Ausmaß auftreten und dass daher trotzdem für den statistischen Schätzer für die Grundgesamtheit die Schätzung auf der Basis der Stichprobendaten Gültigkeit beanspruchen kann.⁹

Hinweise auf Abweichungen von der Normalverteilung lassen sich quantitativ durch den Vergleich von Median und Mittelwert (Symmetrie der Verteilung) sowie anhand der Betrachtung von Schiefe und Exzess (Steilheit) der empirischen Verteilung ableiten. Für die Erschütterungszahlen sind diese in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Kennwerte der Überprüfung auf Normalverteilung. Gekürzter Output der Berechnungen.

	Log_k
Median	2.232
Mittelwert	2.221
Schiefte	-0.509
Exzess	0.019
normtest.w	0.980
normtest.p	0.006

Während die Differenz zwischen Median und Mittelwert (0,011) bei einer Spannweite der Daten von 0,95 noch auf eine annähernd symmetrische Verteilung hindeutet und sich die Schiefe nicht signifikant von derjenigen einer Normalverteilung unterscheidet (Konfidenzintervall der Schiefe:

⁹ Für die folgenden Berechnungen wurde die Statistik-Programmiersprache R inklusive der Pakete pastecs und boot verwendet.

[-1,474; 0,456]) weicht der Exzess (die Steilheit) mit einer unteren Grenze des Konfidenzintervalls von 0,010 zwar geringfügig aber signifikant vom Exzess einer Normalverteilung ab. Ein Shapiro-Wilks-Tests auf Normalität ergab mit $W=0,980$ eine auf 5%-Niveau signifikante Abweichung von der Normalverteilung.

1. Schätzung des Perzentilwerts aus Mittelwert und Standardabweichung:

Der Mittelwert der Erschütterungszahlen in der Stichprobe beträgt 2,221 bei einer Standardabweichung von 0,186. Der Schätzer des 95. Perzentils der (angenommen normalen) Verteilung beträgt damit 2,528 was einem lokalen k-Wert in der Stichprobe von 337 entspricht. Zur statistischen Absicherung des Schlusses auf die Grundgesamtheit wurde die obere Grenze des einseitigen 95% Konfidenzintervalls für den geschätzten Perzentilwert ermittelt. Die obere Grenze des Konfidenzintervalls für den Mittelwert beträgt 2,242. Unter der Annahme einer konstanten Standardabweichung ergibt dies für die obere Grenze des Konfidenzintervalls für das 95. Perzentil den Wert 2,549 was einem lokalen k-Wert von 353 entspricht.

Angesichts der Tatsache, dass die Voraussetzung der Normalverteilung nicht angenommen werden kann, sollte dieser Quantilschätzer nur höchst vorsichtig als valider Schätzer für die Grundgesamtheit in Betracht gezogen werden.

2. Ermittlung des Perzentilwerts aus den Quantilen der Stichprobe.

Der empirisch ermittelte Wert des 95. Perzentils der Erschütterungszahlen beträgt 2,489 was einem lokalen k-Wert in der Stichprobe von 309 entspricht.

Die Sicherheit der Schätzung für die Population wurde in 2000 Bootstrap-Replikationen der Perzentilwert bestimmt. Die obere Grenze des einseitigen 95%-Konfidenzintervalls wurde mittels des bc-alpha-Verfahrens bestimmt. Sie beträgt 2,514 was einem lokalen k-Wert von 327 entspricht.

Da diese statistische Schätzung von Verteilungsannahmen unabhängig ist, kann sie als verlässlicher Schätzer für die Grundgesamtheit herangezogen werden sofern die Voraussetzung der Repräsentativität der Stichprobe als erfüllt angesehen wird.

DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 2, Zeile 3		2,40 mm/s	- Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu erschütterungsempfindlichen Gebäuden (DIN 4150 Teil3, Tabelle1, Zeile3)											
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 2, Zeile 2		4,00 mm/s	- Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Wohngebäuden (DIN 4150 Teil3, Tabelle1, Zeile2)											
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 2, Zeile 1-3		16,00 mm/s	- Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Ingenieurbauwerken (DIN 4150 Teil3, Tabelle1, Zeile1)											
über		16,00 mm/s	keine Sprengarbeiten											
$v = k \cdot M_L^{0,8} \cdot R^{-1,3}$ (mm / sec.)			nach Lüdeling											
$k = 327$		$f = 10\text{Hz}$												
Erschütterungsprognose nach Bundesanstalt für Geotechnik und Bodenmechanik Hannover - BGR - Hartgestein allgemein nach Lüdeling														
			Erschütterungsprognose Fundament											
minimalste Entfernung zum Schutzobjekt		bei maximalen Einsatz der Lademenge												
	Schutzopjekt													
		50,0 kg/Zzst.	60,0 kg/Zzst.	70,0 kg/Zzst.	80,0 kg/Zzst.	90,0 kg/Zzst.	100,0 kg/Zzst.	110,0 kg/Zzst.	120,0 kg/Zzst.	130,0 kg/Zzst.	140,0 kg/Zzst.	150,0 kg/Zzst.	160,0 kg/Zzst.	
		V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	
400 m		3,1 mm/s	3,6 mm/s	4,1 mm/s	4,5 mm/s	5,0 mm/s	5,4 mm/s	5,8 mm/s	6,2 mm/s	6,7 mm/s	7,1 mm/s	7,5 mm/s	7,9 mm/s	
420 m		2,9 mm/s	3,4 mm/s	3,8 mm/s	4,2 mm/s	4,7 mm/s	5,1 mm/s	5,5 mm/s	5,9 mm/s	6,2 mm/s	6,6 mm/s	7,0 mm/s	7,4 mm/s	
443 m	IO13	2,7 mm/s	3,1 mm/s	3,6 mm/s	4,0 mm/s	4,3 mm/s	4,7 mm/s	5,1 mm/s	5,5 mm/s	5,8 mm/s	6,2 mm/s	6,5 mm/s	6,9 mm/s	
460 m		2,6 mm/s	3,0 mm/s	3,4 mm/s	3,8 mm/s	4,1 mm/s	4,5 mm/s	4,9 mm/s	5,2 mm/s	5,5 mm/s	5,9 mm/s	6,2 mm/s	6,6 mm/s	
476 m	IO6	2,5 mm/s	2,9 mm/s	3,2 mm/s	3,6 mm/s	4,0 mm/s	4,3 mm/s	4,6 mm/s	5,0 mm/s	5,3 mm/s	5,6 mm/s	6,0 mm/s	6,3 mm/s	
493 m	IO4/IO5	2,4 mm/s	2,7 mm/s	3,1 mm/s	3,4 mm/s	3,8 mm/s	4,1 mm/s	4,4 mm/s	4,8 mm/s	5,1 mm/s	5,4 mm/s	5,7 mm/s	6,0 mm/s	
533 m	IO11/IO14	2,1 mm/s	2,5 mm/s	2,8 mm/s	3,1 mm/s	3,4 mm/s	3,7 mm/s	4,0 mm/s	4,3 mm/s	4,6 mm/s	4,9 mm/s	5,1 mm/s	5,4 mm/s	
551 m	IO10/IO12	2,0 mm/s	2,4 mm/s	2,7 mm/s	3,0 mm/s	3,3 mm/s	3,6 mm/s	3,8 mm/s	4,1 mm/s	4,4 mm/s	4,7 mm/s	4,9 mm/s	5,2 mm/s	
569 m	IO3	2,0 mm/s	2,3 mm/s	2,6 mm/s	2,9 mm/s	3,1 mm/s	3,4 mm/s	3,7 mm/s	3,9 mm/s	4,2 mm/s	4,5 mm/s	4,7 mm/s	5,0 mm/s	
589 m	IO2	1,9 mm/s	2,2 mm/s	2,5 mm/s	2,7 mm/s	3,0 mm/s	3,3 mm/s	3,5 mm/s	3,8 mm/s	4,0 mm/s	4,3 mm/s	4,5 mm/s	4,8 mm/s	
600 m		1,8 mm/s	2,1 mm/s	2,4 mm/s	2,7 mm/s	2,9 mm/s	3,2 mm/s	3,4 mm/s	3,7 mm/s	3,9 mm/s	4,2 mm/s	4,4 mm/s	4,6 mm/s	
620 m		1,8 mm/s	2,0 mm/s	2,3 mm/s	2,6 mm/s	2,8 mm/s	3,1 mm/s	3,3 mm/s	3,5 mm/s	3,8 mm/s	4,0 mm/s	4,2 mm/s	4,4 mm/s	
638 m	IO1	1,7 mm/s	2,0 mm/s	2,2 mm/s	2,5 mm/s	2,7 mm/s	2,9 mm/s	3,2 mm/s	3,4 mm/s	3,6 mm/s	3,8 mm/s	4,1 mm/s	4,3 mm/s	
1020 m		0,9 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	2,0 mm/s	2,1 mm/s	2,2 mm/s	2,3 mm/s	
1048 m	IO8	0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	2,1 mm/s	2,2 mm/s	
1060 m		0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	2,1 mm/s	2,2 mm/s	
1080 m		0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,1 mm/s	2,2 mm/s	
1100 m		0,8 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	2,1 mm/s	
1118 m	IO9	0,8 mm/s	0,9 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	2,1 mm/s	
1140 m		0,8 mm/s	0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	
1160 m		0,8 mm/s	0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	2,0 mm/s	
1191 m	IO7	0,7 mm/s	0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	
1200 m		0,7 mm/s	0,9 mm/s	1,0 mm/s	1,1 mm/s	1,2 mm/s	1,3 mm/s	1,4 mm/s	1,5 mm/s	1,6 mm/s	1,7 mm/s	1,8 mm/s	1,9 mm/s	
	Denkmalschutz											ANLAGE 2		

DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 5, Zeile 3		8,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu erschütterungsempfindlichen Gebäuden z.B. Denkmalschutz										
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 5, Zeile 2		15,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Wohngebäuden										
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 6, Zeile 1-3		20,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Ingenieurbauwerken										
über		20,00 mm/s	keine Sprengarbeiten										
$v = k \cdot M_L^{0,8} \cdot R^{-1,3}$		(mm / sec.)	nach Lüdeling										
$k = 327$		$f = 10\text{Hz}$											
Erschütterungsprognose nach Bundesanstalt für Geotechnik und Bodenmechanik Hannover - BGR - Hartgestein allgemein nach Lüdeling													
Betrachtung oberste Deckenebene Überhöhungsfaktor ÜF = 3													
minimalste Entfernung zum Schutzobjekt		bei maximalen Einsatz der Lademenge											
		50,0 kg/Zzst.	60,0 kg/Zzst.	70,0 kg/Zzst.	80,0 kg/Zzst.	90,0 kg/Zzst.	100,0 kg/Zzst.	110,0 kg/Zzst.	120,0 kg/Zzst.	130,0 kg/Zzst.	140,0 kg/Zzst.	150,0 kg/Zzst.	160,0 kg/Zzst.
	Schutzopjekt	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}
400 m		9,3 mm/s	10,8 mm/s	12,2 mm/s	13,5 mm/s	14,9 mm/s	16,2 mm/s	17,5 mm/s	18,7 mm/s	20,0 mm/s	21,2 mm/s	22,4 mm/s	23,6 mm/s
420 m		8,7 mm/s	10,1 mm/s	11,4 mm/s	12,7 mm/s	14,0 mm/s	15,2 mm/s	16,4 mm/s	17,6 mm/s	18,7 mm/s	19,9 mm/s	21,0 mm/s	22,1 mm/s
443 m	IO13	8,1 mm/s	9,4 mm/s	10,7 mm/s	11,9 mm/s	13,0 mm/s	14,2 mm/s	15,3 mm/s	16,4 mm/s	17,5 mm/s	18,5 mm/s	19,6 mm/s	20,6 mm/s
460 m		7,7 mm/s	9,0 mm/s	10,1 mm/s	11,3 mm/s	12,4 mm/s	13,5 mm/s	14,6 mm/s	15,6 mm/s	16,6 mm/s	17,7 mm/s	18,7 mm/s	19,7 mm/s
476 m	IO6	7,4 mm/s	8,6 mm/s	9,7 mm/s	10,8 mm/s	11,9 mm/s	12,9 mm/s	13,9 mm/s	14,9 mm/s	15,9 mm/s	16,9 mm/s	17,9 mm/s	18,8 mm/s
493 m	IO4/IO5	7,1 mm/s	8,2 mm/s	9,3 mm/s	10,3 mm/s	11,3 mm/s	12,3 mm/s	13,3 mm/s	14,3 mm/s	15,2 mm/s	16,1 mm/s	17,1 mm/s	18,0 mm/s
533 m	IO11/IO14	6,4 mm/s	7,4 mm/s	8,4 mm/s	9,3 mm/s	10,2 mm/s	11,1 mm/s	12,0 mm/s	12,9 mm/s	13,7 mm/s	14,6 mm/s	15,4 mm/s	16,2 mm/s
551 m	IO10/IO12	6,1 mm/s	7,1 mm/s	8,0 mm/s	8,9 mm/s	9,8 mm/s	10,7 mm/s	11,5 mm/s	12,3 mm/s	13,2 mm/s	14,0 mm/s	14,8 mm/s	15,5 mm/s
569 m	IO3	5,9 mm/s	6,8 mm/s	7,7 mm/s	8,6 mm/s	9,4 mm/s	10,2 mm/s	11,0 mm/s	11,8 mm/s	12,6 mm/s	13,4 mm/s	14,2 mm/s	14,9 mm/s
589 m	IO2	5,6 mm/s	6,5 mm/s	7,4 mm/s	8,2 mm/s	9,0 mm/s	9,8 mm/s	10,6 mm/s	11,3 mm/s	12,1 mm/s	12,8 mm/s	13,5 mm/s	14,3 mm/s
600 m		5,5 mm/s	6,3 mm/s	7,2 mm/s	8,0 mm/s	8,8 mm/s	9,6 mm/s	10,3 mm/s	11,1 mm/s	11,8 mm/s	12,5 mm/s	13,2 mm/s	13,9 mm/s
620 m		5,3 mm/s	6,1 mm/s	6,9 mm/s	7,7 mm/s	8,4 mm/s	9,2 mm/s	9,9 mm/s	10,6 mm/s	11,3 mm/s	12,0 mm/s	12,7 mm/s	13,3 mm/s
638 m	IO1	5,1 mm/s	5,9 mm/s	6,6 mm/s	7,4 mm/s	8,1 mm/s	8,8 mm/s	9,5 mm/s	10,2 mm/s	10,9 mm/s	11,5 mm/s	12,2 mm/s	12,8 mm/s
1020 m		2,8 mm/s	3,2 mm/s	3,6 mm/s	4,0 mm/s	4,4 mm/s	4,8 mm/s	5,2 mm/s	5,5 mm/s	5,9 mm/s	6,3 mm/s	6,6 mm/s	7,0 mm/s
1048 m	IO8	2,7 mm/s	3,1 mm/s	3,5 mm/s	3,9 mm/s	4,3 mm/s	4,6 mm/s	5,0 mm/s	5,4 mm/s	5,7 mm/s	6,1 mm/s	6,4 mm/s	6,7 mm/s
1060 m		2,6 mm/s	3,0 mm/s	3,4 mm/s	3,8 mm/s	4,2 mm/s	4,6 mm/s	4,9 mm/s	5,3 mm/s	5,6 mm/s	6,0 mm/s	6,3 mm/s	6,6 mm/s
1080 m		2,6 mm/s	3,0 mm/s	3,3 mm/s	3,7 mm/s	4,1 mm/s	4,4 mm/s	4,8 mm/s	5,1 mm/s	5,5 mm/s	5,8 mm/s	6,2 mm/s	6,5 mm/s
1100 m		2,5 mm/s	2,9 mm/s	3,3 mm/s	3,6 mm/s	4,0 mm/s	4,3 mm/s	4,7 mm/s	5,0 mm/s	5,4 mm/s	5,7 mm/s	6,0 mm/s	6,3 mm/s
1118 m	IO9	2,4 mm/s	2,8 mm/s	3,2 mm/s	3,6 mm/s	3,9 mm/s	4,3 mm/s	4,6 mm/s	4,9 mm/s	5,2 mm/s	5,6 mm/s	5,9 mm/s	6,2 mm/s
1140 m		2,4 mm/s	2,8 mm/s	3,1 mm/s	3,5 mm/s	3,8 mm/s	4,1 mm/s	4,5 mm/s	4,8 mm/s	5,1 mm/s	5,4 mm/s	5,7 mm/s	6,0 mm/s
1160 m		2,3 mm/s	2,7 mm/s	3,0 mm/s	3,4 mm/s	3,7 mm/s	4,1 mm/s	4,4 mm/s	4,7 mm/s	5,0 mm/s	5,3 mm/s	5,6 mm/s	5,9 mm/s
1191 m	IO7	2,2 mm/s	2,6 mm/s	2,9 mm/s	3,3 mm/s	3,6 mm/s	3,9 mm/s	4,2 mm/s	4,5 mm/s	4,8 mm/s	5,1 mm/s	5,4 mm/s	5,7 mm/s
1200 m		2,2 mm/s	2,6 mm/s	2,9 mm/s	3,2 mm/s	3,6 mm/s	3,9 mm/s	4,2 mm/s	4,5 mm/s	4,8 mm/s	5,1 mm/s	5,4 mm/s	5,6 mm/s
	Denkmalschutz												
												ANLAGE 3	

DIN 4150-2 Tabelle 1, Spalte 5, Zeile 3		8,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu erschütterungsempfindlichen Gebäuden z.B. Denkmalschutz										
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 5, Zeile 2		15,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Wohngebäuden										
DIN 4150-3 Tabelle 1, Spalte 6, Zeile 1-3		20,00 mm/s	- Oberste Deckenebene - Begrenzung der Lademengen in Bezug auf den Abstand zu Ingenieurbauwerken										
über		20,00 mm/s	keine Sprengarbeiten										
$v = k \cdot M_L^{0,8} \cdot R^{-1,3}$ (mm / sec.)			nach Lüdeling										
$k = 327$		$f = 10\text{Hz}$											
Erschütterungsprognose nach Bundesanstalt für Geotechnik und Bodenmechanik Hannover - BGR - Hartgestein allgemein nach Lüdeling													
Betrachtung oberste Deckenebene Überhöhungsfaktor ÜF = 5													
minimalste Entfernung zum Schutzobjekt		bei maximalen Einsatz der Lademenge											
		50,0 kg/Zzst.	60,0 kg/Zzst.	70,0 kg/Zzst.	80,0 kg/Zzst.	90,0 kg/Zzst.	100,0 kg/Zzst.	110,0 kg/Zzst.	120,0 kg/Zzst.	130,0 kg/Zzst.	140,0 kg/Zzst.	150,0 kg/Zzst.	160,0 kg/Zzst.
Schutzopjekt		V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}
400 m		15,5 mm/s	17,9 mm/s	20,3 mm/s	22,6 mm/s	24,8 mm/s	27,0 mm/s	29,1 mm/s	31,2 mm/s	33,3 mm/s	35,3 mm/s	37,3 mm/s	39,3 mm/s
420 m		14,5 mm/s	16,8 mm/s	19,0 mm/s	21,2 mm/s	23,3 mm/s	25,3 mm/s	27,3 mm/s	29,3 mm/s	31,2 mm/s	33,1 mm/s	35,0 mm/s	36,9 mm/s
443 m	IO13	13,6 mm/s	15,7 mm/s	17,8 mm/s	19,8 mm/s	21,7 mm/s	23,6 mm/s	25,5 mm/s	27,3 mm/s	29,1 mm/s	30,9 mm/s	32,7 mm/s	34,4 mm/s
460 m		12,9 mm/s	14,9 mm/s	16,9 mm/s	18,8 mm/s	20,7 mm/s	22,5 mm/s	24,3 mm/s	26,0 mm/s	27,7 mm/s	29,4 mm/s	31,1 mm/s	32,8 mm/s
476 m	IO6	12,4 mm/s	14,3 mm/s	16,2 mm/s	18,0 mm/s	19,8 mm/s	21,5 mm/s	23,2 mm/s	24,9 mm/s	26,5 mm/s	28,2 mm/s	29,8 mm/s	31,3 mm/s
493 m	IO4/IO5	11,8 mm/s	13,7 mm/s	15,4 mm/s	17,2 mm/s	18,9 mm/s	20,6 mm/s	22,2 mm/s	23,8 mm/s	25,3 mm/s	26,9 mm/s	28,4 mm/s	29,9 mm/s
533 m	IO11/IO14	10,7 mm/s	12,3 mm/s	14,0 mm/s	15,5 mm/s	17,1 mm/s	18,6 mm/s	20,0 mm/s	21,5 mm/s	22,9 mm/s	24,3 mm/s	25,7 mm/s	27,0 mm/s
551 m	IO10/IO12	10,2 mm/s	11,8 mm/s	13,4 mm/s	14,9 mm/s	16,3 mm/s	17,8 mm/s	19,2 mm/s	20,6 mm/s	21,9 mm/s	23,3 mm/s	24,6 mm/s	25,9 mm/s
569 m	IO3	9,8 mm/s	11,3 mm/s	12,8 mm/s	14,3 mm/s	15,7 mm/s	17,1 mm/s	18,4 mm/s	19,7 mm/s	21,0 mm/s	22,3 mm/s	23,6 mm/s	24,8 mm/s
589 m	IO2	9,4 mm/s	10,8 mm/s	12,3 mm/s	13,6 mm/s	15,0 mm/s	16,3 mm/s	17,6 mm/s	18,9 mm/s	20,1 mm/s	21,3 mm/s	22,6 mm/s	23,8 mm/s
600 m		9,1 mm/s	10,6 mm/s	12,0 mm/s	13,3 mm/s	14,6 mm/s	15,9 mm/s	17,2 mm/s	18,4 mm/s	19,6 mm/s	20,8 mm/s	22,0 mm/s	23,2 mm/s
620 m		8,8 mm/s	10,1 mm/s	11,5 mm/s	12,8 mm/s	14,0 mm/s	15,3 mm/s	16,5 mm/s	17,7 mm/s	18,8 mm/s	20,0 mm/s	21,1 mm/s	22,2 mm/s
638 m	IO1	8,4 mm/s	9,8 mm/s	11,0 mm/s	12,3 mm/s	13,5 mm/s	14,7 mm/s	15,9 mm/s	17,0 mm/s	18,1 mm/s	19,2 mm/s	20,3 mm/s	21,4 mm/s
1020 m		4,6 mm/s	5,3 mm/s	6,0 mm/s	6,7 mm/s	7,3 mm/s	8,0 mm/s	8,6 mm/s	9,2 mm/s	9,9 mm/s	10,5 mm/s	11,0 mm/s	11,6 mm/s
1048 m	IO8	4,4 mm/s	5,1 mm/s	5,8 mm/s	6,4 mm/s	7,1 mm/s	7,7 mm/s	8,3 mm/s	8,9 mm/s	9,5 mm/s	10,1 mm/s	10,7 mm/s	11,2 mm/s
1060 m		4,4 mm/s	5,0 mm/s	5,7 mm/s	6,4 mm/s	7,0 mm/s	7,6 mm/s	8,2 mm/s	8,8 mm/s	9,4 mm/s	9,9 mm/s	10,5 mm/s	11,1 mm/s
1080 m		4,3 mm/s	4,9 mm/s	5,6 mm/s	6,2 mm/s	6,8 mm/s	7,4 mm/s	8,0 mm/s	8,6 mm/s	9,1 mm/s	9,7 mm/s	10,3 mm/s	10,8 mm/s
1100 m		4,2 mm/s	4,8 mm/s	5,4 mm/s	6,1 mm/s	6,7 mm/s	7,2 mm/s	7,8 mm/s	8,4 mm/s	8,9 mm/s	9,5 mm/s	10,0 mm/s	10,5 mm/s
1118 m	IO9	4,1 mm/s	4,7 mm/s	5,3 mm/s	5,9 mm/s	6,5 mm/s	7,1 mm/s	7,6 mm/s	8,2 mm/s	8,7 mm/s	9,3 mm/s	9,8 mm/s	10,3 mm/s
1140 m		4,0 mm/s	4,6 mm/s	5,2 mm/s	5,8 mm/s	6,4 mm/s	6,9 mm/s	7,5 mm/s	8,0 mm/s	8,5 mm/s	9,0 mm/s	9,6 mm/s	10,1 mm/s
1160 m		3,9 mm/s	4,5 mm/s	5,1 mm/s	5,7 mm/s	6,2 mm/s	6,8 mm/s	7,3 mm/s	7,8 mm/s	8,3 mm/s	8,8 mm/s	9,3 mm/s	9,8 mm/s
1191 m	IO7	3,7 mm/s	4,3 mm/s	4,9 mm/s	5,5 mm/s	6,0 mm/s	6,5 mm/s	7,0 mm/s	7,6 mm/s	8,1 mm/s	8,5 mm/s	9,0 mm/s	9,5 mm/s
1200 m		3,7 mm/s	4,3 mm/s	4,9 mm/s	5,4 mm/s	5,9 mm/s	6,5 mm/s	7,0 mm/s	7,5 mm/s	8,0 mm/s	8,5 mm/s	8,9 mm/s	9,4 mm/s
	Denkmalschutz												ANLAGE 4

DIN 4150-2, Tabelle 1	3,0	Ao kleiner oder gleich 3 => z.B. Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken,											
DIN 4150-2, Tabelle 1	5,0	Ao kleiner gleich 5 aber größer 3 => Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind											
DIN 4150-2, Tabelle 1	6,0	Ao kleiner gleich 6 aber größer 5 => bei Vorwarnung der Sprengungen											
DIN 4150-2, Tabelle 1	8,0	Ao kleiner gleich 8 aber größer 6 => In wenigen Fällen pro Jahr dürfen die KBFmax – Werte bis 8 betragen											
	> 8,0	keine Sprengarbeiten											
$v = k M_L^{0,8} R^{-1,3}$ (mm / sec.)		nach Lüdeling											
k= 327		f = 10 Hz	cf = 0,6										
Erschütterungsprognose nach Bundesanstalt für Geotechnik und Bodenmechanik Hannover - BGR - Hartgestein allgemein nach Lüdeling													
Betrachtung oberste Deckenebene Überhöhungsfaktor ÜF = 3													
Ao = Kbfmax nach DIN4150 Teil 2													
minimalste Entfernung zum Schutzobjekt	Schutzopjekt	bei maximalen Einsatz der Lademenge											
		50,0 kg/Zzst.	60,0 kg/Zzst.	70,0 kg/Zzst.	80,0 kg/Zzst.	90,0 kg/Zzst.	100,0 kg/Zzst.	110,0 kg/Zzst.	120,0 kg/Zzst.	130,0 kg/Zzst.	140,0 kg/Zzst.	150,0 kg/Zzst.	160,0 kg/Zzst.
		Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.	Vmax,prog.
400 m		3,4	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	6,9	7,4	7,8	8,3	8,7
420 m		3,2	3,7	4,2	4,7	5,2	5,6	6,1	6,5	6,9	7,4	7,8	8,2
443 m	IO13	3,0	3,5	3,9	4,4	4,8	5,2	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,6
460 m		2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,5	6,9	7,3
476 m	IO6	2,7	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,5	5,9	6,3	6,6	7,0
493 m	IO4/IO5	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6	6,0	6,3	6,6
533 m	IO11/IO14	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
551 m	IO10/IO12	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8
569 m	IO3	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,2	5,5
589 m	IO2	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,7	5,0	5,3
600 m		2,0	2,3	2,7	3,0	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9	5,1
620 m		1,9	2,3	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4	4,7	4,9
638 m	IO1	1,9	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,0	4,3	4,5	4,8
1020 m		1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6
1048 m	IO8	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5
1060 m		1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5
1080 m		0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4
1100 m		0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
1118 m	IO9	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3
1140 m		0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
1160 m		0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2
1191 m	IO7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
1200 m		0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
	Denkmalschutz												
												ANLAGE 5	

DIN 4150-2, Tabelle 1	3,0	Ao kleiner oder gleich 3 => z.B. Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken,											
DIN 4150-2, Tabelle 1	5,0	Ao kleiner gleich 5 aber größer 3 => Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind											
DIN 4150-2, Tabelle 1	6,0	Ao kleiner gleich 6 aber größer 5 => bei Vorwarnung der Sprengungen											
DIN 4150-2, Tabelle 1	8,0	Ao kleiner gleich 8 aber größer 6 => In wenigen Fällen pro Jahr dürfen die KBFmax – Werte bis 8 betragen											
	> 8,0	keine Sprengarbeiten											
$v = k M_L^{0,8} R^{-1,3}$ (mm / sec.)		nach Lüdeling											
k= 327		f = 10 Hz	cf = 0,6										
Erschütterungsprognose nach Bundesanstalt für Geotechnik und Bodenmechanik Hannover - BGR - Hartgestein allgemein nach Lüdeling													
Betrachtung oberste Deckenebene Überhöhungsfaktor ÜF = 5													
Ao = Kbfmax nach DIN4150 Teil 2													
minimalste Entfernung zum Schutzobjekt	Schutzopjekt	bei maximalen Einsatz der Lademenge											
		50,0 kg/Zzst.	60,0 kg/Zzst.	70,0 kg/Zzst.	80,0 kg/Zzst.	90,0 kg/Zzst.	100,0 kg/Zzst.	110,0 kg/Zzst.	120,0 kg/Zzst.	130,0 kg/Zzst.	140,0 kg/Zzst.	150,0 kg/Zzst.	160,0 kg/Zzst.
		V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}	V _{max,prog.}
400 m		5,7	6,6	7,5	8,4	9,2	10,0	10,8	11,6	12,3	13,1	13,8	14,5
420 m		5,4	6,2	7,0	7,8	8,6	9,4	10,1	10,8	11,6	12,3	13,0	13,6
443 m	IO13	5,0	5,8	6,6	7,3	8,0	8,7	9,4	10,1	10,8	11,4	12,1	12,7
460 m		4,8	5,5	6,3	7,0	7,7	8,3	9,0	9,6	10,3	10,9	11,5	12,1
476 m	IO6	4,6	5,3	6,0	6,7	7,3	8,0	8,6	9,2	9,8	10,4	11,0	11,6
493 m	IO4/IO5	4,4	5,1	5,7	6,4	7,0	7,6	8,2	8,8	9,4	10,0	10,5	11,1
533 m	IO11/IO14	3,9	4,6	5,2	5,7	6,3	6,9	7,4	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
551 m	IO10/IO12	3,8	4,4	4,9	5,5	6,1	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1	9,6
569 m	IO3	3,6	4,2	4,7	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3	8,7	9,2
589 m	IO2	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,4	7,9	8,3	8,8
600 m		3,4	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6
620 m		3,2	3,8	4,2	4,7	5,2	5,6	6,1	6,5	7,0	7,4	7,8	8,2
638 m	IO1	3,1	3,6	4,1	4,6	5,0	5,4	5,9	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9
1020 m		1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	4,3
1048 m	IO8	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,2
1060 m		1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
1080 m		1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
1100 m		1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9
1118 m	IO9	1,5	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
1140 m		1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5	3,7
1160 m		1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,6
1191 m	IO7	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5
1200 m		1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3	3,5
	Denkmalschutz												
												ANLAGE 6	