

[Hier eingeben]



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

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

1. Ausfertigung

Archiv: 02/2023

Revision 01/2024

Sachverständigengutachten

Carrières Feidt SA

Steinbruch Brouch

Erschütterungsimmissionen durch Lockerungssprengungen.

Prognose und Beurteilung der Sprengimmissionen durch
Gewinnungssprengungen.

Festlegung von sprengtechnischen Parametern.

Revision 01/2024

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Allgemeines	3
2. Veranlassung.....	3
3. Beschreibung des Vorhabens	4
4. Aufgabenstellung	5
5. Grundlagen - vorhandene Unterlagen.....	5
6. Sprengtechnik.....	6
6.1 Sprengstoffe	6
6.2 Zündmittel.....	6
7. Untersuchungskonzept	6
8. Mögliche Gefährdungen schutzbedürftiger Objekte, Maßnahmen zur sicheren Ausführung der Sprengarbeiten	8
8.1 Sprenglärm	8
8.2 Streuflug	9
8.3 Sprengschwaden und Gesteinsstäube.....	11
9. Sprengerschütterungen	11
9.1 Entstehung von Sprengerschütterungen	11
9.2 Anerkannte technische Regeln zur Beurteilung von Sprengerschütterungen	12
10. Entfernungen zu den Schutzobjekten und Einteilung nach DIN 4150 Teil 3 – Erschütterungen im Bauwesen	14
11. Erschütterungsprognose und Lademengenbetrachtung.....	15
12. Sprengparameter der bisher ausgeführten Sprengarbeiten	18
13. Festlegung der Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeiten	19
14. Beurteilung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden	19
15. Beurteilung des KB_{Fmax} -Wertes, gemessen an Hand der Erschütterungsprognose nach DIN 4150, Teil 2.....	20
15.1 Konzeptionierung der Sprenganlagen.....	23
16. Vorgesehene Sprengparameter Versuchssprengung	25
17. Zusammenfassung der abgeschätzten Erschütterungsimmissionen	26
18. Schlussbetrachtung – gutachterliche Empfehlung	27
19. Literatur – Allgemein anerkannte Regeln der Technik.....	29
Inhalt:	29 Seiten

2 Seiten Anlagen

1. Allgemeines

Auftraggeber:	Carrières Feidt SA 3, Rue Nicolas Simmer L-2538 Luxembourg
Projektsteuerung:	Prof. Dr.-Ing. Martin Kirschbaum, KiProCon GmbH & Co.KG Herr Rainer Klöppner, ENECO Ingénieurs-Conseils S.A.
Objekt:	Gewinnungssprengungen Steinbruch Brouch
Auftrag:	Vorabschätzung der Erschütterungs- immissionen durch Lockerungssprengungen. Überarbeitung des Gutachtens vom 03.03.2023 gemäß der Stellungnahme des Ministre de l'Environnement vom 30.08.202322
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 17.04.24

2. Veranlassung

Das Ministre de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, Luxembourg, hat mit der Stellungnahme vom 30.08.2023 zum Bewertungsbericht "Erweiterung genehmigter Steinbruch und genehmigte Inertabfalldeponie Typ A, Brouch" vom 10. Mai 2023 erweiterte Prüfungen bzw. Überarbeitungen an dem Gutachten des Verfassers vom 03.03.2023 gefordert. Das Gutachten wird hiermit entsprechend mit den geforderten Ergänzungen bzw. Überarbeitungen vorgelegt.

3. Beschreibung des Vorhabens

Die Firma Carrières Feidt SA betreibt den Kalksandsteinbruch und eine parallellaufende Inertdeponie in der Nähe von Reckange (O), Reckener Barrière (N) und Brouch (W) (Abbildung 2). In diesem Steinbruch werden zurzeit jährlich ca. 370.000t Festgestein gewonnen, welches in mobilen Aufbereitungsanlagen weiterveredelt wird. Die Produktpalette umfasst neben Schotter verschiedener Körnungen auch Sande. Die Kunden verwenden diese hochwertigen Produkte u.a. für den Straßenbau, den Transportbeton und den Vorsatzbeton, sowie zur Herstellung von Putzen und Mörteln. Außerdem werden die Materialien im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt.

Wie bei dem jetzigen, seit den 1960er Jahren betriebenen, Abbaufahren, sollen auch in dem zu genehmigenden neuen Abbaubereich Lockerungssprengungen durchgeführt werden. Das Gestein soll durch Bohrlochsprengungen so aufgelockert werden, dass ein schwerer Bagger (> 80t Betriebsgewicht) das Rohmaterial auf Muldenkipper verladen kann.

Das Rohmaterial wird dann in mobilen Brech- und Siebanlagen klassiert und zu verkaufsfähigen Produkten weiterverarbeitet.

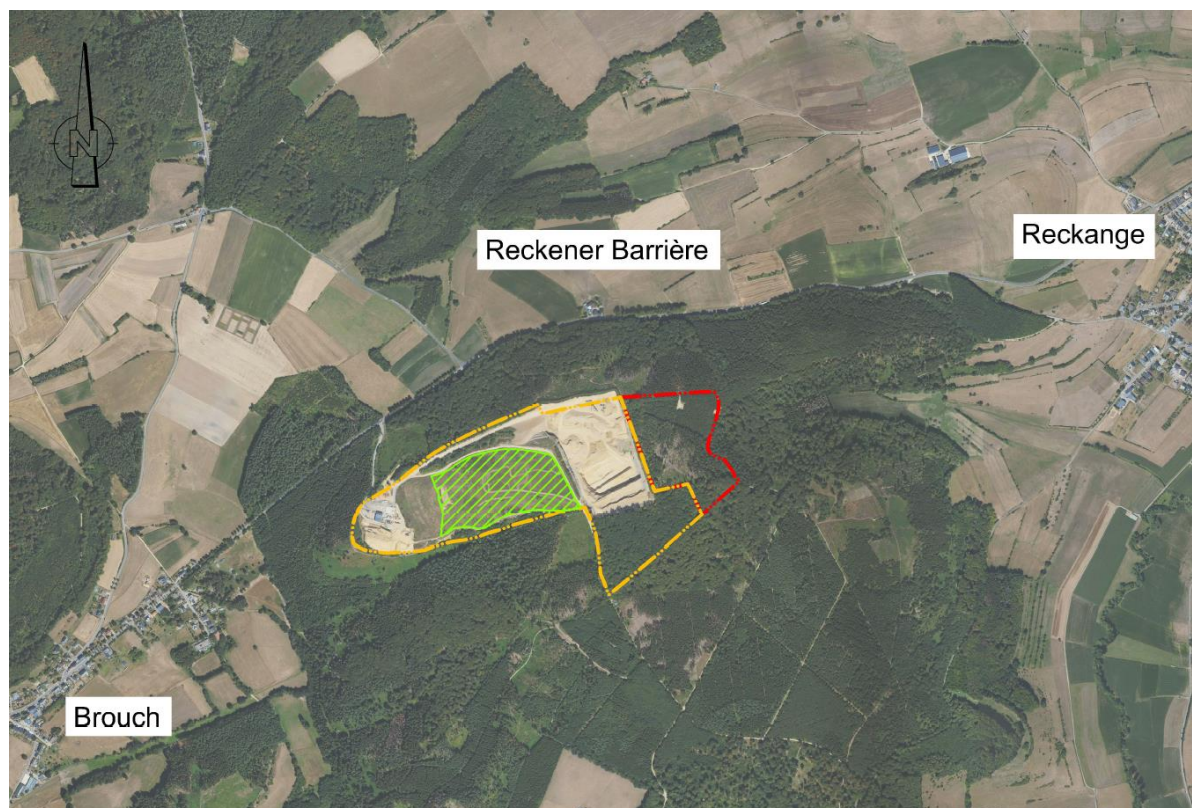


Abbildung 1 Lageplan des jetzigen (gelb umrandet) und des geplanten (rot umrandet) Abbaus zu den Ortslagen, [Quelle: ENECO Ingénieurs-Conseils S.A]

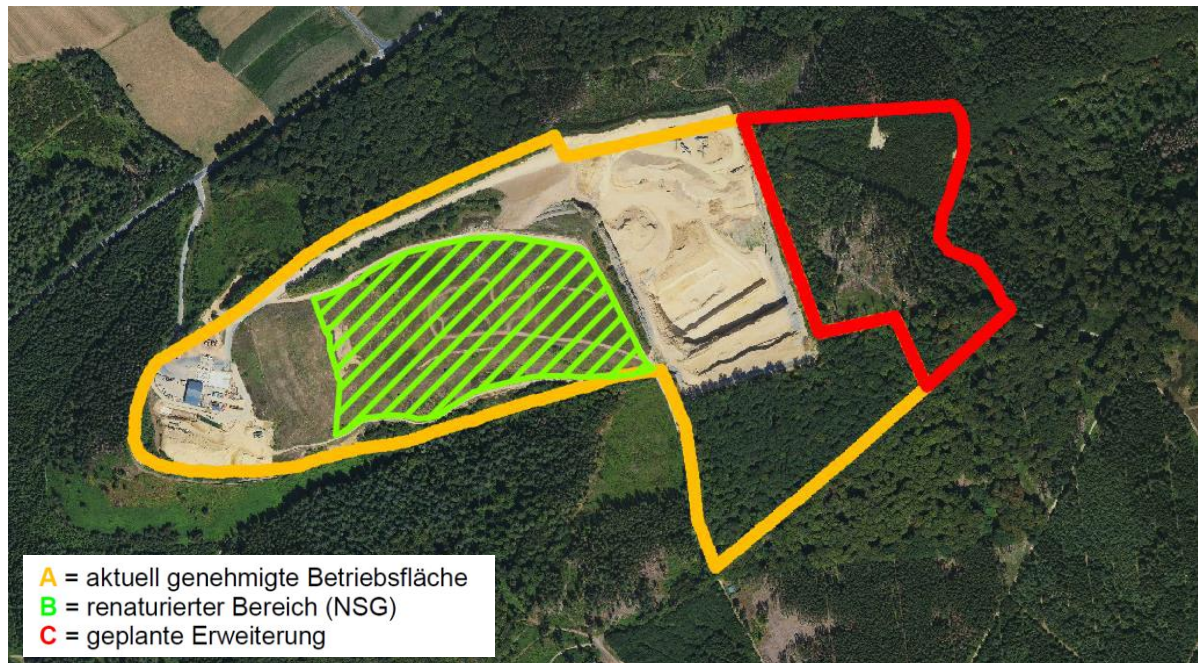


Abbildung 2 Planausschnitt aus dem Lageplan der genehmigten und geplanten Abbauerweiterungen. Bezug: *ENECO Ingénieurs-Conseils S.A.* © Administration du Cadastre et de la Topographie (2020)

4. Aufgabenstellung

Im Zuge dieser gutachterlichen Bewertung sollen die Sprengerschütterungen durch Lockerungssprengungen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit festgestellt werden.

Die Auswirkungen der Erschütterungen auf die Bevölkerung und auf die menschliche Gesundheit werden untersucht und auf ein verträgliches Maß, durch sprengtechnische Vorgaben, begrenzt.

5. Grundlagen - vorhandene Unterlagen

Der Ausarbeitung des Gutachtens lagen folgende Unterlagen zu Grunde:

- [1] Ortstermin am 19.05.2021 und Erschütterungsmessungen
- [2] Lagepläne - ENECO Ingénieurs-Conseils S.A
- [3] Projektbeschreibung ENECO Ingénieurs-Conseils S.A
- [4] Plan d'aménagement général (PAG) Gemeinde Brouch
- [5] Plan d'aménagement général (PAG) Gemeinde Mersch
- [6] FEID2001-001a Topokarte ENECO Ingénieurs-Conseils S.A
- [7] FEID2001-200a Luftbild ENECO Ingénieurs-Conseils S.A
- [8] FEID2001-310_Infrastrukturen ENECO Ingénieurs-Conseils S.A

6. Sprengtechnik

Für die Lockerungssprengungen werden Spreng- und Zündmittel als Explosivstoffe gemäß dem Gesetz vom 23. Dezember 2016 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Kontrolle von Explosivstoffen für zivile Zwecke eingesetzt.

Die Sprengarbeiten werden durch einen in Luxemburg zugelassenen Dienstleister durchgeführt, der Sprengberechtigte mit luxemburgischer Sprengberechtigung beschäftigt.

6.1 Sprengstoffe

Es werden durch die BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung) geprüfte und zugelassene lose, patronierte und pumpbare Sprengstoffe verwendet.

6.2 Zündmittel

Als Zündmittel kommen elektrische, nicht elektrische und elektronische Zünder zum Einsatz. Diese sind ebenso durch die BAM geprüft und zugelassen.

7. Untersuchungskonzept

Die vorgesehenen Untersuchungen werden vom Unterzeichner in der Eigenschaft als „Organisme agréé“ durchgeführt.

Die Auswahl und Festlegung der aufgezeigten Immissionsorte erfolgten dabei durch den Unterzeichner auf Grundlage der vorliegenden Dokumente und einer Ortsbesichtigung sowie der Abstimmung mit der Projektsteuerung ENECO Ingénieurs-Conseils S.A und Prof. Dr. Ing. Martin Kirschbaum.

Die Evaluierung der Erschütterungsimmissionen bezieht sich auf die Ortslagen Brouch, Reckener Barrière und Reckange mit Ihren Bebauungsgrenzen.

Am 19.05.2022 wurden durch den Verfasser sprengbegleitend Erschütterungsmessungen als Freifeld- und Fundamentmessung (Messpunkte MP 1 bis 7) und an den repräsentativen Gebäuden der Immissionsorte (IO) 1 bis 3 durchgeführt. Dadurch ist eine Überprüfung der gesteinspezifischen Parameter und damit eine sichere Erschütterungsprognose möglich.



Abbildung 3 Lageplan der sprengbegleitenden Erschütterungsmessungen der Lockerungssprengung am 19-05-2023.

Zur Prognose und Beurteilung von Sprengerschütterungen werden die DIN4150 Teil1-3 sowie die einschlägige Literatur (siehe Punkt 19 Literatur) als allgemein anerkannte Regeln der Technik zu Grunde gelegt.

Das Untersuchungsgebiet für den Faktor "Bevölkerung und menschliche Gesundheit" wurde so gewählt, dass es alle Gebäude umfasst, in denen sich Personen entweder ständig oder in regelmäßigen oder kurzen Abständen aufhalten und für die erhebliche Auswirkungen des zu untersuchenden Projekts nicht ausgeschlossen werden können. Ebenfalls wurden Grundstücke berücksichtigt, die zwar derzeit nicht bebaut sind, aber nach den bestehenden Gemeindevorschriften unter eine Baugenehmigung fallen könnten.

Die DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden ist als anerkanntes Regelwerk im deutschsprachigen Raum etabliert.

Zweck dieser Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Es werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.

Dem Verfasser liegen zahlreiche Erfahrungswerte aus vergleichbaren über- und untertägigen Projekten vor, bei denen die DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen Teil

2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden für die Beteiligten erfolgreich angewandt wurde.

Nachfolgend ist die Vorgehensweise zur analytischen Beurteilung der Erschütterungsimmissionen durch Sprengarbeiten aufgezeigt.

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

Durch die geplanten Sprengungen treten Emissionen auf, die sich schematisch wie in Abbildung 4 darstellen lassen.

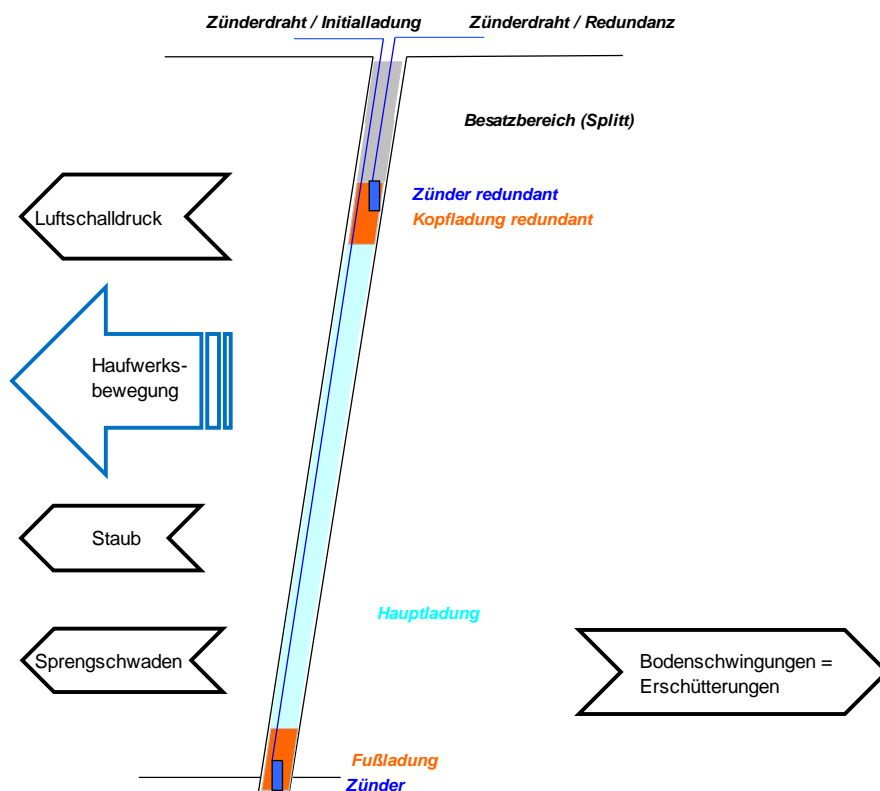


Abbildung 4 Querschnitt durch ein mit Spreng- und Zündmitteln geladenes Sprengbohrloch. Schematische Darstellung der Emissionswirkungen einer Bohrlochsprengung.

8.1 Sprenglärm

Sprenglärm ist direkt mit einem Detonationsknall verbunden. Ein Detonationsknall entsteht bei der chemischen Umwandlung des Sprengstoffes vom festen in den gasförmigen Zustand unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit.

Die Einwirkungen des Detonationsknalls sind von Bedeutung, wenn der Sprengstoff frei zur Detonation kommt, d.h. bei nicht eingeschlossenen Ladungen. Ein großer Teil

der freiwerdenden Energie wird hierbei ungenutzt in Form von Luftkompression, d.h. Knall, an die Umgebung abgegeben.

Bei Bohrlochladungen wird der größte Teil der Energie des Sprengstoffes zum Zertrümmern, Lösen und Abwerfen des Gesteins verwendet. Da sich der Sprengstoff im Bohrloch befindet, ist der Energieverlust durch das Auftreten des Detonationsknalls deutlich geringer als bei beispielsweise Auflegerladungen.

Ein weiterer Aspekt ist die Bewegung der Bruchwand während der Umsetzung des Sprengstoffes. Hier wird eine große Fläche schnell bewegt. Dadurch wird Luft komprimiert und entspannt. An Reflexionsflächen (vorhandene Bruchwände) wird der Schalldruck reflektiert.

Es empfiehlt sich den Detonationsknall wie folgt einzudämmen:

Bei der Ausführung der Sprengarbeiten werden ausschließlich Bohrlochladungen realisiert. Um eine ausreichende Verdämmung zu erreichen wird Splitt (z.B. 8/11 oder 5/8) als Endbesatz verwendet. Sollten Sprengschnüre eingesetzt werden, müssen die Sprengschnurenden entweder in der Endbesatzzone eingebracht oder mit Splitt abgedeckt werden. Knäppersprengungen werden nicht durchgeführt.

Da aus dem Betrieb keine negativen Erfahrungen durch Lärmimmissionen hinsichtlich der Sprengarbeiten bestehen, werden diese hier auch nicht weiter betrachtet.

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

8.2 Streuflug

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

- Überladung der Sprenganlage – Unterschreitung der kritischen Vorgabe (siehe Tabelle 6, Seite 24)
- Keine ausreichende Endbesatzlänge
- Nicht beachtete Ausbrüche, Klüfte und/oder Einlagerungen in den freien Flächen

Streuflug kann nur aus Richtung der freien Flächen 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 den Bestimmungen 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 Tabelle 6, Seite 24).

Hier sei gesondert auf 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) Wurfrichtung entgegengesetzt der Lage des Schutzobjektes
- (2) Abgestufter Splitt (z.B. 8/11 oder 5/8) als Endbesatz
- (3) Erhöhung des Endbesatzes (min. Endbesatz = Vorgabe)
- (4) Auswurfrichtung entgegengesetzt der Schutzobjekte oder Erhöhung der kritischen Vorgabe (siehe Tabelle 6, Seite 24) um mindestens 10%
- (5) Reduzierung der Abbauhöhen

Die Verkleinerung des Sprengbereiches legt der Sprengberechtigte unter Angabe der getroffenen Maßnahmen fest.

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.

Zitat aus der SprengTR 310 Absatz 4.7 (5):

„(5) 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.“

8.3 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 Beeinträchtigung des Umfeldes bei.

9. Sprengerschütterungen

9.1 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 Felsen als Erschütterung weitergegeben (siehe Abbildung 4, Seite 8)

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

9.2 Anerkannte technische Regeln zur Beurteilung von Sprengerschütterungen

Im Folgenden wird zur Beurteilung die DIN 4150 Teil 3, Erschütterungen im Bauwesen, , Einwirkung auf bauliche Anlagen, angewandt. Dieses Regelwerk ist im deutschsprachigen Raum zur Beurteilung der Erschütterungen auf Bauwerke anerkannt. Die Anhaltswerte dieser Norm sind nicht als gesetzlich verbindliche Grenzwerte zu sehen.

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:

Zitat

„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;*

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

- 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.

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

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 ^a	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					

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. 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 $v_{i,max} \leq 20$ 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.

10. 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 9.2 Tabelle 1. In dem zu betrachtenden Untersuchungsgebiet finden sich Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder ihrer Nutzung gleichartige Bauten, die in der Tabelle 1, Zeile 2 der DIN 4150 Teil 3 zuzuordnen sind.

Wohnbebauung		Lage zur geplanten Abbaugrenze	ca. Entfernung zur Abbaugrenze	NN Höhe	Einteilung nach DIN4150 Teil3 Tabelle1	Anhaltswert DIN4150 Teil3 Tabelle1 bis 10Hz
Reckener Barrière		N	ca. 230 m	310 m	Zeile 2	5 mm/s
Gemeinde Brouch		W	ca. 1300 m	300 m	Zeile 2	5 mm/s
Gemeinde Mersch / Reckange		O	ca. 1200 m	240 m	Zeile 2	5 mm/s

Tabelle 3. Schutzobjekte bzw. Immissionsorte mit ihrer Lage, minimale Entfernung zur Abbaugrenze und Einteilung nach DIN 4150 Teil 3, Tabelle 1

In diesem Gutachten erfolgt die Prognose der Erschütterungsimmissionen auf die benannten Schutzobjekte als die hier bezeichneten Immissionsorte.

11. Erschütterungsprognose und Lademengenbetrachtung

Im Zuge des Abbaus variieren die Abstände der Sprenganlagen zu den einzelnen Schutzobjekten. Dabei werden im Nahbereich geringere Lademengen pro Zündzeitstufe erforderlich. Die Schutzobjekte und deren minimaler Abstand zur Abbaugrenze wurden unter Punkt 10 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)

Hier hat sich die allgemeine Formel nach KOCH für den Nahbereich bis 300m bewährt. Eine Kontrolle der prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten erfolgte nach der Berechnungsformel BGR – Sediment (Bundesamt für Geophysik und Bodenmechanik Hannover) für Entfernungen größer 300m.

Nach „KOCH“

$$v = 80 \times L^{0,5} \times R^{-1} \quad \text{bis 300m} \quad (3)$$

Nach „BGR“ Sedimentgestein

$$v = 969 \times L^{0,6} \times R^{-1,5} \quad \text{ab 300m} \quad (4)$$

Bei der Erschütterungsprognose wurden verschiedene Lademengen in Bezug der Entfernung der Sprengstelle zum Immissionsort betrachtet.

Die Betrachtung der Lademengen pro Zündzeitstufe wurde von 50,00 kg/Zzst. bis 325,00 kg/Zzst. vorgenommen. (Anlagen 3 und 4).

Zur Überprüfung des gesteinspezifischen k-Faktors wurden sprengbegleitende Erschütterungsmessungen ausgeführt.

Die am 19-05-2022 erfolgten sprengbegleitenden Erschütterungsmessungen ergaben folgende Ergebnisse:

Erschütterungsmessung der Sprengung am 19-05-2023 Immissionspunkte (IO) Messpunkte (MP)		Messgerät	ca. Entfernung zur Sprengung- stelle	Lade- menge/ Zündzeit- stufe	V _{max}	Gesteinsspezifischer k-Faktor	
					gemessen bzw. Triggerwert	Koch	BGR
Brouch, Rue d'Arlon	IO01	SBK003	ca. 1400 m	139 kg	0,2 mm/s	29	667
Mersch / Reckange, Op Der Wescheck	IO02	SBK007	ca. 1500 m	139 kg	0,3 mm/s	32	758
Reckener Barrièr	IO03	SBK006	ca. 550 m	139 kg	0,8 mm/s	36	521
Brouch, Maandelbaach	MP01	6064	ca. 1320 m	139 kg	< 0,3 mm/s	34	745
Freifeldmessung Openthalt L114	MP02	5073	ca. 1580 m	139 kg	0,3 mm/s	38	930
Freifeldmessung Nord	MP03	5557	ca. 360 m	139 kg	1,2 mm/s	36	416
Freifeldmessung Ost	MP04	4743	ca. 320 m	139 kg	< 1,5 mm/s	41	445
Freifeldmessung Süd/Ost	MP05	4195	ca. 285 m	139 kg	2,9 mm/s	71	728
Freifeldmessung Süd 2	MP06	4196	ca. 650 m	139 kg	0,9 mm/s	49	763
Freifeldmessung Süd 1	MP07	5074	ca. 240 m	139 kg	3,5 mm/s	72	682

Tabelle 4. Messergebnisse der Erschütterungsmessung am 19-05-2022 mit den ermittelten gesteinspezifischen k-Faktoren

Die in den Prognoseformeln angenommenen gesteinspezifischen k-Faktoren wurden unterschritten. So ergibt sich für die Prognose nach KOCH ein maximaler k-Faktor von 72 anstatt 80 und für die BGR-Betrachtung 930 anstatt 969.

Die nachfolgende Erschütterungsprognose wird konservativ mit den höheren k-Faktoren ausgeführt.

Dabei wurden verschiedene Lademengen in Bezug zur Entfernung der Sprengstelle zum Immissionsort betrachtet.

Die Betrachtung der Lademengen pro Zündzeitstufe wurde von 50,00 kg/Zzst. bis 325,00 kg/Zzst. vorgenommen. (Anlagen 3 und 4).

12. Sprengparameter der bisher ausgeführten Sprengarbeiten

In dem repräsentativen Betrachtungszeitraum der Jahre 2019 bis Januar 2023 wurden durch den Sprengdienstleister SSE Deutschland GmbH 13 Sprengungen mit folgenden Sprengparametern durchgeführt.

Nr.	Datum	gel. Kubatur	Sprengstoff - masse gesamt	Lademenge/ Zündzeitstufe	spez. Sprengstoff- aufwand	Bohrloch anzahl	Durchschn. Bohrloch- tiefe
1	03.04.2019	16.967,14 m³	4.769,00 kg	156 kg	0,28 kg/m³	61 Stck	12,4 m
2	07.06.2019	13.542,59 m³	4.593,00 kg	131 kg	0,34 kg/m³	70 Stck	12,5 m
3	29.07.2019	25.183,50 m³	10.310,00 kg	176 kg	0,41 kg/m³	117 Stck	12,7 m
4	12.12.2019	41.580,00 m³	14.000,00 kg	181 kg	0,34 kg/m³	155 Stck	14,6 m
5	14.12.2020	9.152,00 m³	3.700,00 kg	168 kg	0,40 kg/m³	44 Stck	13,0 m
6	13.01.2021	24.000,00 m³	10.619,00 kg	231 kg	0,44 kg/m³	92 Stck	16,3 m
7	26.01.2021	19.419,84 m³	7.505,00 kg	171 kg	0,39 kg/m³	88 Stck	12,3 m
8	09.02.2021	19.768,29 m³	6.650,00 kg	251 kg	0,34 kg/m³	53 Stck	18,9 m
9	22.02.2021	12.448,43 m³	5.281,00 kg	352 kg	0,42 kg/m³	30 Stck	26,4 m
10	24.02.2021	19.440,00 m³	6.085,00 kg	152 kg	0,31 kg/m³	80 Stck	12,0 m
11	05.05.2022	29.628,00 m³	11.262,70 kg	133 kg	0,38 kg/m³	170 Stck	9,7 m
12	19.05.2022	40.815,60 m³	14.568,00 kg	139 kg	0,36 kg/m³	210 Stck	11,3 m
13	27.01.2023	14.165,37 m³	6.517,00 kg	163 kg	0,46 kg/m³	80 Stck	12,0 m
Summen		286.110,76 m³	105.859,70 kg			1250 Stck	
Mittelwerte				169,38 kg	0,37 kg/m³		14,33 m

Tabelle 5. Sprengparameter der letzten 13 Sprengungen im Steinbruch Brouch.

Maximale erschütterungsrelevante Parameter der Sprengarbeiten 2019 - 01/2023

Bohrlochtiefe	$l_b = 26,4\text{m}$
spezifischen Sprengstoffbedarf ($q_{\text{spez.}}$)	$q_{\text{spez.}} = 0,44\text{ kg/m}^3$
Lademenge pro Zündzeitstufe	$L_{\text{ZzSt.}} = \text{ca. } 352\text{ kg}$
Gesamtlademenge	$M_{\text{ges}} = 14.568\text{ kg}$
Gelöstes Gesteinsvolumen	$V = 41.580\text{ m}^3$

Aufgrund des eingesetzten nicht elektrischen Zündsystems und den damit einhergehenden Zündungenauigkeiten, wurde eine Überschneidung der Zündzeiten von zwei Bohrloch angenommen, so dass sich die hier aufgezeigte rechnerische Lademenge pro Zündzeitstufe gegenüber der eingebauten Bohrlochladung verdoppelt.

Die Sprengung Nr. 9 am 22.02.2021 mit der Lademenge pro Zündzeitstufe von 352 kg ist im südlichsten Bereich des Steinbruchs mit einem Abstand zur Reckener Barrière von über 530m umgesetzt worden. Diese zeigt bezüglich ihrer Lademenge pro Zündzeitstufe eine Ausnahme in dem betrachteten Zeitraum. Die maximale Lademenge pro Zündzeitstufe wird daher mit 325kg in der Prognose betrachtet.

13. Festlegung der Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeiten

In den **Anlagen 1 und 2** 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 in Bezug auf die DIN 4150 Teil 3 Tabelle 1 aus Sicherheitsgründen 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

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 10 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 Erschütterungs-emission zu reduzieren.

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

14. 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.

Im Folgenden wird zur Beurteilung die DIN 4150 Teil 2, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden, angewandt. Dieses Regelwerk ist im

deutschsprachigen Raum zur Beurteilung der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden anerkannt. Die Anhaltswerte dieser Norm sind nicht als gesetzlich verbindliche Grenzwerte zu sehen.

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.

15. 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 und der festgestellten Bebauung in Mersch, Brouch und Reckener Barrière in der Regel mit einem Faktor 2 - 3 zu ermitteln. Der gewählte Faktor für diese 2-geschossige Gebäudeklasse wird für die vorhandene Bebauung auf 2,5 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.

Der Nachweis des KB_{Fmax} - Wertes erfolgt aufgrund der Erschütterungsprognose und dem prognostizierten Wert von **3,0 mm/s**. In den Anlagen 1 und 2 können die zugehörigen Lademengen / Abstandsbeziehungen abgelesen werden.

f_0 = 5,6 Eckfrequenz

f = Anregungsfrequenz

v_{\max} = gemessener Wert

c_F = Resonanzeinwirkung
(0,6.....0,9)

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

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

V_{Prognose}	=	3,0	mm/sec.
V_{max}	=	$2,5 \times 3,0 = 7,5$	mm/sec.
f	=	10	Hz

$$KB_{Fmax} = 2,78$$

Die Wohngebiete Brouch, Reckener Barrière und Reckange werden aufgrund der Nutzung als reines Wohngebiet in der Zeile 4 der Tabelle 2 - DIN 4150 Teil2 (siehe folgende Seite) eingeordnet. Daraus ergibt sich ein tagsüber zulässiger Ao-Wert von 3,0.

Der Bewertung dienen die Anhaltswerte aus Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 2:

- A_u unterer Anhaltswert
- A_o oberer Anhaltswert
- A_r zeitbewerteter Anhaltswert

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

Es gilt dabei die Norm als eingehalten, wenn

$$KB_{Fmax} \leq A_u \text{ oder}$$

$$KB_{Fmax} \leq A_o \text{ und } KB_{FTT} \leq A_r$$

als nicht eingehalten, wenn

$$KB_{Fmax} \geq A_o \text{ ist}$$

DIN 4150, Teil 2, Tabelle 1: Anhaltswert A_0 für die Beurteilung von Erschütterungen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

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 Industriegebiete § 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 vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt							

15.1 Konzeptionierung der Sprenganlagen

Dem Sprengverantwortlichen 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 „konventionelle“ Zündverfahren die Anhaltswerte der DIN 4150 Teil 3 nicht eingehalten- bzw. Zündüberschneidungen nicht vermieden werden können. Auch ist die Möglichkeit der Teilung der Ladesäule mit in Betracht zu ziehen.

Die Sprengparameter legt der Sprengberechtigte anhand der örtlichen Verhältnisse eigenständig fest.

Der Sprengberechtigte hat folgende Sprengparameter sicherzustellen:

Maximaler Spezifischer Sprengstoffaufwand

$$q_{\text{spez,max}} = 0,500 \text{ g/m}^3$$

Minimaler Spezifischer Sprengstoffaufwand

$$q_{\text{spez,min}} = 0,180 \text{ g/m}^3$$

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 Bohrlochdurchmesser (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.

Für eine Festlegung einer Obergrenze des spezifischen Sprengstoffaufwandes von $0,500 \text{ kg/m}^3$ Festgestein, muss ebenso eine Untergrenze des spezifischen Sprengstoffaufwandes von ca. $0,180 \text{ kg/m}^3$ eingehalten werden, um einer Unterladung der Sprenganlage entgegenzuwirken.

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

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 Wandlänge 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 (geschlitz); 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 6. Kritische Vorgaben in Abhängigkeit des eingesetzten Lademetergewichtes.

Minimum Endbesatz

$$h_{Bmin} = 33 * \text{Bohrlochdurchmesser } (d_B)$$

16. Vorgesehene Sprengparameter Versuchssprengung

Zur Kontrolle der Sprengimmissionen und des Sprengerfolges hinsichtlich der Lös- und Ladbarkeit des Rohhaufwerkes ist eine *Versuchssprengung* mit den hier gewählten Parametern notwendig.

Gewählte Parameter:

Unterbohrung	u_b	= 0,5 m
Bohrlochtiefe	l_b	= 12 m
Endbesatz	h_b	= 3,5 m
Bohrlochdurchmesser	d_B	= 90 mm
Bohrloch- = Reihenabstand	$a_B = a_R$	= 5,0 m
Sprengstoffart => gep. Emulsionsspr.	L_{ml}	= 9 kg/m
spezifischen Sprengstoffbedarf ($q_{spez.}$)	$q_{spez.}$	= 0,270 kg/m ³
Lademeter	L_{Lm}	= ca. 8,0 m
Lademenge pro Bohrloch	L_{Bl}	= ca. 81 kg

Die Anzahl der Bohrlöcher muss in Abhängigkeit des gewählten Zündsystems so gewählt werden, so dass die Bohrlochladungen überschneidungsfrei zünden. Diese gewählten Parameter sind für den zukünftigen sprengtechnischen Abbau nicht bindend. Sie dienen lediglich der Überprüfung der Erschütterungsprognosen.

Kontrollen nach gutachterlichen Festlegungen:

a) Sprengstoffaufwand

$$q_{\min} = 0,180 \text{ kg/m}^3 < 0,350 \text{ kg/m}^3 < 0,500 \text{ kg/m}^3 = q_{\max} \quad \Rightarrow \text{in Ordnung}$$

b) Vorgabe $w = a_R > w_{\min} = 5 \text{ m}$ nach Tabelle 4

=> in Ordnung

c) Endbesatz $h_b = 3,5 \text{ m} \geq 33 \times 0,09 = 3 \text{ m}$

=> in Ordnung

d) Maximale Lademenge pro Zündzeitstufe L_{mlZzst}

Die Maximale Lademenge pro Zündzeitstufe wird wie folgt bestimmt:

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

$$L_{mlZzst} = 9 \text{ kg/m} \times (12 \text{ m} + 0,5 \text{ m} - 3,5 \text{ m})$$

$$L_{mlZzst} = 81 \text{ kg/Zzst.}$$

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

17. Zusammenfassung der abgeschätzten Erschütterungsimmissionen

In der folgenden Tabelle werden die Erschütterungsimmissionen für die einzelnen Schutzobjekte zusammengefasst und mit den jeweiligen Anhaltswerten der DIN4150 Teil 2 und 3 verglichen.

Wohnbebauung	ca. Entfernung zur Abbaugrenze	Lademen ge/ Zündzeit stufe	V _{max} Fundament		V _{max} Obergeschoss		KB _{Fmax} im OG	
			zul.	Progn.	zul.	Progn.	zul.	Progn.
Reckener Barrière	ca. 230 m	30 kg	5 mm/s	1,9 mm/s	20 mm/s	4,8 mm/s	3	2,4
Gemeinde Brouch	ca. 1300 m	325 kg	5 mm/s	0,7 mm/s	20 mm/s	1,7 mm/s	3	0,8
Gemeinde Mersch / Reckange	ca. 1200 m	325 kg	5 mm/s	0,7 mm/s	20 mm/s	1,9 mm/s	3	0,9

Tabelle 7. Beurteilung der Ortslagen hinsichtlich der prognostizierten Schwinggeschwindigkeiten und der Anhaltswerte nach DIN4150-2 und -3.

Die Sprengstofflademengen in Richtung Norden müssen bis auf 30kg/Zzst. reduziert werden. Die Prognose der Schwinggeschwindigkeiten ist durch Erschütterungsmessungen zu überprüfen.

18. Schlussbetrachtung – gutachterliche Empfehlung

Im vorliegenden Gutachten wurde die schädigende Wirkung der Sprengerschütterungen durch Lockerungssprengungen auf Personen und Sachgüter in dem vorgesehenen Erweiterungsgebiet des Steinbruchs Brouch auf die Ortslagen Brouch, Reckener Barrière und Reckange auf Grundlage einer sprengbegleitenden Erschütterungsmessung mit 10 Messpunkten prognostiziert. Dabei wurden auch die Erschütterungsimmissionen und deren Einwirkung auf Menschen in Gebäuden untersucht.

Es besteht keine Gefährdung von Personen und/oder Schutzobjekten durch Sprengerschütterungen im bezeichneten Bauvorhaben. Die Sprengarbeiten können umweltverträglich ausgeführt werden.

Im nördlichen Abbaubereich werden Lademengenbegrenzungen pro Zündzeitstufe auf 30kg notwendig, um die Erschütterungsimmissionen in Richtung Reckener Barrière unterhalb 80% der festgelegten Anhaltswerte zu gewährleisten.

Die Schwinggeschwindigkeiten mit den dazugehörigen Frequenzen sollten in regelmäßigen Abständen durch geeignete Erschütterungsmessgeräte gemessen werden. Die Messergebnisse sind mit den Prognosewerten zu vergleichen und ggf. sprengtechnische Maßnahmen zur Erschütterungsreduktion umzusetzen.

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.

Eine Begrenzung der Wandhöhen aufgrund sprengtechnischer Zwänge ist nicht erforderlich, da die errechneten Lademengen pro Zündzeitstufe theoretisch für Wandhöhen über 30m einsetzbar wären.

Empfohlen werden geringere Wandhöhen als 30m, da diese Bohr- und Sprengtechnisch beherrschbarer sind. Die Sprengparameter sind dann, wie beschrieben, anzupassen. Dies schließt jedoch nicht die Möglichkeit aus, in Teilen und unter abbautechnischen Zwängen mit 30m-Wänden zu arbeiten.

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

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

Für die Anwohner sind die Sprengarbeiten als zumutbar festgestellt worden. Bezüglich der Sprengarbeiten sind in den letzten Jahren keine Beschwerden der Anwohner an bekannt.

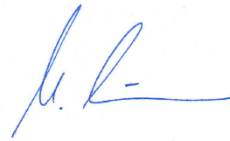
Sollten die Sprengarbeiten dennoch als störend wahrgenommen werden, können folgende Maßnahmen eingeleitet werden, um eine bessere Akzeptanz zu gewährleisten:

Ankündigung der Sprengarbeiten in Zeitungen oder mit Handzetteln, telefonische/persönliche Vorwarnung, Kombination der Vorwarnung mit gezielten Informationen und Benennung von Verantwortlichen.

Diese Maßnahmen werden dann zusätzlich zu den vorgeschriebenen Sprengsignalen ausgeführt.

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

St. Wendel, den 17.04.2024



Manfred Krämer

Anlagen:

Anlage 1: Tabelle Lademenge / Abstand bis 300m

Anlage 2: Tabelle Lademenge / Abstand ab 300m

19. Literatur – Allgemein anerkannte Regeln der Technik

- [1] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 1, Sep. 2001, Erschütterungen im Bauwesen, Vorermittlung von Schwingungsgrößen
- [2] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 2, Jun. 1999, Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkung auf Menschen in Gebäuden
- [3] DEUTSCHE NORMEN, DIN 4150, Teil 3, Dez. 2016, Erschütterungen im Bauwesen1212
- [4] DEUTSCHE NORMEN, DIN 20163, Nov. 1994, Sprengtechnik; Begriffe, Einheiten, Formelzeichen
- [5] DEUTSCHE NORMEN DIN 45669-1, Juni 2020, Messungen von Schwingungsimmissionen Teil 1: Schwingungsmesser – Anforderungen, Prüfung“
- [6] DR. P.LICHTE, Ratgeber Erschütterungen, Leitfaden und Arbeitshilfe für die Arbeit mit erschütterungsemittierenden Vorgängen im Bauwesen und Sprengtechnik.
- [7] ROLF SCHILLINGER, Sprengtechnik und Umwelt in der Praxis, 2009 Carl Hanser Verlag München
- [8] Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungs-
immissionen; Beschluss des Länderausschusses für Immissionsschutz vom
10. Mai 2000
- [9] Handlungshilfe, Deutscher Sprengverband, Empfehlung zur
Steinflugverhinderung bei Gewinnungssprengungen, März 2012
- [10] Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (SprengTR 310 -
Sprengarbeiten). Vom 5. Oktober 2016 (BAnz. vom 11.10.2016, B1)