

**Erweiterung
des
Steinbruchs
Haigerloch - Weildorf**

**Schotterwerk
Engelbert Schneider
GmbH & Co. KG**

**Sprengtechnisches Gutachten
und
Immissionsprognose**

Dipl.-Ing. G. A. Schmücker
Bethlehemmerstr. 59
D - 50126 Bergheim



Bei der IHK Köln öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für über- und untertägige Gesteinssprengungen und
Immissionsprognosen



Spreng- und immissionstechnisches Gutachten

Projekt Erweiterung des Steinbruchs

Inhaltsverzeichnis

| | | Seite |
|----------|---|-----------|
| 1 | Allgemeines | 03 |
| | 1.1 Auftraggeber | 03 |
| | 1.2 Allgemeine Erläuterungen zum Vorhaben | 03 |
| | 1.3 Auftrag und Vorgehensweise | 04 |
| | 1.4 Quellen als Grundlage zur Gutachtenerstellung | 04 |
| 2 | Verfahrensablauf im Steinbruch | 05 |
| 3 | Betriebsbeschreibung | 06 |
| | 3.1 Abbauführung | 06 |
| | 3.2 Umgebungssituation und Beschreibung der Immissionsobjekte | 07 |
| | 3.3 Bohrtechnik | 08 |
| | 3.4 Sprengtechnik | 09 |
| | 3.5 Zündverfahren | 10 |
| | 3.5.1 Elektrisches Zündverfahren | 11 |
| | 3.5.2 Weitere Zündverfahren | 11 |
| | 3.6 Zündungstechnik | 12 |
| 4 | Grundlagen | 13 |
| | 4.1 Sprengerschütterungen – Allgemeines - | 13 |
| | 4.2 Beurteilungsgrundlage für Sprengerschütterungsimmissionen | 15 |
| | 4.2.1 Einwirkungen auf bauliche Anlagen (DIN 4150 Teil 3) | 15 |
| | 4.2.2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150 Teil 2) | 18 |
| | 4.3 Vorermittlung von Schwingungsgrößen (DIN 4150 Teil 1) | 19 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Immissionsprognose | 20 |
| 5.1 | Ermittlung der spezifischen Gebirgsbeiwerte | 23 |
| 5.2 | Immissionsprognose (Erschütterungen) | 24 |
| 5.3 | Steinflug – Ursachen und Vermeidung - | 27 |
| 5.4 | Sprengbereich und Absperrung | 28 |
| 5.5 | Sprengschwaden und Gesteinsstäube | 29 |
| 5.6 | Immissionsprognose (Schallpegel) | 29 |
| 6 | Schutzkonzept Sprengerschütterungen | 31 |
| 7 | Zusammenfassung | 33 |

Anhänge

| | | |
|----------|--|--------|
| Anhang 1 | Übersichtskarte | 35 |
| Anhang 2 | Übersichtskarte mit Abständen zu den Immissionsobjekten | 36 |
| Anhang 3 | Darstellung der Abbauschnitte | 37 |
| Anhang 4 | Darstellung der Generalabbaurichtung (Zwischenstand) | 38 |
| Anhang 5 | Darstellung der Generalabbaurichtung (Stand zum Abbauende) | 39 |
| Anhang 6 | Lademengen-Abstandstabelle (Wohngebäude) | 40 |
| Anhang 7 | Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabelle ($L_{\max} = 87 \text{ kg}$) | 41 |
| Anhang 8 | Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabelle ($L_{\max} = 45 \text{ kg}$) | 42 |
| Anhang 9 | Prinzipzeichnungen Steinfluggefahren | 43 ff. |
| Anlage 1 | Ausführlicher Messbericht mit diversen Anlagen | |

Das Gutachten enthält 47 Seiten (inklusive Anhänge) und die Anlage 1.

1 Allgemeines

1.1 Auftraggeber

Engelbert Schneider GmbH & Co. KG (im Weiteren Fa. Schneider genannt)

Hanfland 1

72401 Haigerloch-Gruol

1.2 Allgemeine Erläuterungen zum Vorhaben

Zur weiteren Rohstoffsicherung beantragt die Fa. Schneider die Erweiterung Ihres Steinbruchs in Haigerloch – Weildorf in Richtung Westen um 6 ha. Diese Erweiterungsfläche des Steinbruchs soll die Fortführung des Rohstoffabbaus und somit den Fortbestand des Schotterwerkes für ca. 20 Jahre sichern. Im Anhang 1 ist der Steinbruch mit der Erweiterungsfläche in der Übersichtskarte dargestellt.

Neben Dolomit werden in dem Steinbruch vor allem die Schichten des oberen Muschelkalks überwiegend mit Anwendung der Bohr- und Sprengtechnik abgebaut deren Gesamtmächtigkeit ca. 80 m beträgt. Pro Jahr werden zumeist weniger als 35 Sprengungen durchgeführt.

Der Untergrund im Umfeld des Steinbruchs Haigerloch-Weildorf wird von Gesteinen des Unteren Keupers, des Oberen Muschelkalks (mo) und des Mittleren Muschelkalks (mm) aufgebaut. Überlagert werden die Schichten von einer quartären Lösslehm-Überdeckung. Die Schichten des unteren Keupers sowie des mittleren Muschelkalks sind wirtschaftlich nicht verwertbar. Die Abraumschichten im Bereich der geplanten Erweiterung erreichen Mächtigkeiten bis zu ca. 15 m und können ohne den Einsatz von Sprengstoff mit dem Hydraulikbagger abgetragen werden.

Insbesondere die Kalksteinschichten unterhalb des Dolomits stellen einen hochwertigen Rohstoff dar, der für die Produktion von Schotter und Korngemischen für zahlreiche Anforderungen des Tief- und Straßenbaus geeignet ist. Die Toneinlagerungen zwischen den Muschelkalkschichten bedingen, dass im Zuge der Aufbereitung des Gesteins ein Anteil von ca. 25 % der Lagerstätte als nicht verwertbares Material ausgeschieden werden müssen.

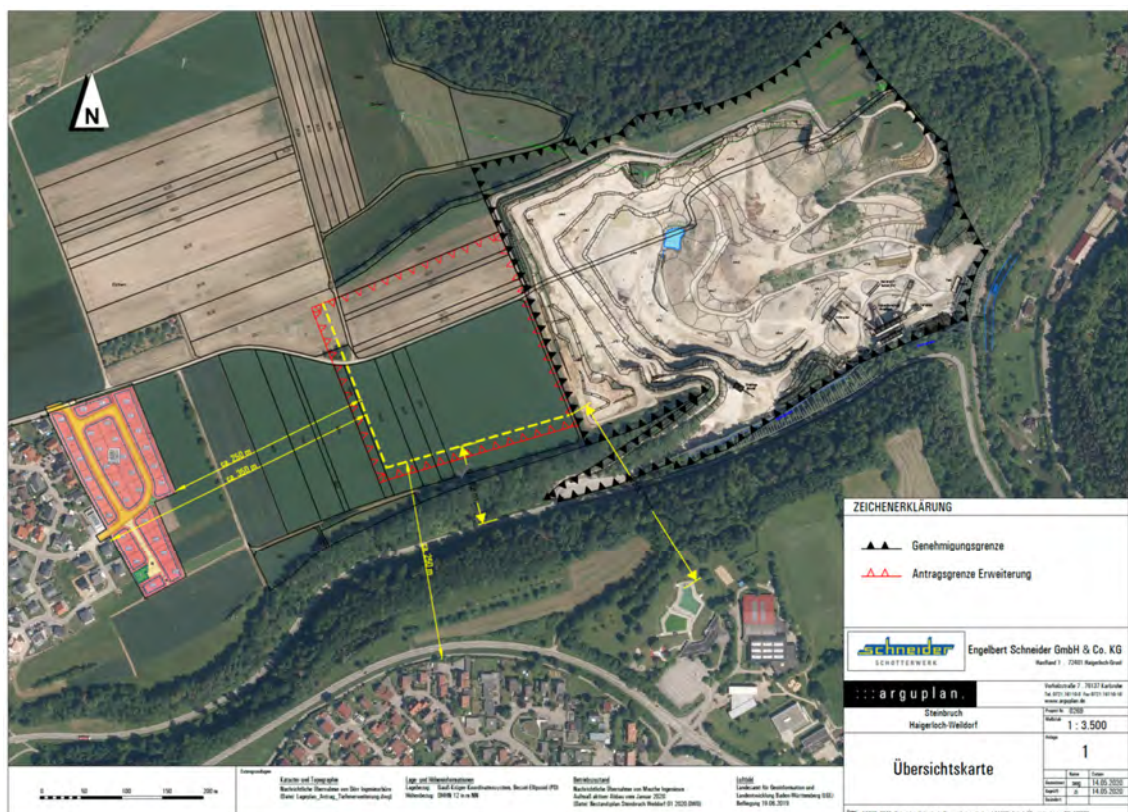


Abb. 1: Darstellung der heutigen Abbausituation anhand einer Google-Earth-Darstellung.

In der Abbildung 1 (vergl. auch Anhang 2) ist der genehmigte Abbau mit der beantragten Erweiterungsfläche (rot) im direkten geographischen Umfeld dargestellt.

Die ursprüngliche Planung der Erweiterung im Rahmen des Rohstoffsicherungsplan (vergl. 1. Änderung des Regionalplans Neckar-Alb 2013 als Gebiet für den Abbau oberflächen-naher Rohstoffe) sah einen minimalen Abstand bis zur realen Abbaugrenze (mindestens 10 m Abstand zur beantragten Abbaugrenze) von ca. 350 m vor. Die Stadt Haigerloch mit Ihrem Ortschaftsrat Weildorf möchte die Ortschaft Weildorf nach Osten in Richtung des Steinbruchs durch ein neue Baugebiet „Trillfinger Steig II“ erweitern. Dieses Vorhaben wird nunmehr in den Planungen berücksichtigt. Der Abstand zwischen dem neuen Wohngebiet und der realen Abbaugrenze wird sich dadurch bis zum Endabbau stadium des Steinbruchs auf bis zu 250 m verringern. Auf diese neue Immissionssituation wird dieses Gutachten eingehen.

1.3 Auftrag und Vorgehensweise

Der Unterzeichner ist von der Fa. Schneider mit der Ausarbeitung des Spreng- und immissions-technischen Gutachtens bezüglich der Gewinnungsarbeiten mittels Bohr- und Sprengarbeit beauftragt worden.

Im Einzelnen umfasst diese Ausarbeitung:

- Schematische Darstellung (Fließbild) des Steinbruchbetriebes
- Sprengtechnische Immissionsprognose (Erschütterungen)
- Berechnung und Erläuterung der vorgeschlagenen Sprengtechnik
- Empfehlungen zur zukünftigen Sprengtechnik
- Ausarbeitung eines Schutzkonzeptes (Erschütterungen)

Die Immissionsprognose umfasst eine gutachterliche Stellungnahme zu den Themenschwerpunkten

- Sprengerschütterungen unter Berücksichtigung der gültigen Regelwerke
- Steinfluggefahren und -vermeidung
- Sprengschwaden und Gesteinsstäube und
- Sprenggeräusche

Die gutachterlichen Empfehlungen für die beabsichtigte Steinbrucherweiterung orientieren sich unter Einhaltung der geltenden Gesetze und Regelwerke, auch an der Kernaussage des BImSchG "nicht mehr Emissionen zu erzeugen, als nach dem Stand der Technik unvermeidbar sind".

Themenschwerpunkt der Immissionsbetrachtung sind Sprengerschütterungen und Steinflugvermeidung.

Der Unterzeichner führt seit 2012 das Sprengerschütterungsmonitoring im Auftrage der Fa. Schneider durch. Insofern sind die Örtlichkeiten des Steinbruchs und der Umgebungssituation gut bekannt.

1.4 Quellen als Grundlage zur Gutachtenerstellung

Nachfolgende Unterlagen wurden dem Unterzeichner von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellt:

- Erläuterungsbericht der Fa. Schneider, ausgearbeitet vom Ingenieurbüro arguplan (Stand August 2020)
- Verschiedene Plandarstellungen des Ingenieurbüros arguplan
- DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen
 - Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen (Weißdruck Juni 2001)
 - Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (Weißdruck aus 06 / 1999)
 - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen (Weißdruck Dez. 2016 -geänderte Neufassung-)
- DIN 45669 Messung von Schwingungsimmissionen

- Teil 1: Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung (Weißdruck Juni 2020)
- Teil 2: Messverfahren (Weißdruck Juni 2005)
- Teil 3: Prüfung (Kalibrierung und Beurteilung) der Schwingungsmesseinrichtung; Erstprüfung, Nachprüfung, Zwischenprüfung, Prüfung für den Messeinsatz
- Sog. Erschütterungsrichtlinie
Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen. Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; des Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr und des Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport Baden-Württemberg vom 31.07.2000
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen“. Herausgeber: Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), Stand 06.03.2018
- Gutachterlicher Jahresbericht „Sprengerschütterungen 2017“ des Unterzeichners; 12.04.2018
- Diverse Erschütterungsmessdaten und Auswertungen des Unterzeichners bzw. seines Ingenieurbüros ESS (Engineering Service Schmücker) sowie Aufstellprotokolle der Erschütterungsmessgeräte
- Sprengtechnische Daten (Bohr- und Sprengprotokolle) des die Bohr- und Sprengarbeiten ausführenden Unternehmens Lothar Rapp GmbH Bohr- und Sprengunternehmen
- Technische Regel “Spreng TR 310 Sprengarbeiten”

2 Verfahrensablauf im Steinbruch - Entstehung von Emissionen -

Aus der Abbildung 2 gehen die im Steinbruch erforderlichen Verfahrensschritte zur Rohmaterialgewinnung mittels Bohr- und Sprengarbeit hervor.

Die Verfahrensschritte gliedern sich im Regelfall wie folgt:

1. Vorbereitende Arbeiten wie z. B. Abraum abtragen und verkippen
2. Bohren
3. Sprengen
4. Laden und Transportieren
5. Brechen und Klassieren

Der Aufbereitungsprozeß mit Brech- und Klassiervorgängen ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens bzw. des durch die Fa. Schneider ausgeführten Genehmigungsverfahrens und wird hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

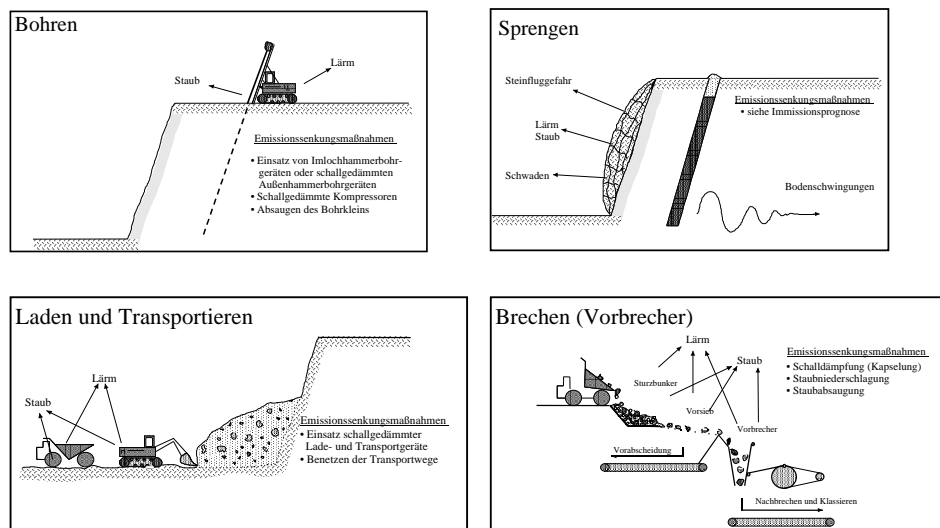


Abb. 2: Verfahrensschritte zur Rohstoffgewinnung mit Bohr- und Sprengarbeit

Die Reduzierung von Sprengemissionen ist wegen der vielzähligen Einflussfaktoren ein sehr komplexes Thema und darüber hinaus sehr stark von der angewandten Sprengtechnik, deren Ausführung vor Ort und den geologischen und hydrologischen Bedingungen abhängig.

3. Betriebsbeschreibung

In der Betriebsbeschreibung wird die derzeitige eingesetzte und zukünftig geplante Betriebstechnik im Erweiterungsbereich ausführlich beschrieben und Empfehlungen bezüglich der Sprengtechnik gegeben.

3.1 Abbauführung

In der Tabelle 1 sind die Strossenhöhen und Ihre Bezeichnungen des derzeitigen Abbaus im Vergleich zu dem zukünftig geplanten Abbau aufgeführt. Der zukünftige Gesteinsabbau wird sich durch die etwas veränderte Sohlenteilung ändern.

Genehmigte Abbaufäche

| Sohle | Wandhöhe | Abbautechnik |
|------------------|----------------------|-------------------|
| Sohle 1 Tiefgang | ca. 15 - 20 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 2 Kalk | ca. 20 - 23 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 3 Dolomit | ca. 26 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 4 Abraum | variabel, ab ca. 2 m | Bohren + Sprengen |

Beantragte Erweiterungsfläche

| Sohle | Wandhöhe | Abbautechnik |
|---------------------|-----------------|----------------------|
| Sohle 1 Tiefenabbau | ca. 6 - 10 m | bevorzugt mechanisch |
| Sohle 2 Kalk | ca. 23 bis 27 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 3 Kalk | ca. 23 bis 27 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 4 Dolomit | ca. 20 bis 26 m | Bohren + Sprengen |
| Sohle 5 Abraum | ca. 15 m | mechanisch |

Tabelle 1: Sohlennummerierung und Wandhöhen des Steinbruchs

Der geplante Abbau soll eine Endtiefe bis ca. 414 bis 419 m ü. NN erreichen und würde damit leicht unterhalb des Grundwasserniveaus liegen. Dadurch ergibt sich der neue Tiefenabbau.

Im Unterschied zur jetzigen Abbautechnik, soll der Gesteinsabbau im Bereich der Sohle 1 als Tiefenabbau im Grundwasserbereich mechanisch erfolgen. Sofern keine wasserrechtlichen Belange dem Entgegenstehen, könnte prinzipiell dieser Tiefenabbau auch mit Bohr- und Sprengtechnik erfolgen, wobei wasserfeste Emulsionssprengstoffe einzusetzen wären. Danach ergeben sich die beiden wichtigen Abbausohlen 2 und 3 (beide Kalkstein) mit maximalen senkrechten Bruchwandhöhen von bis zu ca. 27 m.

Die 4. Abbausohle im Dolomit bleibt so wie gehabt bestehen. Die Überlagerungsschichten können voraussichtlich bis zum Dolomit alle rein mechanisch abgebaut werden.

Im Anhang 3 sind die Abbauschritte aufgeführt aus denen man neben den geplanten Strossenhöhen auch erkennen kann, dass das reale Abbauende durch einen Schutzstreifen vor den beantragten Abbaugrenzen liegt.

Da die Generalabbaurichtung nach Westen gerichtet ist, wenn die Fa. Schneider so abbauen würde wie bisher, wäre diese gleich mit der Hauptabstrahlrichtung der Sprengerschütterungen. Aus diesem Grunde wird die Abbaurichtung etwas nach Nordwesten gedreht. Dieses geht aus den Anhängen 4 und 5 hervor, die diese Drehung zu einer Generalabbaurichtung Nordwest anschaulich darstellen.

Man erkennt auch, dass versucht werden soll, den Gesteinsabbau im Südwesten vorlaufen zu lassen. Es stellt sich damit eine „Negativbarriere“ ein, die bereits bei anderen Projekten nachweislich erschütterungsreduzierend wirkt. Die Ortsrandlagen Haigerloch (südlich) und Weildorf (westlich) werden dadurch nicht durch den Hauptanteil der „Verlustenergie Sprengerschütterungen“ belastet werden, wenn durch diese Abbautechnik die Negativbarriere über alle Sohlen hergestellt ist.

In der Abbildung 3 wird das Prinzip erläutert. Die weißen Rechtecke stellen die einzelnen Sprengungen dar, die vorrangig in der Fläche des blauen Dreiecks für den Gesteinsabbau

verantwortlich sind und dafür Sorge tragen, dass die Abbaukubatur nächstliegend zu den Bebauungen bis zur Endtiefe abgetragen wird. Dieses erfolgt sukzessive und nimmt natürlich Zeit in Anspruch. Für die übrige Abbaukubatur sollte dann nach einigen Jahren eine deutlich geringere Ankopplung mit Wirkrichtung zu den Ortsrandlagen vorhanden sein.

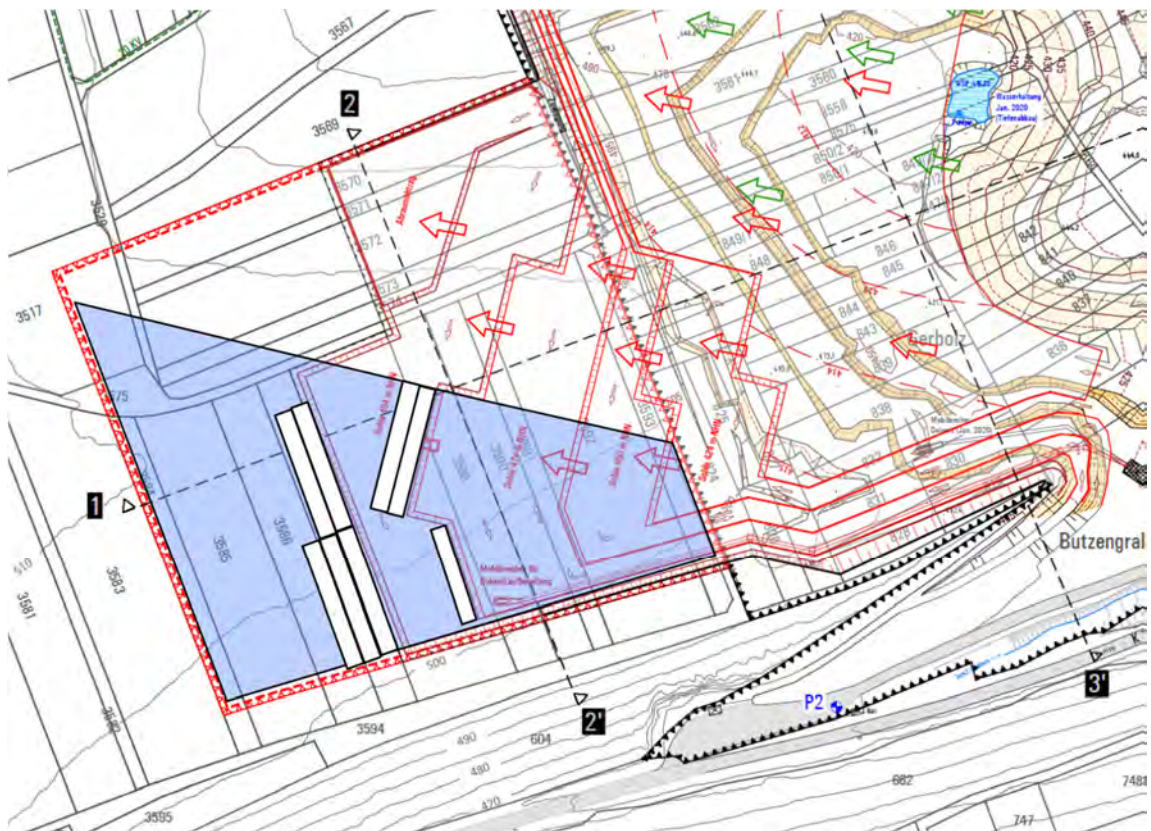


Abb. 3: Prinzip des zukünftigen Abbaus nach dem Prinzip der „Negativbarriere“.

Diese Negativbarriere ist bereits in natürlicher Form durch den Taleinschnitt der K 7118 nach Süden vorhanden.

3.2 Umgebungssituation und Beschreibung der Immissionsobjekte

Aus dem Anhang 2 geht die Immissionssituation im Detail hervor. Dargestellt sind die jeweils minimalen horizontalen Abstände zu den realen Abbaugrenzen des Erweiterungsgebietes, das bedeutet die Berücksichtigung des Schutzstreifens von ca. 10 m innerhalb der Abbaugrenzen.

Demnach ergeben sich folgende schützwürdige Immissionsobjekte (IO's):

| | |
|--|-----------|
| IO 01: Ortsrandlage Weildorf mit neuem Wohngebiet „Trillfinger Steig II“ | ca. 250 m |
| IO 02: Ortsrandlage Haigerloch | ca. 250 m |
| IO 03: Öffentlich Schwimmanlage der Stadt Haigerloch | ca. 250 m |
| IO 04: Kreisstraße K 7118 | ca. 100 m |
| IO 05: Ortsrandlage Weildorf bisheriges Wohngebiet ohne „Trillfinger Steig II“ | ca. 350 m |

Als Immissionsort IO 05 ist die bisherige Ortsrandlage Weildorf mit aufgeführt. Anhand der größeren Entfernung zur beantragten Abbaugrenze wird der Zusatzaufwand bei den Sprengungen in der Immissionsprognose ersichtlich.

Straßen (wie z. B. die Kreisstraße IO 04) sowie Telekom-, Daten und ähnliche Leitungen können durch Erschütterungen im Regelfall nicht zerstört werden. Insofern wird der IO 04 in der Immissionsprognose nicht weiter betrachtet.

Im Nahfeld zur Erweiterungsfläche befindet sich eine Starkstromleitung (110 KV) in minimal ca. 110 m Abstand sowie eine erdverlegte Stromleitung (20 KV) in minimal 75 m Abstand.

Das zur Abbaugrenze erste mit ihren Mastfundament hat zur Abbaugrenze einen Abstand von ca. 175 m. Aufgrund des großen Abstandes muss dieser Mast nicht in der Immissionsprognose berücksichtigt werden.

Für die Ortsrandlagen werden ausschließlich Wohngebäude in der Immissionsprognose berücksichtigt, weil deren Schutzwürdigkeit im Sinne der DIN 4150 Teil 3 vor zum Beispiel industriellen Gebäuden bzw. gewerblich genutzten Gebäuden steht.

Denkmalgeschützte Gebäude sind in einem Abstand von mindestens 300 m zu den realen Abbaugrenzen nicht vorhanden, so dass in der Immissionsprognose (wegen ihres höheren Schutzziels entsprechend der DIN 4150 Teil 3) jedoch keine weiteren Berechnungen erforderlich sind.

Versorgungsleitungen Dritter sind nach Aussage der Auftraggeberin im Einflussbereich der Sprengungen (hier ca. 40 m) für eine Schwinggeschwindigkeit von $v_{i, \max} = 50 \text{ mm/s}$ (Worst-Case-Betrachtung) nicht vorhanden.

3.3 Bohrtechnik

Die richtige Anordnung und Herstellung der Laderäume hat einen entscheidenden Einfluss auf das Sprengergebnis, die technische Sicherheit und den Umweltschutz.

Welche Bohrgeräte zukünftig in der hier beantragten Erweiterungsfläche zum Einsatz kommen werden, kann zu diesem Zeitpunkt nicht festgelegt werden. Es hat sich jedoch in der Vergangenheit in diesen geologischen Bedingungen gezeigt, dass sowohl moderne Imlochhammer- als auch Außenhammer - Bohrgeräte richtungsgenau und wirtschaftlich bohren können.

Die zukünftig eingesetzten Bohrgeräte sollten auch weiterhin dem Stand der Technik entsprechen und vordergründig für richtungsgenaue Bohrlöcher sorgen.

Es ist davon auszugehen, dass ein Bohr- und Sprengdienstleister wie bisher für die Sprengarbeiten verantwortlich sein wird. Derzeit werden diese durch die Fa. Lothar Rapp GmbH Bohr- und Sprengunternehmen durchgeführt. Dabei kommen überwiegend GPS-basierte Außenhammerbohrgeräte zum Einsatz. Dadurch kann die Qualität der Bohrungen überprüft, die Bohransatzpunkte genau bestimmt werden und die Sprengungen bei Bedarf vorab per PC-Unterstützung geplant werden.

Aus dokumentationsgründen wird für die Erstellung der Bohrlöcher die Anfertigung von Bohrberichten empfohlen, die folgende Angaben enthalten sollten:

- Skizze zu den Bohranlagen
- Bohrlochabstände
- Vorgaben
- Bohrlochnummerierungen
- Bohrlochtiefen
- Bohrlochneigungswinkel
- Bohrlochdurchmesser

In diesem Bohrbericht sollten darüber hinaus auch Informationen über den Zustand der Bohrlöcher, über Besonderheiten des Gebirges (Klüfte, Lehm, Hohlräume, trocken, wasserführend) festgehalten werden, um die Lade- und Sprengarbeiten der örtlichen Situation anpassen zu können.

Den Stand der Technik stellen zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland Bohrlochdurchmesser von 76 bis 115 mm (in Ausnahmefällen auch bis 140 mm) dar. Bisher wird im Steinbruch der Fa. Schneider ein Bohrlochdurchmesser von ca. 93 mm eingesetzt.

Die Wahl des Bohrlochdurchmessers ist von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. den geologischen Verhältnissen, dem Sprengzweck, der angewandten Sprengtechnik, den Immissionsbedingungen (z. B. Lademenge je Zündzeitstufe) und der Leistungsfähigkeit des einzusetzenden Bohrgerätes.

Nachfolgende sprengtechnische Berechnungen berücksichtigen bei der Auswahl der möglichen Bohrlochdurchmesser die spezifischen Bedingungen im Steinbruch der Fa. Schneider.

Empfehlung

Grundsätzlich können alle für Bohrloch- und Großbohrlochsprengungen sinnvollen und technisch realisierbaren Bohrlochdurchmesser eingesetzt werden.

Eine Einschränkung kann sich jedoch durch eine jederzeit zu garantierender Einhaltung der gültigen Immissions- bzw. Anhaltswerte ergeben.

3.4 Sprengtechnik

Die Sprengtechnik sollte, soweit möglich, immer dem neuesten Stand der Technik entsprechen. Die Bestimmungen der „Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (SprengTR 310 - Sprengarbeiten) vom 5. Oktober 2016 (oder zukünftige Regelwerke in der jeweils aktuellen Form) müssen immer angewendet werden.

Die Bestimmungen im Anhang T – 2 für Großbohrlochsprengungen sind dabei zwingend zu beachten, da die überwiegenden Strossensprengungen eine Bohrlochlänge von > 12 m erfordern.

Die bisherige Sprengtechnik soll auch dem Grundsatz nach im Erweiterungsbereich angewendet werden. Darüber hinaus soll jederzeit die Möglichkeit bestehen, die jeweilige neueste Sprengtechnik einzusetzen, sofern der Sprengerfolg und das Immissionsniveau (Sprengerschütterungen) dieses erlaubt.

Bisher werden jährlich bis zu maximal ca. 35 Sprengungen durchgeführt. Dabei werden auch die Abraum- und Dolomitsohle berücksichtigt. Diese Anzahl soll auch zukünftig bei der vorgesehenen jährlichen Abbaumenge nicht überschritten werden. Es soll aber auch keine Beschränkung der Sprengungen bestehen.

Grundsätzlich ist aus Sicht des Erschütterungsschutzes eine Minimierung der Anzahl zu befürworten, jedoch kann die Fa. Schneider die Sprengungen je nach Witterungslage aus materialtechnischen Gründen nicht beliebig vergrößern. Daher werden wohl auch zukünftig überwiegend kleinere Sprengungen bis maximal ca. 20 Bohrlöcher mit Einreihensprengungen durchgeführt werden.

Auch zukünftig werden die folgenden Sprengstoffarten Verwendung finden, die sich in der Vergangenheit bestens bewährt haben:

| | |
|--|---------------------|
| Patronierter Emulsionssprengstoff: | z. B. Emulex 2 Plus |
| Patronierter pulverförmiger Sprengstoff: | z. B. Wallonit |
| Patronierter ANFO-Sprengstoff: | z. B. Wandex P |
| Loser ANFO-Sprengstoff: | z. B. Wandex |

Die aufgeführten Handelsnamen sind nur Beispiele der aktuell verwendeten Sprengmittel.

Aus sicherheitstechnischen und handhabungstechnischen Gründen konnte bisher auf den Einsatz von gelatinösen Sprengstoffen verzichtet. Diese wurden zur Gänze durch patronierten Emulsionssprengstoff ersetzt. Dieses Ziel soll auch in der Erweiterungsfläche bestehen bleiben.

Je nach Bruchwandhöhe wird auch weiterhin ein Bohrlochraster zwischen ca. 3,5 m x 3,5 m und 4,0 m x 4,0 m bei einem erforderlichen spezifischen Sprengstoffaufwand von ca. $q = 0,2$ bis $0,3 \text{ kg/fm}^3$ erforderlich sein. Auch die maximale Lademenge je Zündzeitstufe wird je nach Bruchwandhöhe variieren und wird ca. 87 kg bei Zündung von nur einer Bohrlochladung je Zündzeitstufe jedoch nicht überschreiten. In der Immissionsprognose wird darauf näher eingegangen, da gegebenenfalls – je nach Entfernung zu den Ortsrandlagen - auch Ladungsteilung verwendet werden muss.

Die Bruchwandneigungen sind derzeit auf ca. 90° eingestellt, dieses hat sich bewährt und soll so in etwa beibehalten werden (80 bis 90°).

Die Sprengungen im Steinbruch Weildorf wurden bisher ohne Ladungsteilung durchgeführt. Die Ladungen werden dabei überwiegend mit einer Sprengschnur (20 oder 40 g PETN/m Füllgewicht) über die ganze Länge initiiert. Allerdings erfolgt mehrheitlich eine Streckung der Ladung durch die Beiladung von Zwischenbesatz zur Beeinflussung der Haufwerksqualität.

Empfehlung

Grundsätzlich sollten alle mit einer EG-Baumusterprüfbescheinigung (CE-Zeichen) versehenen und darüber hinaus in Deutschland zur Verwendung BAM-zugelassenen Sprengstoffe und Zündmittel (mit erteilter Identifikationsnummer) bei den Sprengarbeiten zum Einsatz kommen

können. Dieses betrifft hier im speziellen Fall sowohl patronierte als auch lose Sprengstoffe sowie alle marktüblichen Zündverfahren (derzeit das elektrische-, nichtelektrische- und elektro-nische Zündverfahren).

Als Sprengstoffe können daher gelatinöse Sprengstoffe, patronierte Emulsionssprengstoffe bzw. patroniertes oder loses ANFO sowie pulverförmige Sprengstoffpatronen zum Einsatz kommen, die derzeit den Stand der Technik beschreiben. Grundsätzlich wäre auch der Einsatz von Mischladefahrzeugen mit pumpfähigen Emulsionssprengstoffen sowie ANFO- und Heavy-ANFO-Sprengstoffen möglich.

Empfehlung

Die Nachzerkleinerung von Übergrößen (Knäppern) sollte aus Gründen des Arbeits- und Umweltschutzes als mechanische Nachzerkleinerung, z. B. mit Felsmeißeln oder Fallkugeln erfolgen. Da auch bei dieser Methode Streuflug nicht ausgeschlossen werden kann, sollte auf eine innerbetriebliche Absperrung des Arbeitsbereiches bei einem Mindestabstand von 150 m für Personen ohne Schutz (als Schutz werden z. B. der Aufenthalt in Fahrzeugen angesehen) geachtet werden.

Sofern Knäppersprengungen in Sonderfällen, wenn andere Verfahren zur Zerkleinerung aus-scheiden, doch durchgeführt werden müssen (in dokumentierten Ausnahmefällen), wird emp-fohlen, einen Sprengbereich für Knäppersprengungen von mindestens 300 m einzuhalten. Knäppersprengungen in einem verkleinerten Regelsprengbereich (< 300 m) sollten unzulässig sein. Auf die besondere und sorgfältige Auslegung der Sprengstoffmengen je Kubikmeter Knäppergestein sollte großen Wert gelegt werden, um Streuflug sicher ausschließen zu können. Die Ladungsberechnung sollte dokumentiert werden.

Empfehlung

Die Sprengungen sollten frühestens eine Stunde nach Sonnenaufgang begonnen und spätes-tens eine Stunde vor Sonnenuntergang beendet sein. Bei Dunkelheit sollte nicht gesprengt werden. Grund dafür ist die dann besser vorhandene Übersichtlichkeit des Sprengbereichs.

3.5 Zündverfahren

Grundsätzlich können gemäß der gültigen SprengTR 310 – Sprengarbeiten mittlerweile alle in Deutschland von der BAM zur Verwendung zugelassenen Zündverfahren und –systeme einge-setzt werden.

Aufgrund der geographischen Bedingungen mit Ortsrandlagen im Westen und im Süden, sollten alle Großbohrlochsprengungen generell erschütterungsreduziert mit nur einer Bohrlochladung je Zündzeitstufe ausgeführt werden.

Moderne Zündverfahren wie z. B. das nichtelektrische oder elektronische Zündverfahren haben im Vergleich zum elektrischen Zündverfahren folgende Vorteile (Beispiele):

- Variationsmöglichkeiten des Zündintervalls
- Deutlich höhere Anzahl von zur Verfügung stehenden Zündzeitstufen
- Zum Teil höhere Zündgenauigkeiten (elektronisches Zündverfahren)

Durch Anwendung dieser Zündverfahren kann unter anderem gewährleistet werden, dass die in der Immissionsprognose festgesetzten Lademengen je Zündzeitstufen auch in der Praxis bei nahezu beliebig großen Sprenganlagen tatsächlich eingehalten und damit die Immissions- bzw. Anhaltswerte der einschlägigen Regelwerke unterschritten werden können.

Im Sinne des Immissionsschutzes ist eine eventuell durch den Einsatz der oben genannten Zündverfahren mögliche Vergrößerung der Sprenganlagen aus Sicht des Immissionsschutzes positiv zu beurteilen, da so die Häufigkeit von Sprengungen abnimmt und damit die Anzahl der Immissionsereignisse sinkt. Dieses kann erfahrungsgemäß zu einer höheren Akzeptanz der Sprengarbeiten durch die Anlieger führen. Hinzu kommt eine Abnahme der Häufigkeit von sprengtechnischen Problembereichen (Randbereiche, Vorgabenbestimmungen etc.).

Anmerkung

In Fachkreisen ist seit langem bekannt, dass eine Erhöhung der Gesamtladmenge an Sprengstoff je Sprengung nicht mit einer Erhöhung der Erschütterungsimmissionen einhergehen muss. Aus diesem Grunde sind Beschränkungen der Bohrlochanzahl je Sprengung nicht zielführend. Für die Immissionshöhe sind viele Faktoren ausschlaggebend, wie unter anderem z. B. der Verspannungsgrad im Gebirge, der spezifische Sprengstoffaufwand, die Lademenge je Zündzeitstufe, der Energieinhalt des Sprengstoffes in Kombination mit dem Gebirge, die einzelnen Zündzeitabstände als auch die Betriebs- und Umfeldbedingungen.

Alle modernen Zündsysteme dienen in erster Linie auch der Emissionssenkung. Nachfolgend werden kurz die Möglichkeiten für die zusätzlich zum elektrischen Zündverfahren zur Verfügung stehenden Zündverfahren aufgeführt.

3.5.1 Elektrisches Zündverfahren

Dieses Zündverfahren besteht heute aus der Kombination eines Moment- und in etwa 20 Kurzzeitzündern (herstellerspezifisch) mit 25 ms sowie teilweise weiteren Zündern (bis zu 10 Stück) mit 50 ms Zündintervall.

Damit sind derzeit insgesamt zwischen ca. 10 und 15 Ladungen redundant und ca. 21 bis 30 Ladungen mit nur einem Zünder je Bohrlochladung sicher überschneidungsfrei zündbar.

3.5.2 Weitere Zündverfahren

Nach der heute gültigen Technischen Regel SprengTR 310 - Sprengarbeiten (Punkt 4.5) dürfen alle zur Verwendung zugelassenen Zündsysteme eingesetzt werden, sofern die Sprengberechtigten für deren Verwendung geschult sind.

Derzeit gehören folgende Zündsysteme zum Stand der Technik:

- Nichtelektrisches Zündverfahren
- Elektronisches Zündverfahren
- Mehrkreiszündung (elektrische Zündung mit Zündkreisen, die heute faktisch keine Rolle mehr spielt)

Nichtelektrisches Zündverfahren

Dieses Zündverfahren erlaubt theoretisch, eine unbegrenzte Anzahl von Sprengladungen (im Prinzip) überschneidungsfrei in einer Sprenganlage zur Zündung zu bringen.

Die Teilladungs-, Bohrloch- bzw. Reihenverzögerungen werden durch Verzögerungszünder in der Nähe des Bohrlochmundes hergestellt, nachdem in jeder Bohrlochladung die gleiche Zündzeitstufe eingesetzt wird.

Je nach Hersteller stehen Verzögerungszünder mit z. B. 0, 9, 17, 25, 33, 42, 67, 109, 176 und gegebenenfalls z. B. 280 ms zur Verfügung. Beliebige Kombinationen von Verzögerungszeiten tragen zu einer hohen Flexibilität bei der Herstellung von Zündanlagen bei.

Elektronisches Zündverfahren

Zum Zeitpunkt der Gutachtenausarbeitung sind in Deutschland mehrere Zündsysteme von der BAM zur Verwendung zugelassen, hier eine Auswahl:

| | |
|--------------------------|------------------------|
| I-Kon-System / Unitronic | (Orica Germany) |
| Daveytronic / Riotronic | (Davey Bickford/Maxam) |
| E-Det | (Austin Detonators) |

Alle Zündsysteme basieren auf einem Einheitszünder. Mit diesen Systemen sind die Verzögerungsintervalle beliebig in z. B. 1 ms Schritten einstellbar und je nach Zündmaschine und Zündsystem bis zu 1200 oder 1600 Zünder in einem Zündkreis sicher zündbar. Auf die Besonderheiten der Systeme soll hier nicht weiter eingegangen werden. Zukünftig sind in Deutschland auch weitere zugelassene elektronische Zündsysteme zu erwarten.

Mit der Verwendung von elektronischen Zündern ist die Überschneidungsfreiheit von Sprengladungen unter Verwendung eines geeigneten Zündplanes sicher gewährleistet und auch große Sprenganlagen mit nur einer Ladung je Zündzeitstufe durchführbar.

Die freie Bestimmung des Zündzeitpunktes für jeden Sprengzünder und die hohe zur Verfügung stehende Gesamtanzahl von Sprengzündern wird aus Sicht des Immissionsschutzes positiv beurteilt.

Allerdings kann der alleinige Einsatz dieses Zündverfahrens noch kein Garant zur direkten Reduzierung der Immissionswerte sein. Das für den jeweiligen Anwendungsfall optimale Zündintervall der Teilladungen muss in der Praxis zunächst durch Aufzeichnung der Immissionswerte (besser noch der dazugehörenden Schwingungskurven) festgestellt werden.

Auf das Mehrkreiszündverfahren mit elektrischen Zündern soll hier nicht näher eingegangen werden, da es heute nahezu bedeutungslos ist. Es basiert auf dem elektrischen Zündverfahren mit verschiedenen Zündkreisen. Es muss eine spezielle Zündmaschine eingesetzt werden.

3.6 Zündungstechnik

Sofern bei Sprengbohrlöchern die Zündung der gesamten Ladesäule nicht sicher gewährleistet ist, müssen Sprengschnüre mit Sprengzündern verwendet werden (s. SprengTR 310 – Sprengarbeiten Punkt 4.5.6).

Empfehlung

Über den Betriebszeitraum eines Steinbruches können sich die Unfallverhütungsvorschriften bzw. Technische Regeln, z. B. durch Angleichung an den fortgeschrittenen Stand der Technik, ändern.

Zwecks Vermeidung späterer aufwendiger Änderungsanzeigen (z. B. wesentliche Änderungen gemäß BImSchG) oder sonstiger anzuwendender Vorschriften, die den Steinbruchbetrieb stark einschränken können, sollte dieses bei der Genehmigungserteilung so weit wie möglich berücksichtigt werden. Die Einhaltung der jeweils gültigen Technischen Regel oder ggf. Unfallverhütungsvorschriften oder ersatzweiser Regelungen ist immer vorgegeben und versteht sich von selbst.

Engineering Service Schmücker

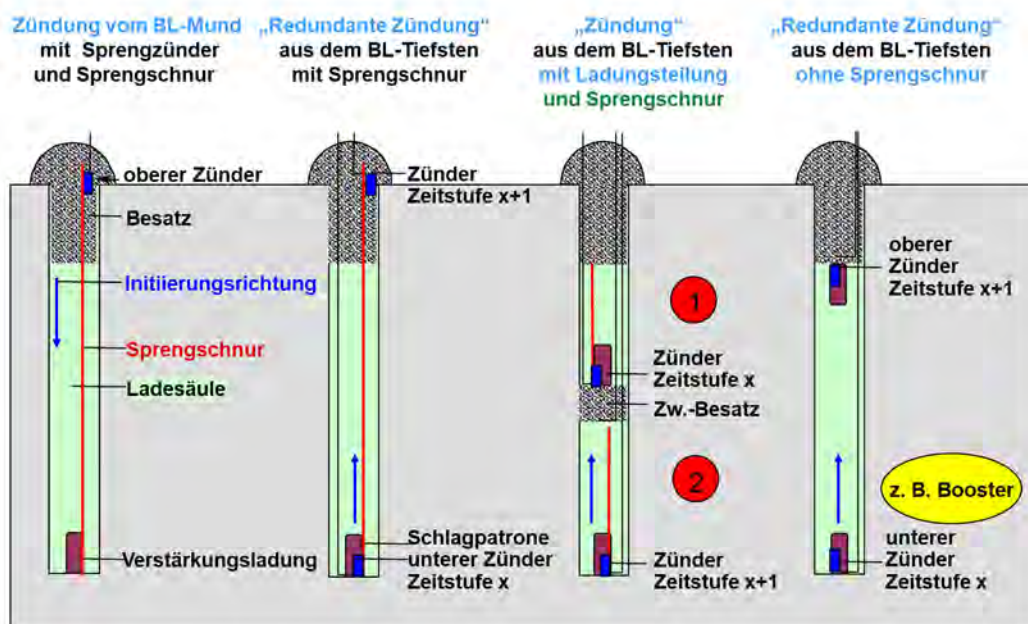


Abb. 4: Beispiel für Zündung von Großbohrlöchern

In der Abbildung 4 sind die möglichen Zündungsarten für Sprengbohrlöcher, die den heutigen Stand der Technik darstellen, schematisch dargestellt:

- Zündung vom Bohrlochmund aus mit Sprengschnur
- Redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten mit Sprengschnur
- Redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten mit Sprengschnur bei geteilten Ladesäulen
- Redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten ohne Sprengschnur

Sofern die Zündung der gesamten Ladesäule sichergestellt ist, ist aus sprengtechnischen und erschütterungstechnischen Gründen die Zündung aus dem Bohrlochtiefsten zu empfehlen.

Auch in geologisch schwierigen Lagerstättenbereichen ist durch einen zusätzlichen Sprengzünder am Bohrlochmund in der Regel gewährleistet, dass die Ladesäule trotz eventuellem einmaligen Abscherens dennoch vollständig durchdetonieren kann. Damit lassen sich in vielen Fällen gefährliche Teilversager vermeiden.

Der redundante Sprengzünder ist laut der SprengTR 310 - Sprengarbeiten (Punkt 4.5.6) vorgeschrieben, sofern die Zündung der gesamten Ladesäule nicht sicher garantiert werden kann.

Sollte eine Reduzierung der Lademenge je Zündzeitstufe aus erschütterungsminimierenden Gründen erforderlich werden, besteht auch grundsätzlich die Möglichkeit der Ladungsteilung (3), die auch ohne redundanten Zünder in den Ladungsteilen durchgeführt werden kann. Im Steinbruch Enzberg wird diese Möglichkeit auf den Hauptabbausohlen 3 und 4 überwiegend eingesetzt. Es ist davon auszugehen, dass diese Zündungstechnik auch in dem Erweiterungsfeld aus Immissionsschutzgründen überwiegend zum Einsatz kommen wird.

Die redundante Zündung aus dem Bohrlochtiefsten ohne Sprengschnur (4) ist gemäß der SprengTR 310 - Sprengarbeiten dann vorgesehen, wenn das Abscheren von Ladungsteilen nicht ausgeschlossen ist (4.5.6 Punkt 4). Dieses ist auch nur dann gegeben, wenn die Ladesäule durchgängig aus losem Sprengstoff besteht.

Die Zündung aus dem Bohrlochtiefsten mit redundantem Zünder wird zukünftig auch weiterhin in Verbindung mit Sprengschnur über die gesamte Ladung oder den Ladungsteil (da die Ladesäule in den meisten Fällen wegen der Verwendung von Zwischenbesatz nicht durchgängig ist - zur Anwendung kommen).

4 Grundlagen

Bei der Durchführung von Strossensprengungen entstehen zwangsläufig Emissionen, da sich die Gesamtenergie der Sprengstoffumsetzung in zwei Hauptenergieanteile aufteilt:

- In einen Wirkanteil, der in sprengtechnisch gewünschter Form zur Ablösung, Zerkleinerung und zum Werfen einer bestimmten Gesteinsmasse benötigt wird.
- In einen nicht unerheblichen Anteil an Verlustenergie. Neben einem kleinen Anteil, der als thermische (Wärmeabstrahlung) und akustische Energie (Luftschall) in der Atmosphäre verlorengeht, wird der weitaus größte Anteil der Verlustenergie an das anstehende Gestein als elastische Wellen in Form von spürbaren Erschütterungen (Körperschall) abgegeben.

Die bei Sprengungen entstehenden Emissionen lassen sich sprengtechnisch nicht vermeiden, sondern nur reduzieren, wenn deren Ursprung bekannt ist und geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Seit 2015 wurden die Sprengarbeiten messtechnisch im Auftrage der Fa. Schneider mit dauerhaften Erschütterungsmessungen durch das Ingenieurbüro des Unterzeichners begleitet. Insofern besteht eine sehr große Datenbank, so dass die in diesem Gutachten durchzuführende Immissionsprognose Erschütterungen statistisch gut abgesichert ist.

4.1 Sprengerschütterungen - Allgemeines -

Sprengerschütterungen stellen beim Strossensprengen die Hauptform der auftretenden Energieverluste dar.

Emissionen

Während im direkten Einwirkungsbereich von Sprenganlagen die Energie wie geplant und erwünscht den Gebirgsverband pulverisiert und bis zur Haarrißbildung zerstört, auflockert und

die Vorgaben geworfen werden, können in entfernteren Bereichen Bodenschwingungen auftreten.

Als Schwingung wird eine zeitliche Veränderung von physikalischen Größen bezeichnet, wenn diese Veränderung im betrachteten Zeitraum nicht monoton verläuft. Ein betrachteter Punkt durchläuft dabei immer die gleiche Ruhelage. Demgegenüber entsteht eine Welle durch das räumliche Zusammenwirken zahlreicher schwingender Teilchen, die einzelnen Punkte führen alle gleichartige Schwingungen aus. Sie gehen jedoch nicht alle gleichzeitig, sondern nacheinander durch die Ruhelage.

Durch Sprengarbeiten im anstehenden Boden oder Felsen entstehen somit seismische Wellen, deren Weiterleitung durch den Untergrund die Ursache für Erschütterungen ist. Man unterscheidet dabei zwei Hauptwellenarten: Raum- und Oberflächenwellen.

Beide Wellenarten sind im Wesentlichen durch die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Frequenz (daraus resultiert die Wellenlänge) charakterisiert.

In der Theorie werden für geringe Entfernungen zwischen Erschütterungserreger (Sprengung) und Messort die Raumwellen (Transversal- und Kompressionswellen), und für einen größeren Abstand (> 100 m) die Oberflächenwellen als maßgeblich für die Erschütterungsbetrachtung herangezogen. Letztere sind durch niedrigere Frequenzen, aber höhere Schwingungsamplituden gekennzeichnet.

Die in der Praxis auftretenden Ausbreitungsverhältnisse liegen zumeist zwischen diesen beiden Grenzfällen.

Unveränderliche Faktoren für die Ausbildung von Bodenschwingungen sind z. B.:

- Geologische und tektonische Verhältnisse
- Topographische und morphologische Gegebenheiten
- Entfernung zwischen Sprengstelle und Bebauung sowie ihre räumliche Lage zueinander

Beeinflussbare und veränderbare Faktoren sind z. B.:

- Höchstlademenge an Sprengstoff je Zündzeitstufe und deren zeitliche Beeinflussung untereinander (z. B. Zündzeitabstände)
- Zünd- und Zündungstechnik
- Spezifischer Sprengstoffaufwand
- Verspannungsgrad des zu lösenden Gesteins
- Die gewählte Lösungsform der Bruchwandfußvorgaben, z. B. räumliche und zeitliche Trennung

Immissionen

Bei der Einwirkung von externen Erschütterungsquellen (z. B. Sprengungen) werden die einzelnen Teile des Gebäudes über die Fundamente in unterschiedlicher Weise zu Schwingungen angeregt. Dadurch treten dynamische Spannungen in den Bauteilen auf. Überschreiten diese die Festigkeitsgrenze des Materials, kommt es zur Rissbildung.

Für die Beurteilung dieser Schwingungen sind folgende Faktoren ausschlaggebend:

- Maximale Schwinggeschwindigkeit
- Schwingfrequenzen
- Schwingungsdauer
- Bauliche und statische Beschaffenheit des Einwirkortes

Die Beanspruchungen können je nach der Größe der Erschütterungsimmissionen und anderer Gegebenheiten (wie z. B. Gebäudekonstruktion, Bausubstanz) bauliche Schäden hervorrufen. Zunächst können aber für die Bewohner bei entsprechender Immissionshöhe belästigende Einwirkungen entstehen. (Tabelle 2)

| Empfindungsstärke | Schwinggeschwindigkeit (mm/s) |
|-------------------|-------------------------------|
| Spürbar | 0.2 - 0.5 |
| Bemerkbar | 0.5 - 1.0 |
| Unangenehm | 1.0 - 2.0 |
| Störend | 2.0 - 3.0 |
| Ggf. beanstandbar | 3.0 - 5.0 |

Tabelle 2: Wahrnehmungsstärken des Menschen auf Erschütterungen
(Quelle: Landesamt für Immissionsschutz (LAI), Essen)

4.2 Beurteilungsgrundlage für Sprengerschütterungsmissionen

Erschütterungsmissionen unterliegen generell keiner gesetzlichen Vorgabe. Die Beurteilung erfolgt daher anhand der fachlichen Empfehlungen des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsmissionen“ (letzte Überarbeitung am 06.03.2018) sowie dem gleichlautenden Ministerialblatt der Bundesländer (Runderlass der Bundesländer).

Der Runderlass der Bundesländer wird von den für den Immissionsschutz zuständigen Behörden in der Praxis verbindlich angewendet (auch im Bundesland Baden-Württemberg).

Die Basis für diese Beurteilungsgrundlagen von Erschütterungsmissionen bildet seit Jahrzehnten die Deutsche Industrie Norm DIN 4150 - Erschütterungen im Bauwesen - in ihrer jeweils gültigen Form, die inhaltlich fast identisch in die zuvor genannten „Richtlinien“ eingeflossen sind.

Diese dreiteilige Norm bestehend aus,

- Teil 1 Vorermittlung von Schwingungsgrößen (Weißdruck aus 06/2001)
- Teil 2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (Weißdruck aus 06/1999)
- Teil 3 Einwirkungen auf bauliche Anlagen (Weißdruck aus 12/2016)

wird in gewissen Zeitabständen überarbeitet, so dass die neuesten Erkenntnisse in Bezug auf den Immissionsschutz in die Anhaltswerte einfließen. Für die Immissionsbeurteilung sind diese Normen zwingend anzuwenden.

In diesem Gutachten wird daher von Anhalts- bzw. Immissionswerten gesprochen, um begrifflich sowohl die DIN 4150 als auch den Runderlass der Ministerien („Erschütterungsrichtlinie“) als auch die LAI Richtlinie abdecken zu können.

Die messtechnische Erfassung, Aufzeichnung und Auswertung von Sprengerschütterungsmissionen ist nach der DIN 45669 (Schwingungsmesser, Anforderungen, Prüfung) durchzuführen. Für jedes Schwingungsereignis ist die Schwinggeschwindigkeit durch spezielle Erschütterungsmessgeräte in mm/s und die maßgeblichen Schwingfrequenzen des Ereignisses in Hertz Hz zu ermitteln. Weitere Größen wie Schwingwege und Schwingbeschleunigungen lassen sich ebenfalls messtechnisch erfassen oder aus den Messwerten rechnerisch ableiten.

Die Anhalts- bzw. Immissionswerte sind in den Regelwerken nicht als Grenzwerte zu verstehen, sondern bedürfen im Falle von Überschreitungen der weiteren Auslegung. Für Immissionsprognosen gelten diese Werte jedoch zunächst als Obergrenze.

Bei der Einwirkung von Erschütterungsquellen werden die einzelnen Teile des Gebäudes bzw. der zu beurteilenden Anlagen über die Fundamente in unterschiedlicher Weise zu Schwingungen angeregt. Dadurch treten dynamische Spannungen in den Bauteilen auf. Überschreiten diese die Festigkeitsgrenze des Materials, kommt es zur Rissbildung.

Für die Beurteilung dieser Schwingungen sind folgende Faktoren ausschlaggebend:

- Maximale Schwinggeschwindigkeit
- Schwingfrequenzen
- Schwingungsdauer
- Bauliche und statische Beschaffenheit des Einwirkortes

4.2.1 Einwirkungen auf bauliche Anlagen

Die sogenannte Erschütterungsrichtlinie orientiert sich an der DIN 4150 Teil 3 und übernimmt die Anhaltswerte der DIN als Immissionswerte (IW). Sie gilt den Behörden als Mittel zur

Umsetzung von Maßnahmen und Beurteilungen von Erschütterungen, da die DIN nur normativen Charakter hat. Trotzdem bildet die DIN den Stand der Technik ab.

Nachfolgend wird daher von Anhalts- bzw. Immissionswerten gesprochen.

Die Tabelle 3 gibt den maßgeblichen Auszug der Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3 wieder.

| Zeile/ Spalte | Gebäudeart | Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i, \max}$ in mm/s für kurzzeitige Einwirkungen | | | |
|--|--|--|------------------|----------------------|---------------------------------|
| | | Fundament Frequenzen | | | Oberste Deckenebene, horizontal |
| | | 1 Hz bis 10 Hz | 10 Hz bis 50 Hz | 50 Hz bis 100 Hz (a) | alle Frequenzen |
| 1 | Gewerblich genutzte Bauten Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten | 20 | 20 bis 40 | 40 bis 50 | 40 |
| 2 | Wohngebäude und/oder in ihrer Nutzung gleichartige Bauten. | 5 | 5 bis 15 | 15 bis 20 | 15 |
| 3 | Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind (z. B. Denkmalschutz) | 3 | 3 bis 8 | 8 bis 10 | 8 |
| *) Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden | | | | | |

Tabelle 3: "Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude.

(a) Bei Frequenzen von über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.

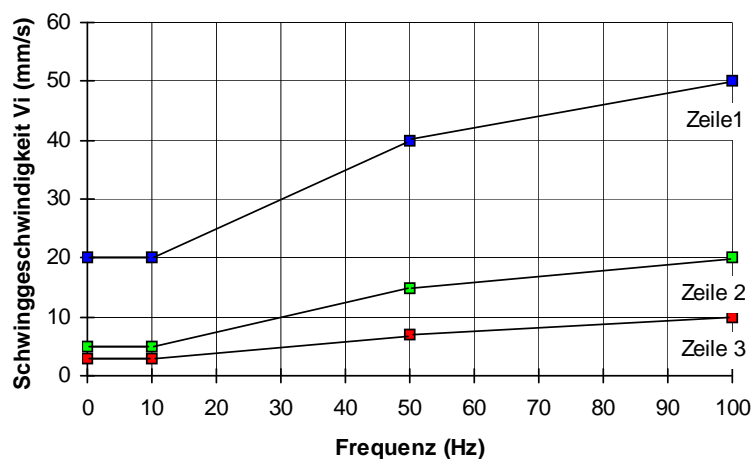


Diagramm zur Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3 (nach Bild 1, S. 9).

Das Diagramm setzt die Werte der Tabelle 2 (vgl. Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3) um.

Folgende Anhalts- bzw. Immissionswerte sind unabhängig von der Schwingfrequenz im obersten Vollgeschoß für vertikale Schwingungen für die Zeilen 1 bis 3 der Tabelle 3 (vergl. Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 3) einzuhalten:

$v_{i, \max}$ in der Deckenmitte (vertikale z-Ebene)

20 mm/s

Die DIN 4150 Teil 3 nennt Anhaltswerte für kurzzeitige Schwinggeschwindigkeiten (wie dies bei Sprengerschütterungen der Fall ist), die aus zahlreichen Messungen und Erfahrungswerten gewonnen wurden.

Bei der Einordnung der Gebäude in die Tabelle 3 wird für die festgelegten Anhaltswerte nicht die individuelle Bausubstanz unterschieden. Insofern sind bei den Immissions- bzw. Anhaltswerten deutliche Sicherheiten vorhanden.

Die in der Tabelle 2 aufgeführten Immissions- bzw. Anhaltswerte sollten bei den Sprengarbeiten sowohl für die Fundamentanregung als auch für die Deckenebene des obersten Vollgeschosses eingehalten werden.

Für die Beurteilung des jeweiligen Gesamtbauwerks sind die horizontalen Schwinggeschwindigkeiten in der obersten Deckenebene maßgebend. Es wird der größte Wert der horizontalen Schwingungsantworten zugrunde gelegt. Bei Messungen an dieser Stelle werden in der Regel die maximalen horizontalen Schwingungsantworten des Bauwerks auf die Fundamentanregung ermittelt.

Die frequenzabhängigen Immissions- bzw. Anhaltswerten für Fundamenterschütterungen berücksichtigen das Übertragungsverhalten von Fundament auf die oberste Deckenebene.

Folgende Aussagen bilden in der DIN den Stand der Technik ab, der aus der langjährigen Erfahrung des Unterzeichners bestätigt werden kann:

- Werden die Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Vermeidung 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 nach den in 4.3 und 4.4 (der DIN) erläuterten Verfahren.

- Eine Verminderung des Gebrauchswertes von Gebäuden oder Gebäudeteilen durch Erschütterungseinwirkungen im Sinne der DIN 4150 Teil 3 ist z. B.
 - Beeinträchtigung der Standsicherheit von Gebäuden und
 - Verminderung der Tragfähigkeit von Decken und anderen Bauteilen.
- Bei Gebäuden nach Tabelle 2, 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.

- Treten bei kurzzeitigen Erschütterungen Deckenschwingungen auf, so ist bei $V_z \leq 20 \text{ mm/s}$ in vertikaler Messrichtung am Ort der größten Schwinggeschwindigkeit – dies ist im allgemeinen die Deckenmitte – eine Verminderung des Gebrauchswertes nicht zu erwarten. Alternativ zu einer direkten Messung dürfen die vertikalen Schwingungen am Fundament zur Beurteilung herangezogen werden.
- Die stärksten Vertikalschwingungen treten nicht zwangsläufig in der obersten Deckenebene auf.

Für Rohrleitungen diverser Materialien und Verbindungstechniken gelten im Wesentlichen die Anhaltswerte der nachfolgenden Tabelle 4 (Tabelle 2 der DIN 4150 Teil 3), die es im bei vorhandenen Versorgungsleitungen zu berücksichtigen gilt. Diese Tabelle wird hier der Vollständigkeit halber aufgeführt. Erdverlegte Rohrleitungen Dritter sind im Bereich von ca. 40 m zu den neuen beantragten Abbaugrenzen nicht vorhanden. Dieser Abstand orientiert sich (als Worst-Case-Betrachtung) für die maximale Lademenge je Zündzeitstufe von $L_{\max} = 87 \text{ kg}$, die im Steinbruch verwendet werden kann.

| Tabelle 3 - Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $V_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterung auf erdverlegte Rohrleitungen Hohlräumen | | |
|---|---|---|
| Zeile | Leitungsbaustoffe | Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit $V_{i, \max}$ in mm/s auf der Rohrleitung |
| 1 | Stahl, geschweißt | 100 |
| 2 | Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit oder ohne Flansche | 80 |
| 3 | Mauerwerk, Kunststoff | 50 |

Anmerkung: Drainagerohre sind nach Tabelle 3, Zeile 3 zu beurteilen.

Tabelle 4: Anhalts- bzw. Immissionswerte gemäß der DIN 4150 Teil 3 für erdverlegte Rohrleitungen

4.2.2 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Die Erschütterungsrichtlinie lehnt sich auch hier bezüglich der Immissionswerte sehr stark an die DIN 4150 Teil 2 an. Unter Punkt 3 verweist sie ausdrücklich, dass die Tabelle 2 der Erschütterungsrichtlinie Immissionswerte für Situationen angibt, in denen Erschütterungsquellen über mehrere Monate und Jahre auf Immissionsorte einwirken. Für vereinzelt auftretende (kurzzeitige) Erschütterungen gelten Besonderheiten, damit ist die Tabelle 5 nur eingeschränkt anzuwenden, sofern nicht die Sonderregelungen für kurzzeitige Erschütterungen greifen.

Nachfolgend ist die Tabelle aus der Erschütterungsrichtlinie dargestellt.

| Zeile | Einwirkungsort | tags | | | Nachts | | |
|-------|---|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | | A_{II} | A_r | A_o | A_{II} | A_r | A_o |
| 1 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete §9 BauNVO) | 0,4 | 0,2 | 6 | 0,3 | 0,15 | 0,6 |
| 2 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete §8 BauNVO) | 0,3 | 0,15 | 6 | 0,2 | 0,1 | 0,4 |
| 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 | 0,1 | 5 | 0,15 | 0,07 | 0,3 |
| 4 | Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet §3 BauNVO, allgemeines Wohngebiet §4 BauNVO, Kleinsiedlungsgebiete §2 BauNVO) | 0,15 | 0,07 | 3 | 0,1 | 0,05 | 0,2 |
| 5 | Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z.B. in Krankenhäusern, in Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen. | 0,1 | 0,05 | 3 | 0,1 | 0,05 | 0,15 |

Tabelle 5: Anhalts- bzw. Immissionswerte für die Beurteilung von Erschütterungen in vergleichbar genutzten Räumen. Quelle: DIN 4150 Teil 2, Seite 4

Sonderregelung für kurzzeitige Erschütterungen

Unter Punkt 6.5 "quellenspezifische Regelungen" geht die DIN 4150 Teil 2 aus 6/1999 in Ihren Unterpunkt 6.5.1 auf selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen ein.

Danach sind als selten und kurzzeitig einwirkende Erschütterungen solche Ereignisse einzuordnen, die eine Einwirkungsdauer von wenigen Sekunden pro Ereignis (bis zu drei Ereignissen je Tag) haben. Hierunter fallen eindeutig Sprengerschütterungen.

Nach den Ausführungen dieser Sonderregelung gelten die Anforderungen der DIN als eingehalten, wenn die maximale Schwingstärke $KB \cdot F_{\max}$ kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert A_o (bzw. IW_o) nach Tabelle 4 ist. Diese Regelung kann in Anlehnung an die DIN 4150, Teil 2 Anwendung finden, sofern nur maximal 3 Ereignisse pro Tag stattfinden, wobei mehrere Sprengungen unmittelbar aufeinander folgend als ein Ereignis gelten, sofern nicht mehr als 15 Sprengungen in einer Woche erfolgen.

Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7.00 bis 13.00 Uhr oder von 15.00 bis 19.00 Uhr erfolgen, gelten in den Gebieten nach der o. g.

Tabelle 3, Zeilen 3 und 4, auch die A_0 -Werte bzw. (IW_0 -Werte) nach Zeile 1 (A_0 - bzw. $IW=6$), wenn nur ein Ereignis pro Tag stattfindet.

Bis zu 10-mal pro Jahr dürfen die IW_0 -Werte bis zu 8 betragen (Punkt 4.2 der Erschütterungsrichtlinie).

Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung (z. B. Sprengsignale, oder Aushang bzw. telefonische Vorwarnung) oder außerhalb des Absperrbereichs durch andere Maßnahmen.

Die Sonderregelung nimmt die Fa. Schneider für alle Sprengungen im Steinbruch in Anspruch.

4.3 Vorermittlung von Schwingungsgrößen (DIN 4150 Teil 1)

Grundlage für die Vorermittlung von Schwingungsgrößen sind die in der DIN 4150 Teil 1 – Vorermittlung von Schwingungsgrößen – ausgeführten Prognoseformeln.

Für die Immissionsprognose werden zwei unterschiedliche Grundgleichungen benutzt, die den Einfluss der Lademenge je Zündzeitstufe und die Immissionshöhe zur Entfernung zwischen Emissionsort (Sprenganlage) und Immissionsort (Bauwerk) in Beziehung setzen und die mit den Ausführungen aus der DIN 4150 Teil 1 korrespondieren. Sie beinhalten seit vielen Jahren den Stand der Technik.

Koch'sche Gleichung

Diese wurde von Professor Koch beim Bau der Biggetalsperre - damals wurden später überflutete Häuser als Versuchsobjekte benutzt - aus praktischen Messreihen entwickelt und stellt heute immer noch den Stand der Technik dar:

$$V_i = K \cdot \frac{\sqrt{L}}{R}$$

Darin bedeuten:

- V_i = maximale Schwinggeschwindigkeit (mm/s)
- L = Höchstlademenge/Zündzeitstufe (kg)
- R = kürzeste Entfernung Sprengstelle - Immissionsort (m)
- K = Gebirgsbeiwert

Die Koch'sche Gleichung bietet für den Nahbereich eine gute Prognosesicherheit. Der Gebirgsbeiwert K wird (sofern keine Messwerte in dem anstehenden Gebirge vorliegen) üblicherweise mit 100 angenommen.

Formeln nach BGR

1986 wurde das Resultat eines Forschungsauftrages in den Nobelheften veröffentlicht, das federführend von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) bearbeitet wurde und die Vorermittlung von Sprengerschütterungsemissionen zum Thema hatte.

Die Autoren Dr. Lüdeling und Dr. Hinzen veröffentlichten zwei Formeln sowohl für Sediment- als auch kristalline Gesteine, die sich im Wesentlichen durch unterschiedliche Exponenten voneinander abheben:

$$V_i = K \cdot L^{0,6} \cdot R^{-1,5}$$

Hier: Formel für Sedimentgesteine

V_i , L und R haben die gleiche Bedeutung wie in der Koch'schen Gleichung.

Sofern keine Erfahrungs- bzw. Messwerte vorliegen, wird der Gebirgsbeiwert K im Sedimentgestein mit dem Wert **969** angenommen.

Mit Hilfe von Erschütterungsmessungen im anstehenden und zu beurteilenden Festgestein kann der Gebirgsbeiwert K in Abhängigkeit von L und R für jede Situation individuell errechnet werden.

Die BGR-Formel hat sich besonders für den Fernbereich (> 100 m zum Emissionsort) als gute Möglichkeit zur Vorabschätzung bewährt.

Somit gilt es im Weiteren aufgrund der vielfältigen Erfahrungen aus den Erschütterungsmessungen den Gebirgsbeiwert für die Immissionsprognose festzulegen. Aufgrund der Entfernungen zwischen den beantragten Abbaugrenzen des Erweiterungsgebietes und den schützenswerten Objekten von deutlich mehr als 100 m, bildet die BGR-Formel für Sedimentgestein die Grundlage für die hier durchzuführende Immissionsprognose. Beide Berechnungsarten sind jedoch bei allen Prognosen zum Vergleich untereinander mit aufgeführt.

5 Immissionsprognose

Die Vorgehensweise der Immissionsprognose Sprengerschütterungen für das beantragte Erweiterungsgebiet geht aus der Abbildung 5 hervor.

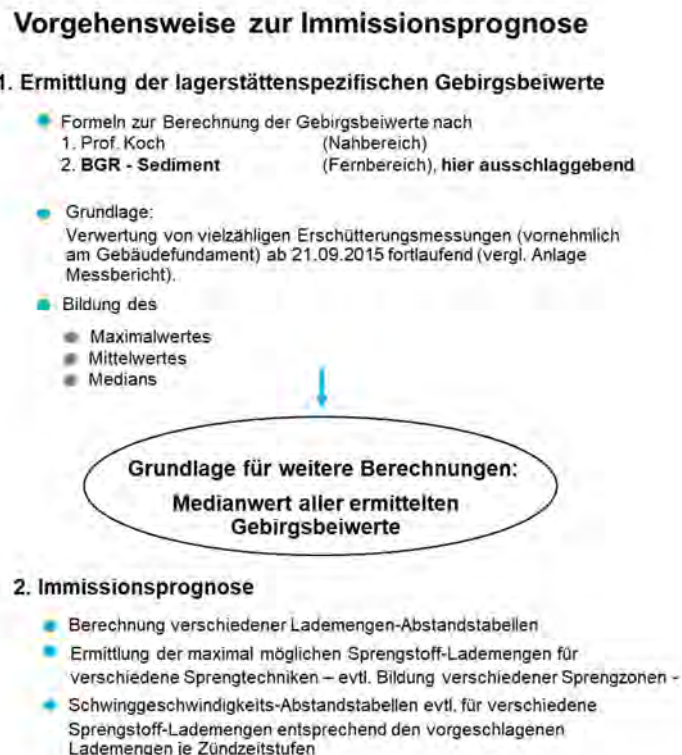


Abb. 5: Vorgehensweise zur Immissionsprognose

Bei der Immissionsprognose für die Sprengerschütterungen wird zunächst eine Lademengen – Abstandstabelle für Wohngebäude berechnet, um aufgrund des jeweiligen Abstandes zu den Immissionsorten die maximal mögliche Lademenge je Zündzeitstufe zu ermitteln, bei deren Einsatz die jeweils gültigen Anhalts- und Immissionswerte beider Normteile (DIN 4150 Teil 2 und Teil 3) sicher eingehalten werden.

Bestimmung des Überhöhungswertes

Zur Bewertung der dynamischen Belastungen an schützenswerten Gebäuden mit mehreren Stockwerken ist es üblich und sinnvoll, einen Überhöhungswert (Ü) für die Immissionen in der obersten Deckenebene aus Fundament- und den höchsten Deckenmesswerten zu ermitteln. Dieser beschreibt die erhöhte Anregung im Bereich der Deckenebenen in Bezug zur Fundamentanregung.

Der Wert dieses Überhöhungswertes ist von vielen Faktoren abhängig, z. B. von

- der Art der Anregung,
- der Bausubstanz und des Gebäudetyps (z. B. Wohnhaus oder Industriegebäude)
- den Deckenspannweiten,
- der Bauart und des Materials der Geschossdecken,
- der Anzahl der Stockwerke sowie
- den in das Bauwerk eingeleiteten Frequenzen.

Je höher die Frequenz ist, desto geringer ist erfahrungsgemäß der Überhöhungswert. Für Wohngebäude „normaler Bauart“ liegt dieser Überhöhungswert im Bereich von $\ddot{U} = 2$ bis $\ddot{U} = 4$, abhängig von der Erregungsart sowie der Entfernung und den Frequenzen.

Für Wohngebäude wird dieser Überhöhungswert mit $\ddot{U} = 4$ angesetzt. Diese Werte beruhen auf allgemeinen Mess- und Beurteilungserfahrungen. Für gewerblich genutzte (und dementsprechend gebaute) Gebäude bzw. für Industriegebäude liegt dieser Überhöhungswert niedriger.

Erfahrungsgemäß sind durch diesen Überhöhungswert für die Beurteilung der Erschütterungs- immissionen verursacht durch Sprengungen ausreichend hohe Sicherheiten gegeben.

Schwinggeschwindigkeiten im obersten Vollgeschoss und am Gebäudefundament

Zur Durchführung der Immissionsprognose für die zukünftigen Sprengarbeiten muss für den einzuhaltenden Anhalts- bzw. Immissionswert - hier $IW_0 = A_0 = KB \cdot F_{\max} = 6$ - zunächst auf Schwinggeschwindigkeitswerte im Obergeschoss und anschließend auf das Gebäudefundament zurückgerechnet werden, da sich die Prognoseformeln für Sprengungen auf Schwinggeschwindigkeiten beziehen.

Hierzu verwendet man den allgemeinen Rechengang nach den Gleichungen 6 und 7 der DIN 4150, Teil 2:

Gleichung 6 der DIN

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{\max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$$

Gleichung 7 der DIN

$$A_0 = KB \cdot F_{\max} = KB \cdot C_F$$

Darin bedeuten:

- V_{\max} = höchste Schwinggeschwindigkeit auf der Deckenebene (mm/s)
- f_0 = Bezugsfrequenz 5,6 Hz
- f = Schwingfrequenz (geschätzt mit ca. 10 Hz)
- C_F = Konstante
- A_0 = Immissionswert (IW)

Der C_F - Wert kann der Tabelle 2 der DIN 4150, Teil 2, Zeile 4 entnommen werden und gilt für Einzelereignisse kurzer Dauer bei denen keine Resonanzen (wie bei Sprengungen üblich) zu erwarten sind. Das Berechnungsverfahren kann für alle Arten der Erschütterungen zur Umrechnung in Schwinggeschwindigkeiten verwendet werden.

Erfahrungsgemäß sind bei Sprengarbeiten (und kurzzeitigen Erschütterungen) keine Resonanzen in den Geschossdecken feststellbar (vgl. Punkt 5.5.5. der DIN 4150 Teil 1 und Blatt 1472 Absatz 6 des Ministerialblattes Nr. 73 des Bundeslandes NRW). Aus diesem Grund kann hier der cF -Wert von 0,6 angewendet werden. Der cF -Wert von 0,8 wird hier nur zum Vergleich in den Tabellen 6 und 7 zum Vergleich mit dargestellt.

Für die Immissionsprognose zur Beurteilung der kurzzeitigen Erschütterungsereignisse werden folgende Ansätze verwendet (Tabellen 6 und 7):

Geht man von typischen Eigenfrequenzen für Betondecken um ca. 30 Hz aus, so lässt sich für den zulässigen Anhalts- bzw. Immissionswert von $A_0 = IW_0 = 6$ (bei Anwendung der Sonderregel für kurzzeitige Ereignisse, von der hier ausnahmslos ausgegangen wird) eine maximal zulässige Schwinggeschwindigkeit von $v_{i, \max} = 14,39$ mm/s als Äquivalentwert errechnen.

| Beurteilung Gewinnungssprengung (Steinbruch) | | |
|--|---|---|
| | CF-Wert = 0,6 IWo = 6 Deckenmitte OG | CF-Wert = 0,8 IWo = 6 Deckenmitte OG |
| Frequenz Hz | $v_{i, \max}$ zulässig mm/s | $v_{i, \max}$ zulässig mm/s |
| 10 | 16,21 | 12,16 |
| 15 | 15,10 | 11,32 |
| 20 | 14,69 | 11,01 |
| 25 | 14,49 | 10,87 |
| 30 | 14,39 | 10,79 |
| 35 | 14,32 | 10,74 |
| 40 | 14,28 | 10,71 |
| 45 | 14,25 | 10,69 |
| 50 | 14,23 | 10,67 |

Mit $\ddot{U} = 4$ **3,60****2,70**

Tabelle 6: Umrechnung des Anhalts- bzw. Immissionswertes in eine Schwinggeschwindigkeit am Gebäudefundament

Aus der Tabelle 6 ist nunmehr ersichtlich, dass unter Berücksichtigung des Überhöhungswertes von $\ddot{U} = 4$ für eine maximale Schwinggeschwindigkeit von $v_{i, \max} = 3,6$ mm/s am Gebäudefundament der Anhalts- bzw. Immissionswert von $A_0 = IWo = 6$ in der Geschossdecke (Mitte) eingehalten werden kann.

Für die errechneten Schwinggeschwindigkeitswerte in der Geschossdeckenebene von $v_{i, \max} = 14,39$ mm/s sind damit sowohl die Anhalts- bzw. Immissionswerte nach DIN 4150 Teil 2 als auch für kurzzeitige Erschütterungsereignisse nach DIN 4150 Teil 3 eingehalten.

Darüber hinaus ist 10 mal pro Jahr laut den Ausführungen der Regelwerke (zum Beispiel DIN 4150 Teil 2, LAI-Erschütterungsrichtlinie) ein Anhalts- bzw. Immissionswert von bis zu $A_0 = IWo = 8$ (für jedes schutzwürdige Objekt einzeln) möglich.

Dieses entspräche (Tabelle 7) am Gebäudefundament sogar einer maximalen Schwinggeschwindigkeit von ca. $v_{i, \max} = 4,8$ mm/s.

Dieser Wert wird für die weiteren Berechnungen aber nicht weiterverwendet und ist hier nur informativ berechnet. Dieser zulässige Wert dient als „Puffer“ für die spätere Praxis, sofern der $A_0 = IWo = 6$ überschritten werden sollte.

| Beurteilung Gewinnungssprengung (Steinbruch) | | |
|--|---|---|
| | CF-Wert = 0,6 IWo = 8 Deckenmitte OG | CF-Wert = 0,8 IWo = 8 Deckenmitte OG |
| Frequenz Hz | $v_{i, \max}$ zulässig mm/s | $v_{i, \max}$ zulässig mm/s |
| 10 | 21,61 | 16,21 |
| 15 | 20,13 | 15,10 |
| 20 | 19,58 | 14,69 |
| 25 | 19,32 | 14,49 |
| 30 | 19,18 | 14,39 |
| 35 | 19,10 | 14,32 |
| 40 | 19,04 | 14,28 |
| 45 | 19,00 | 14,25 |
| 50 | 18,97 | 14,23 |

Mit $\ddot{U} = 4$ **4,80****3,60**

Tabelle 7: Umrechnung des Anhalts- bzw. Immissionswertes in eine Schwinggeschwindigkeit am Gebäudefundament

Im Regelfall – durch vielzählige praktische Messungen belegbar – liegen die tatsächlichen Messwerte in den Geschossdecken unterhalb der hier berechneten Prognoseansätze, da dieser ermittelte KB_{Fmax} -Wert im Obergeschoss durch Filterung und Berücksichtigung der Taktmaximalwerte im Messgerät direkt bestimmt wird.

Der Immissionsprognose wird somit eine maximale Schwinggeschwindigkeit von

$$v_{i, \max} = 3,6 \text{ mm/s } (< 10 \text{ Hz}) \text{ am Gebäudefundament}$$

zu Grunde gelegt. Mit diesem Wert werden alle Anhalts- bzw. Immissionswerte der DIN 4150 Teil 3 und Teil 2 eingehalten.

5.1 Ermittlung der spezifischen Gebirgsbeiwerte

Der Gebirgsbeiwert beschreibt die Übertragung der Erschütterungswellen im Untergrund, ist also überwiegend abhängig von den geologischen Bedingungen.

In diesem Gutachten werden für die Immissionsprognose Gebirgsbeiwerte verwendet, die aufgrund von Messergebnissen an verschiedenen Immissionsorten seit September 2015 ermittelt wurden.

Der Anlage 1 ist ein umfangreicher Messbericht zu entnehmen. Es wurde bereits ab Beginn der verschiedenen Dauermessungen großen Wert auf eine nachvollziehbare und umfangreiche Datenlage gelegt. Daher konnten auch für die meisten der 137 Sprengungen die Entfernungsdaten durch GPS-Angaben zur Sprengstelle (über das Bohrgerät) und den Koordinaten des Immissionsortes berechnet werden. Die weitere wichtige Angabe der maximal eingesetzten Lademenge je Zündzeitstufe ist dem jeweils dem genauen Sprengprotokoll zu entnehmen.

Die Erschütterungsmessungen erfolgten über die gesamte Messdauer nicht durchgehend an denselben Messorten, so dass die Daten von insgesamt 6 Immissionsorten erfasst und ausgewertet konnten.

Die Gebirgsbeiwerte schwanken in der Regel relativ stark und es gibt – wie auch bei dieser Auswertung – zum Teil Ausreißer nach oben und nach unten, die im Nachhinein wegen der vielen Einflussfaktoren nicht erklärt werden können.

So tauchen zum Beispiel in der Statistik zwei Sprengungen am 16.10.2017 auf, die überdurchschnittlich hohe Gebirgsbeiwerte erzeugten. So wurde auch der Maximalwert nach BGR Formel von $K = 1949$ (vergl. Tabelle 8) erreicht, der mehr als zweimal so hoch wie der Standardrechenwert liegt.

Diese extremen Ausreißer können vielschichtige Gründe haben, wie zum Beispiel:

- Nicht exakt bestimmte Ortsangaben (GPS) der Sprengstelle bzw. sich daraus ergebende ungenaue Entfernungsangaben.
- Kleine Ungenauigkeiten in den sprengtechnischen Angaben können große Werteabweichungen zu Folge haben.

Für den Umgang mit diesen Daten gibt es nun drei Möglichkeiten den adäquaten Gebirgsbeiwert für die Immissionsprognose zu bestimmen, da diese Maximalwerte unrealistisch für eine Immissionsprognose sind und in der Auswertung nur einmal vorgekommen sind:

1. Eliminierung der Gebirgsbeiwerte mit einem Faktor $> 2,0$ und neue statistische Berechnung.
2. Festlegung eines Faktors (z. B. 80 % des Medianwertes)
3. Beibehaltung aller Messwerte und Verwendung des errechneten Medianwertes

Aus den Erfahrungen mit ähnlichen Abbausituationen mit vergleichbaren Gebirgsverhältnissen ist die dritte Auswertungsmöglichkeit diejenige, die auch realistische Prognosewerte zulässt und die hier bevorzugt wird. Dieser Medianwert bildet auch die Erfahrungen von vergleichbaren Lagerstätten ab.

| Jahr | Berechnete Gebirgsbeiwerte BGR-Sediment | |
|---------------|--|------------|
| | gesamt, alle Messungen | |
| | Max | Median |
| 2015 | 1510 | 658 |
| 2016 | 1354 | 620 |
| 2017 | 1949 | 704 |
| 2018 | 1171 | 585 |
| 2019 | 803 | 567 |
| 2020 | 1231 | 525 |
| Gesamt | 1949 | 627 |

Tabelle 8: Gesamtauswertung der Gebirgsbeiwerte über alle Immissionsorte

Der Medianwert ist der lagetypische Mittelwert, bei dem 50 % der Werte unter und 50 % der Werte über diesem Median Wert liegen.

Nach Durchsicht alle berechneten Gebirgsbeiwerte (s. Messbericht der Anlage 1), wird der Gebirgsbeiwert für die Immissionsprognose wie folgt mit einer Sicherheit von + 25 % zum Standardwert festgelegt:

| | | |
|---------------------|-----------------|--|
| BGR Sediment | K = 1211 | Fernbereich (Standard wäre K = 969) |
| Prof. Koch | K = 125 | Nahbereich (Standard wäre K = 100) |

Da alle zu betrachtenden Immissionsobjekte weiter als 100 m zu den beantragten Abbaugrenzen entfernt liegen, ist die BGR Sedimentformel die maßgebliche Prognoseformel.

Begründung und Sicherheiten der Immissionsprognose

- Die nur an den Immissionsorten IO 01a, IO 02 a und IO 03 a vorgekommenen hohen Gebirgsbeiwerte können als Ausreißer gewertet werden.
- Der Medianwert aller Immissionsorte liegt mit $K = 627$ (BGR) so deutlich unter dem Standardrechenwert, dass der nunmehr fast doppelt so hohe Gebirgsbeiwert für die Immissionsprognose mit $K = 1211$ gerechtfertigt ist.
- Für den Immissionsort IO 06 a in Weildorf, der am nächsten zum Steinbruch liegt und auf den sich der Abbau unmittelbar annähert konnte nur ein Maximalwert von $K = 1072$ ermittelt werden. An diesem Immissionsort wird seit dem 15.06.2018 kontinuierlich gemessen.
- Die Immissionsprognose betrachtet, die zum Zeitpunkt des Abbauendstands erreichten, geringsten Entfernungen. Das heißt, alle anderen Sprengungen haben größerer und zum Teil deutlich größere Entfernungen. Insofern sind erhebliche Sicherheiten vorhanden. Der um den Faktor 2 erhöhte Gebirgsbeiwert für die Immissionsprognose im Vergleich zu dem Medianwert aller Messungen zum einen und zum anderen die + 25 % Sicherheit zum Standardgebirgsbeiwert (BGR) sind ausreichend bemessen.
- In Anbetracht der Zulässigkeit (bis zu 10-mal im Jahr, DIN 4150 Teil 2) von Anhalts- bzw. Immissionswerten je Messstelle bis $A_0 = IW_0 = 8$ statt standardmäßig $A_0 = IW_0 = 6$, ist die Einhaltung der Immissionsbestimmungen mit den im weiteren Verlauf empfohlenen Lademengen je Zündzeitstufe überdies sicher gewährleistet.
- Zudem werden Maßnahmen im Schutzkonzept (Punkt 6) erläutert, wie bei Annäherung der Messwerte an die Anhalts- bzw. Immissionswerte vorzugehen ist.

Anmerkung

In der Praxis gilt es eine Messtoleranz zu berücksichtigen: „Wird der Vergleich von Messergebnissen mit Immissionswerten durchgeführt, um bei festgestellten schädlichen Umwelteinwirkungen bestimmte Maßnahmen anzuordnen, muss sichergestellt sein, dass Überschreitungen der Immissionswerte nicht auf messtechnischen Unsicherheiten beruhen. Bei der messtechnischen Ermittlung von Schwinggeschwindigkeiten oder KB - Werten treten erfahrungsgemäß Unsicherheiten von bis zu +/- 15 % auf. Sollen Anordnungen auf die Messerergebnisse gestützt werden, ist in der Regel vom durch Messung ermittelten Wert ein Abzug von 15 % vorzunehmen. Werden Messgeräte der Klasse II nach DIN 45669-1 eingesetzt oder wird das Näherungsverfahren nach DIN 4150-2 angewendet, können größere Unsicherheiten auftreten.“ (Erschütterungsrichtlinie 4. Hinweise zur Beurteilung)

5.2 Immissionsprognose (Erschütterungen)

Aus Lademengen - Abstandstabellen geht generell hervor, welche maximale Lademenge je Zündzeitstufe bei minimalen Entfernungen zwischen Sprengstelle und den schutzwürdigen Objekten eingesetzt werden darf, damit die Immissionswerte (IW) der Erschütterungsrichtlinie bzw. die Anhaltswerte (A_0) der DIN 4150 eingehalten werden.

Demnach ergeben sich für die Immissionsprognose folgende maximalen Schwinggeschwindigkeiten am Gebäudefundament bei Berücksichtigung des Überhöhungsfaktors von $\bar{U} = 4,0$ für

Wohngebäude und der im Prognoseverfahren errechneten maximalen Schwinggeschwindigkeit in der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses:

Wohnhäuser:**3,6 mm/s (Frequenzen < 10 Hz)**

Für die gewerblich genutzten Gebäude bzw. auch die Strommasten kann folgender Anhaltswert für die Gebäudefundamente festgelegt werden.

Industriebauten:**20,0 mm/s (Frequenzen < 10 Hz)**

Industriebauten sind im Nahfeld nicht vorhanden, so dass dazu keine Berechnungen durchgeführt werden müssen.

Beim IO 03 handelt es sich um eine öffentliche Schwimmanlage. Die Schwimmbecken sind ebenfalls erschütterungsempfindlich und dürfen nicht undicht werden. Sie werden aber nicht höherwertig als Wohngebäude eingestuft. Da der Abstand zur beantragten realen Abbaugrenze ebenfalls minimal 250 m beträgt, sind keine zusätzlichen Berechnungen erforderlich.

Tabelle 9 gibt einen Überblick zu den minimalen Entfernungen der maßgeblichen Immissionsobjekte und den aus der Lademengen-Abstandstabelle (vergl. Anhang 6) errechneten möglichen maximalen Lademengen je Zündzeitstufe.

| Immissionsobjekt Nr. | Immissionsobjekt Bezeichnung | Einordnung in die DIN 4150 Teil 3, Zeile | Anhaltswert nach DIN 4150 Teil 3 (mm/s), Fundament nach DIN (< 10 Hz) | für Immissionsprognose mit DIN 4150 Teil 2 | minimaler Abstand (m) | mögliche Lademenge je Zündzeitstufe kg /ZS |
|----------------------|--|--|---|--|-----------------------|--|
| IO 01 | Ortsrandlage Weildorf „Trillfinger Steig II“ | 2 | 5,00 | 3,60 | 250 | 61 |
| IO 02 | Ortsrandlage Haigerloch | 2 | 5,00 | 3,60 | 250 | 61 |
| IO 03 | Öffentl. Schwimmanlage Haigerloch | 2 | 5,00 | 3,60 | 250 | 61 |
| IO 04 | Kreisstr. K 7118 | | | | 100 | |
| IO 05 | Ortsrandlage Weildorf "alt" | 2 | 5,00 | 3,60 | 350 | 141 |

Tabelle 9: Übersicht zur Einteilung der nächstgelegenen Immissionsorte in die DIN 4150 und Ergebnisse der Immissionsprognose.

Aus der Tabelle 9 sieht man auch, dass es Bereiche im nördlichen Abbaufeld geben würde, wo die maximale Lademenge je Zündzeitstufe höher hätte sein können als die ca. $L_{\max} = 87$ kg, die zur Zeit eingesetzt werden, wenn das neue Wohngebiet „Trillfinger Steig II“ nicht mit einem Abstand von minimal 250 m zur realen Abbaugrenze geplant worden sei.

Im Bereich der Abbaugrenzen ist eine Reduzierung der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe auf ca. $L_{\max} = 61$ kg erforderlich. So ist davon auszugehen, dass in einem Streifen von ca. je 50 m zur Abbaugrenze im Westen und im Süden eine Ladungsteilung zumindest auf den Sohlen 2 bis 4 (d. h. Bruchwandhöhen > 20 m). erforderlich wird, um die gültigen Anhalts- bzw. Immissionswerte einhalten zu können.

Die Lademengen-Abstandstabelle gibt auch einen Überblick darüber, dass noch eine kleine Fläche in der neuen Abbaufäche verbleibt, in der die maximale Lademenge je Zündzeitstufe > ca. $L_{\max} = 87$ kg sein kann, da die Maximalentfernung am nordöstlichen Bereich der neuen Abbaufäche zu den beiden Ortsrandlagen dort ca. 480 m beträgt.

Empfehlung

Da sich die Bruchwandhöhen im Vergleich zum bisherigen Abbau nicht erhöhen werden und die angewendete Sprengtechnik bisher mit einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von ca. $L_{\max} = 87$ kg gute Sprengerfolge lieferte, so sollte aus immissionsschutzgründen diese maximale Lademenge je Zündzeitstufe auch weiterhin im Entfernungsbereich mit Abständen > 300 m eingesetzt werden.

Im Bereich mit Abständen < 300 m zur Wohnbebauung sollte die maximale Lademenge je Zündzeitstufe auf $\leq L_{\max} = 61$ kg reduziert werden. Dieses bedeutet für die Sohlen 2 bis 4 den Einsatz einer Ladungsteilung.

Somit kann bei allen Sprengungen nur eine Bohrlochladung je Zündzeitstufe gezündet werden. Mit dieser Lösung ist dem Erschütterungsschutz ausreichend Rechnung getragen so dass die Einhaltung der derzeitigen Anhalts- bzw. Immissionswerte der DIN 4150 Teil 3 und Teil 2 bzw. die gleichlautenden Werte der LAI-Richtlinie Erschütterungen bei Durchführung der Sprengarbeiten eingehalten werden.



Abb. 6: Zukünftige Abbausituation. Blau gekennzeichnet sind die Flächen in denen im Vergleich zur bisherigen Sprengtechnik eine Ladungsteilung zu erwarten ist ($L_{\max} = 61 \text{ kg}$). Dieses betrifft Abstände zur Bebauung von 250 bis ca. 300 m.

Die Fa. Schneider verpflichtet sich im Zuge einer angestrebten Immissionsreduzierung dazu, dass die Anhalts- bzw. Immissionswerte in dem blau gekennzeichneten Abbaubereich (Abstände $< 300 \text{ m}$ zur Wohnbebauung) eine Schwelle von 75 % nicht übersteigen soll. Sollte demnach bei drei aufeinander folgenden Sprengungen das Erschütterungsniveau $> 75 \%$ liegen, bedeutet das, dass die Immissionswerte bei noch geringer werdender Entfernung auch die 100 %-Marke übersteigen kann. Insofern müssen dann umgehend immissionsreduzierende Maßnahmen (z. B. weitere Ladungsteilung, Verringerung des Bohrlochdurchmessers, Erhöhung des spezifischen Sprengstoffaufwandes) durchgeführt werden, um das Erschütterungsniveau zu reduzieren.

Die Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabellen (vergl. Anhang 7 und Anhang 8) werden nunmehr zum einen

- mit der bisher in den letzten Jahren üblichen maximalen Lademengen je Zündzeitstufe von $L_{\max} = 87,0 \text{ kg}$ (Anhang 7) ohne Ladungsteilung und
- zum anderen mit Ladungsteilung und verringerter maximaler Lademengen je Zündzeitstufe von ca. $L_{\max} = 45,0 \text{ kg}$ (Anhang 8)

durchgeführt.

Dabei ist zu beachten, dass die hier aufgeführten Entfernungen Minimalentfernungen sind. Die meisten Sprengungen werden aufgrund der geringeren Entfernungen deutlich geringere Erschütterungen als in diesen Tabellen aufgeführt erzeugen.

Die einzusetzende Sprengtechnik orientiert sich an den bisher eingesetzten Parametern mit einem spezifischen Sprengstoffaufwand von in etwa $q = 0,2 \text{ bis } 0,3 \text{ kg/fm}^3$. Sie ist maßgeblich abhängig von den Bruchwandhöhen und den spezifischen Gesteinseigenschaften.

Empfehlung

Da die Sprengraster mit der Verwendung unterschiedlicher Sprengstoffe, Bohrlochtiefen etc. stark variieren, wird keine Festschreibung von bestimmten Bohr- und Sprengrastern empfohlen. Hier sollten dem Betrieb Freiheitsgrade gelassen werden die Sprengtechnik den örtlichen Bedingungen anzupassen.

Fazit

Die ausgeführten Schwinggeschwindigkeits – Abstandstabellen verdeutlichen, wie sich die zukünftig zum Einsatz kommenden Lademengen je Zündzeitstufen in der Praxis auf die verschiedenen Immissionsorte in unterschiedlichen Entfernungen auswirken. Die maximale Lademenge je Zündzeitstufe von $L_{\max} = 87,0$ kg entspricht den bisher betriebsüblich eingesetzten für einen Entfernungsbereich zu den Wohnbebauungen der Ortsrandlagen Haigerloch und Weildorf von bis zu minimal 300m. Bei Unterschreitung dieses Abstandes bis zum minimalen Abstand von je 250 m wird der Einsatz von Ladungsteilung erforderlich. Dadurch reduziert sich die maximale Lademenge je Zündzeitstufe auf etwa $L_{\max} = 61,0$ kg.

Dementsprechend werden zukünftig bei den nächstgelegenen Immissionsobjekten der Ortsrandlagen Erschütterungen am Gebäudefundament von maximal $v_{i, \max} = 3,4$ mm/s zu erwarten sein.

Daher ist mit hohen Sicherheiten von einer Einhaltung der Anhalts- bzw. Immissionswerte nach DIN 4150 (Teil 2 und Teil 33) bzw. der Immissionswerte nach der Erschütterungsrichtlinie, auch in den Geschossdecken, auszugehen.

5.3 Steinflug –Ursachen und Vermeidung -

Auftretender Steinflug ist in aller Regel das Ergebnis von örtlichen oder punktuellen Überladungen. In diesem Fall ist die Sprengladung und ihr Energieinhalt wesentlich größer, als die geometrischen Abmessungen und physikalischen Eigenschaften des Einschlussmediums dies zur Erzielung des gewünschten Sprengzweckes erfordern.

Der spezifische Sprengstoffeinsatz (kg/m^3 Festgestein - bezogen auf ein mit Sprengstoff gefülltes Bohrloch -) liegt bei aufgetretenem Steinflug, insgesamt oder örtlich, wesentlich über dem sprengtechnisch ermittelten Wert. Der spezifische Sprengstoffeinsatz ist u. a. abhängig vom Gestein, der Geologie, dem angestrebten Sprengerfolg und beträgt bei den meisten Gewinnungssprengungen über Tage zwischen 0,2 und 0,8 kg/m^3 .

Nach allgemeinen Erfahrungen tritt bei Gewinnungssprengungen ein über das normale Maß hinausgehender, unkontrollierter Steinflug bei einem spezifischen Sprengstoffeinsatz von etwa 2 kg/m^3 und mehr ein, wobei die örtlichen Bedingungen wie Einschlussgrad der Ladung, Verspannung der Vorgabe, mechanische Eigenschaften des Einschlussmediums, Klüftigkeit und dergleichen eine wichtige Rolle spielen, von den topographischen Bedingungen einmal ganz abgesehen.

Im Anhang 9a - e "Steinfluggefahren" sind die, aufgrund der physikalischen Gesetze leicht verständlichen, Hauptursachen für auftretenden Steinflug zusammenfassend verdeutlicht und dem Normalfall einer Gewinnungssprengung gegenübergestellt. Hier ist auch der Anwendungsfall „Verwendung von Sohlbohrlöchern“ erwähnt, der nur nach Freigabe der Berufsgenossenschaften mit entsprechender Begründung für die Erfordernis und Gefährdungsanalyse zur Anwendung kommen darf und im beantragten Erweiterungsgebiet im Regelfall nicht zur Anwendung kommen werden.

Werden unzureichende Vorgaben (in der Regel kleiner als ca. 2,0 bis 2,5 m je nach Bohrdurchmesser und verwendeter Sprengstoffart) festgestellt, sind die entsprechenden Sprengstoffladesäulen geeignet „zu strecken“, wodurch sich der spezifische Sprengstoffaufwand in den kritischen Bereichen reduziert.

Sofern die Vorgaben in den kritischen Bereichen nicht exakt feststellbar sind, sind diese Bohrlöcher nicht mit Sprengstoff zu besetzen.

Auftretender Steinflug aus Bruchwandbereichen erfolgt in Wurfrichtung der Sprengungen. Dabei ist die Hauptstreureichtung allseitig in einem Winkel von 45° auf die jeweilige Bohrlochachse projiziert.

Spritzflug aus den Bohrlochmündern von Kopfbohrlöchern ist bei ordnungsgemäßer Durchführung von Gewinnungssprengungen sehr leicht und sicher vermeidbar, wenn die Endbesatzlänge geeignet eingehalten wird. Hier wirkt sich die Bruchwandneigung von 90 ° positiv aus, da theoretisch keine Wurfparabel entsteht.

Folgende Endbesatzhöhen für Großbohrlöcher sollten im Regelfall eingehalten werden:

Zündung vom Bohrlochmund aus:

| | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| Bohrlochdurchmesser | ca. 76 mm: | ca. 2,5 - 3,0 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 90 mm: | ca. 3,0 - 3,5 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 102 mm: | ca. 3,5 - 4,0 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 115 mm: | ca. 4,0 - 4,5 m |

Zündung aus dem Bohrlochtiefsten:

| | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| Bohrlochdurchmesser | ca. 76 mm: | ca. 2,0 - 2,5 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 90 mm: | ca. 2,5 - 3,0 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 102 mm: | ca. 3,0 - 3,5 m |
| Bohrlochdurchmesser | ca. 115 mm: | ca. 3,5 - 4,0 m |

Der Endbesatz muss aus steinfreiem Material wie z. B. Bohrklein, Brech- oder Natursand bzw. feinem Splitt bestehen und mit dem Ladestock verdichtet eingebracht werden.

Empfehlung

Da der Sprengbereich teilweise (vergl. Punkt 5.4) verkleinert werden muss, sollte bei Entfernungen < 300 m zur Wohnbebauung folgendes gelten:

- Die Zündung der Bohrlochladungen darf nur noch aus dem Bohrlochtiefsten erfolgen.
- Der Endbesatz darf nicht weniger als 3,5 m betragen. Sollte die Zerkleinerung in dem Besatzbereich nicht ausreichend sein, dann kann dort mit Beiladung von Sprengschnur eine geringe Teilladung zusätzlich erfolgen (z. B. nicht mehr als 1/3 Patrone von Durchmesser 65 mm).
- Die Sprenganlagen (Sohlen 2 bis 4) sind mit einem geeigneten Bruchwandvermessungssystem zu vermessen, so dass die tatsächlichen Vorgaben festgestellt und die Bohrlochladungen in Bereichen geringer Vorgaben entsprechend angepasst geladen werden können. Die Dokumentation der Planungen sollten jederzeit einsehbar sein. Sollte der Bohrlochverlauf mit üblichen Hilfsmitteln nicht feststellbar sein, muss zusätzlich der Richtungsverlauf der Bohrlöcher mit geeigneten Hilfsmitteln festgestellt und dokumentiert werden (z. B. Bohrlochvermessungsgeräten).

5.4 Sprengbereich und Absperrung

In der Technischen Regel SprengTR 310 - Sprengarbeiten wird unter Punkt 4.7 der Sprengbereich beschrieben. Dieser umfasst normalerweise einen kreisförmigen von 300 m um die jeweiligen Sprengstellen. In diesem Umfeld sollen sich keine Personen ohne Deckung im Freien aufhalten.

Bei der Größe des Sprengbereichs von 300 m handelt es sich um eine sog. Kann-Bestimmung. Wenn mit einem Bereich, in dem direkte Sprengwirkungen entstehen können, von mehr als 300 m um die Sprengstelle zu rechnen ist, so hat der Sprengberechtigte einen vergrößerten Sprengbereich festzulegen. (Unterpunkt 4 der SprengTR 310)

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. (Unterpunkt 5 der SprengTR 310)

Die erforderliche Vergrößerung oder eine zulässige Verkleinerung des Sprengbereichs kann unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Gegebenheiten in unterschiedlichen Richtungen und Abmessungen vorgenommen werden. (Unterpunkt 6 der SprengTR 310)

Der Sprengberechtigte darf die Sprenganlage nur zünden, wenn sichergestellt ist, dass die im Sprengbereich gelegenen öffentlichen Verkehrswege für die Dauer der Gefahr geräumt, gesperrt und bewacht werden. (Unterpunkt 7 der SprengTR 310)

Bei Sprengungen ist der Schutz der Personen dadurch sicherzustellen, dass diese Deckungsräume aufsuchen oder den Sprengbereich verlassen. Für die Beschaffenheit von Deckungsräumen ist der Anhang A-2 zu beachten. (Unterpunkt 8 der SprengTR 310)

D. h. wenn durch geeignete Maßnahmen oder günstige Abbau- und Umfeldbedingungen sicher gestellt wird, dass Steinflug auf die schutzwürdigen Objekte sicher unmöglich ist (z. B. günstige örtliche Bedingungen), so kann der Sprengbereich gefahrlos verkürzt werden. Dieses betrifft

insbesondere den Sprengbereich hinter den Sprenganlagen. Mit den zusätzlich empfohlenen Maßnahmen (z. B. Erhöhung des Endbesatzbereichs im Abstand < 300 m zur Wohnbebauung) ist im Regelfall Steinflug in den rückwärtigen Bereich auszuschließen.

Aus der Abbausituation ergibt sich begünstigend, dass niemals die Auswurfrichtung des Haufwerks innerhalb von 300 m bis minimal 250 m an den Abbaugrenzen direkt auf die Wohnbebauungen Haigerloch und Weildorf gerichtet ist. Insofern ist hier generell eine potentielle Gefahr für die Beschädigungen von Sachgütern Dritter über die Betriebsgrenzen hinaus bei Einhaltung des Stands der Technik sowie den hier ausgesprochenen Empfehlungen und der Anwendung der erforderlichen Sorgfalt auszuschließen.

Trotzdem kann der Regelsprengbereich von 300 m in Bezug zur K 7118 sehr oft nicht eingehalten werden. Hier wird empfohlen, die K 7118 weiträumig bei jeder Sprengung kurz unter Einhaltung aller erforderlichen Regeln (unter Umständen muss eine behördlichen Genehmigungen eingeholt werden) abzusperren, damit der Sprengbereich nicht zu sehr verkleinert werden muss. Die Absperrung der Kreisstraße für den kurzen Zeitpunkt der Sprengungen erfolgt bereits heute schon.

Desweiteren sollte ein betrieblicher Absperrplan gegebenenfalls für verschiedene Abbaubereich festgelegt werden, der auch die verschiedenen Feldwege um den Steinbruch erfasst.

Der verantwortliche Sprengberechtigte hat darüber hinaus für jede Sprengung entsprechend der örtlichen Situation und der Beurteilung der Gefahrenlage den Sprengbereich und die erforderlichen (eingewiesenen) Absperrposten festzulegen.

Die bereits erwähnten Absperrmaßnahmen müssen generell sicherstellen, dass bei eventuellem Steinflug – auch über die Betriebsgrenzen hinaus - keine Personen (auch Dritte unbeteiligte) Schaden nehmen können.

Die Absperrposten müssen betrieblich nachweislich (gegen Unterschrift) unterwiesen werden und untereinander sowie zum verantwortlichen Sprengberechtigten Kontakt haben (per Funk- oder Telefon).

Vor der Durchführung von Sprengungen müssen gemäß den Allgemeinen Bestimmungen der SprengTR 310 nach Punkt 3.2 alle möglichen Gefährdungen durch den verantwortlichen Sprengberechtigten ermittelt werden. Die Schriftform wird hierzu empfohlen.

Egal ob die Sprengarbeiten durch eigenes Personal oder durch einen Sprengdienstleister durchgeführt werden, es wird auf jeden Fall empfohlen, die Gefährdungen gemeinsam mit Verantwortlichen der Betriebsleitung schriftlich festzulegen. Die Berufsgenossenschaften haben hierzu Hilfen entwickelt.

5.5 Sprengschwaden und Gesteinsstäube

Sprengarbeiten sind nur deshalb möglich, weil die brisanten gewerblichen Sprengmittel unter erheblicher Volumenzunahme detonativ, d. h. mit Geschwindigkeiten im Bereich von 3.000 - 6.000 m/s, ihren Aggregatzustand von pulverförmig, gelatinös oder pastös nach gasförmig verändern.

Die gasförmigen Reaktionsprodukte sind nicht zu vermeiden, da diese zwingend für die Zerkleinerungsarbeit erforderlich sind. Ohne sie sind Sprengarbeiten nicht denkbar.

Die Sprengschwaden verdünnen sich im allgemeinen in der freien Atmosphäre recht schnell und sind oft nach Freigabe der Sprengstelle kaum noch wahrnehmbar und stellen somit keine Gefahr für Mensch und Umwelt dar.

Gesteinsstäube entstehen durch die Gefügezerstörung innerhalb der gelösten Gesteinsmasse, durch den Wurf der Vorgaben und durch die Aufwirbelung des bereits auf der Ladesohle vorhandenen Gesteinsstaubes.

Besonders in der trockenen Jahreszeit kann es zu stärkeren Staubeentwicklungen kommen. Geeignete Schutzmaßnahmen sind hierfür einzusetzen, die nicht Gegenstand dieses Gutachtens sind.

5.6 Immissionsprognose des Schallpegels

Nach einer Veröffentlichung im Heft 1/94 der Zeitschrift „Die Natursteinindustrie“ bewertet der Autor Dr.-Ing. Pompetzki in seinem Beitrag „Beurteilung von Nachbarschaftslärm aus Betrieben der Steine- und Erdenindustrie“ die Detonationsknalle von Sprengungen in 100 m Distanz mit

L_{peak} 80 bis 100 dB (A). Das deckt sich, Sonderfälle ausgeschlossen, mit den hiesigen Erfahrungen.

Im vorliegenden Fall beträgt der kürzeste Abstand einer Sprengstelle zum ersten Wohnhaus ca. 250 m (Ortsrandlagen Haigerloch und Weildorf).

Als Worst – Case - Szenario ist die Annahme eines mittleren Peak-Wertes von maximal 90 dB (A) aufgrund der Örtlichkeit für die höchsten Detonationsknalle in 100 m Distanz gerechtfertigt.

Bekanntlich reduziert sich die freie, durch Reflexionen und Absorptionen ungehinderte Schallausbreitung im Halbraum mit einer Abstandsverdoppelung von der Erregerquelle um etwa **6 dB (A)**. Bei einer Abstandsvergrößerung tritt damit zwangsläufig eine Emissionssenkung ein.

Vorabschätzung (für die ungünstigste Situation, hier mit der maximalen Bruchwandhöhe von ca. 27 m).

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

$$L_{\text{Apeak}} = 136 \text{ dB(A)} - 20 \lg \frac{250 \text{ m}}{1 \text{ m}} - 6 \text{ dB(A)}$$

$$\underline{\underline{L_{\text{Apeak}} = 82 \text{ dB(A)}}}$$

Beurteilung:

Betrachtet man die Ortsrandlagen Haigerloch und Weildorf als nächstgelegenen Wohnbereich, dann sind dort bei minimalem Abstand ca. 82 dB(A) bei der Durchführung von Sprengungen als Sprengknall zu erwarten.

Maßgeblich ist die sechste Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA-Lärm) vom 28.08.1998.

Die Wohnhäuser der Ortsrandlage werden als Wohnhäuser unter 6. "Immissionsrichtwerte" in die Rubrik d) allgemeines Wohngebiet und Kleinsiedlungsgebiet eingeordnet.

Danach sind dort tags 55 dB(A) + 30 dB(A) = 85 dB(A) für kurzzeitige Geräuschspitzen zulässig. Dementsprechend sind hier auch im Extremfall die Forderungen der TA-Lärm erfüllt.

Im weiteren kann eine Beurteilung im Hinblick auf die durch die Detonation des Sprengstoffes und des Haufwerkauswurfes auf das nächstgelegene Gebäude eventuell einwirkenden tieffrequenten Schalldruckwellen (sekundärer Schalldruck) erfolgen, wobei der gängige Berechnungsansatz von Dr.-Ing. Pompetzki vom LUA-Essen angewendet wird.

$$L_p = (10 \cdot \log[1,078 \cdot 10^{10} \cdot (f \cdot A \cdot V_x)^2] - 20 \cdot \log d - 8) \text{ dB}$$

| | |
|---|---------|
| Distanz d = | 250 m |
| Bewegungsgeschwindigkeit V _x = | 15 m/s |
| Schwingfrequenz f = | 1 Hz |
| Seitenabstand = | 4,0 m |
| Bohrlochanzahl = | 20 |
| Wandhöhe = | 27,0 m |
| Membranfläche A = | 2160 qm |

Rechnerische Überprüfung – beispielhafter Ansatz -:

Berechnung der Membranfläche einer betriebsüblichen Sprengung mit ca. 20 Bohrlöchern in einer Reihe in der kürzesten (möglichen) Distanz zu den Gebäuden zu der Ortsrandlage Haigerloch (Weildorf liegt immer im rückwärtsgerichteten Bereich):

$$L_p = (10 \times \log [1,078 \times 10^{10} \times (1 \times 2160 \times 50)^2] - 20 \times \log 250 - 8) \text{ dB}$$

$$L_p = 134,6 \text{ dB}$$

Bewertung:

Damit sind auch im absolut ungünstigsten Fall die aus der DIN 1055 Teil 4 „Lastannahmen für Bauten“ resultierenden Vorgaben, = Spitzenschallpegel von max. 143 dB, das entspricht einer Last von 60 kp/m², deutlich eingehalten.

6 Schutzkonzept Sprengerschütterungen

Aufgrund der langjährigen Sprengtätigkeit im Steinbruch Haigerloch-Weildorf sowie dem jahrelangen Monitoring der Sprengerschütterungen an mehreren Messstellen, konnte das Erschütterungsniveau anhand der den Stand der Technik abbildenden Vorgehensweise für die Sprengungen in der Erweiterungsfläche prognostiziert werden.

Das tatsächliche entfernungsabhängige Erschütterungsniveau sollte auch weiterhin durch Erschütterungsmessungen erfasst und mit Eintritt in die Erweiterungsfläche in einem aussagefähigen Jahresbericht ausgewertet und die Ergebnisse dargestellt werden.

Die derzeitigen Messstellen

Messstelle 1, IO 3, Weildorfer Kreuz 2 in Haigerloch

(als repräsentative Messstelle die Ortsrandlage Haigerloch)

Messstelle 2, IO 6, Theresienstr. 25 in Weildorf

(als repräsentative Messstelle Weildorf)

werden auch weiterhin als geeignet für das Erweiterungsgebiet angesehen. Grundsätzlich sind aber aller Gebäude die in den Korridoren 1 a und 1 b (vergl. Abbildung 7) liegen geeignet, solange das neue Wohngebiet in Weildorf noch nicht fertiggestellt ist. Dann müsste die Messstelle Weildorf in den Korridor 1b verlegt werden.



Abb. 7: Korridore in denen Erschütterungsmessungen durchgeführt werden sollten.

Generell sollte im Zuge des Schutzkonzeptes gelten, dass sofern an einem Immissionsort dreimal hintereinander ein Immissions- bzw. Anhaltswert die Schwelle von 75 % überschreitet, für die Sprengarbeiten mit geringer werdender Entfernung Maßnahmen zur dauerhaften Erschütterungsreduzierung zu treffen sind. Dieses betrifft hier Sprengungen im Bereich von < 300 m Entfernung zu den Wohngebäuden (vergl. blauen Korridor, Abbildung 6).

Diese Maßnahmen können vielfältig sein, zum Beispiel:

- Reduzierung der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe durch
 - weitere Ladungsteilung
 - Einsatz geringerer Bohrlochdurchmesser
 - Verwendung von Sprengstoff mit geringerer Dichte
 - ...
- Änderung der Abbaurichtung (kleinteilig)
- Erhöhung des spezifischen Sprengstoffaufwandes
- Zündtechnische Veränderungen
- ...

Mit diesem Konzept ist sichergestellt, dass die Anhalts- bzw. Immissionswerte für Erschütterungen bei sämtlichen Anrainern eingehalten und somit das Schutzgut Mensch und Eigentum ausreichend abgesichert ist.

Zusätzlich sind für diesen Fall (dreimalige Überschreitungen) Erschütterungsmessungen in den Geschossdecken des betreffenden Gebäudes zur Überprüfung der übrigen Anhalts- bzw. Immissionswerte erforderlich. Die Messungen in den Geschossdecken bilden dann die jeweils maßgeblichen Werte entsprechend der DIN 4150 ab.

Dabei muss beachtet werden, dass diese Messungen bzw. die Messorte auch für benachbarte Gebäude als repräsentativ gelten.

Rechtzeitige Vorwarnungen der Anlieger (zum Beispiel mit einer „Whatsapp-Gruppe“) haben sich bereits im derzeitigen Abbaugelände bewährt und sollten auch im beantragten Erweiterungsgelände fortgesetzt werden. Derartige Vorwarnungen helfen den subjektiven Beurteilungseinfluss zu verringern.

Anmerkung

Aus den Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabellen geht hervor, dass durch ein neues Wohngebiet „Trillfinger Steig II“ das Erschütterungsniveau für die neuen Anlieger deutlich höher als für das bisherige Wohngebiet sein wird. Es macht sich die Abstandsverkürzung um ca. 100 m zu den Sprengarbeiten deutlich bemerkbar.

Die Sprengerschütterungen werden sich auch zukünftig auf einem Niveau bewegen, mit dem die zulässigen Anhalts- bzw. Immissionswerte zwar eingehalten werden, aber die Erschütterungen für die nächstgelegenen Anwohner deutlich wahrnehmbar sein werden. Der Ortschaftsrat hat die Verpflichtung, den zukünftigen Grundstücks- und Hauseigentümern diese Tatsache offen mitzuteilen, so dass für die Fa. Schneider keine Nachteile durch eine deutliche Zunahme an Beschwerden über Belästigungen entstehen werden.

7 Zusammenfassung

Das spreng- und immissionstechnische Gutachten für die beantragte Erweiterungsfläche zum Steinbruch Haigerloch – Weildorf der Fa. Schneider wurde auftragsgemäß erstellt.

Zukünftig sollen die Gewinnungsarbeiten – wie bereits in der bisher genehmigten Abbaufäche – auch in der Erweiterungsfläche mit Hilfe der Bohr- und Sprengarbeit durchgeführt werden.

Die erforderlichen Betrachtungen für einen wirksamen Immissionsschutz bezüglich der Sprengarbeiten an Bruchwänden mit maximalen senkrechten Bruchwandhöhen von bis zu ca. 27 m sind anhand der derzeit gültigen Regelwerke erfolgt.

Berücksichtigung fanden dabei die jeweils maximal möglichen Immissionsauswirkungen bezogen auf die jeweils geringsten Entfernungen zwischen Emissions- und Immissionsorten (schützenswerte Objekte). Diese sind hier die Ortsrandlagen Haigerloch und Weildorf, wobei in Weildorf vom Ortschaftsrat ein neues Wohngebiet „Trillfinger Steig II“ geplant wurde, das den Abstand zur neuen Abbaugrenze stark verkürzen wird. Die möglichen immissionstechnischen Auswirkungen dieser Maßnahme sind im Gutachten berücksichtigt.

Die Abbausituation in der Erweiterungsfläche ist dadurch gekennzeichnet, dass die Abstände zu den Ortsrandlagen Haigerloch und Weildorf (inklusive des geplanten neuen Wohngebiets) minimal ca. 250 betragen werden. Besonders in Richtung Weildorf wird sich die Entfernung zur Ortsrandlage über die Jahre verringern, so dass durch das Erschütterungsmonitoring die Entwicklung des Erschütterungsniveaus genau analysiert und gegebenenfalls Nachjustierungen in der Sprengtechnik frühzeitig eingesetzt werden können.

Weiter entfernte mögliche Immissionsorte wurden aufgrund dessen nicht betrachtet. Es ist erfahrungsgemäß davon auszugehen, dass bei Einhaltung der Anhalts- bzw. Immissionswerte bei den nächstgelegenen Objekten diese auch bei weiter entfernt, gelegenen eingehalten werden.

Die gutachterlichen Ausführungen zu den Sprengerschütterungen stützen sich auf Messwerte, die an mehreren Messstellen seit 2015 mittels Dauermessstationen gesammelt und gemäß der DIN 4150 ausgewertet wurden. Insofern lag der Auswertung eine sehr hohe Datendichte vor. Die Ergebnisse sind in einem umfangreichen Messbericht zusammengefasst, der dem Gutachten als Anlage 1 beiliegt.

Zur Einhaltung der jeweiligen Anhalts- bzw. Immissionswerte für Sprengerschütterungen wurden die maximal möglichen Lademengen je Zündzeitstufe anhand von Lademengen – Abstandstabellen berechnet. Demnach beträgt die maximal mögliche Lademenge je Zündzeitstufe $L_{\max} = 87$ kg und im Abbaukorridor von ≥ 250 m ≤ 300 m $L_{\max} = 61$ kg. Der verringerte Wert ist sprengtechnisch durch Ladungsteilung gut umsetzbar, so dass davon auszugehen ist, dass die geplanten Bruchwandhöhen nicht reduziert werden müssen.

Beim späteren Betriebsablauf ist davon auszugehen, dass die jeweiligen Anhalts- bzw. Immissionswerte der DIN 4150 (Teil 2 und Teil 3) mit hohen Sicherheiten eingehalten werden können. Damit dieses gelingt wurde die Abbaurichtung in Richtung Nordwesten geändert und eine Negativbarriere zum Schutz des südlichen Bereichs (Haigerloch) eingeführt.

Vorschläge zum zukünftigen Monitoring der Sprengerschütterungen und Anwendung eines Schutzkonzeptes sind ausgeführt worden.

Bei Einhaltung der vorgeschlagenen Empfehlungen und gültigen Regelwerke (z. B. Spreng TR 310) sowie der für die Sprengarbeiten gebührenden Sorgfalt ist auch Steinflug über die Abbaugrenzen hinaus mit hohen Sicherheiten vermeidbar, obwohl der Regelsprengbereich von 300 m oftmals verkleinert werden muss. In diesem Zuge wird die regelmäßige Absperrung der Kreisstraße K 7118 empfohlen, die bereits heute schon für den kurzen Zeitpunkt der Sprengungen abgesperrt wird. Ansonsten sind weitere umfangreiche Absperrmaßnahmen wegen der vielen vorhandenen Feldwege im Umfeld erforderlich.

Aus der hier behandelten immissionstechnischen Sicht spricht unter Einhaltung der aufgeführten Empfehlungen nichts gegen die Durchführung von Sprengarbeiten innerhalb der beantragten Erweiterungsfläche.

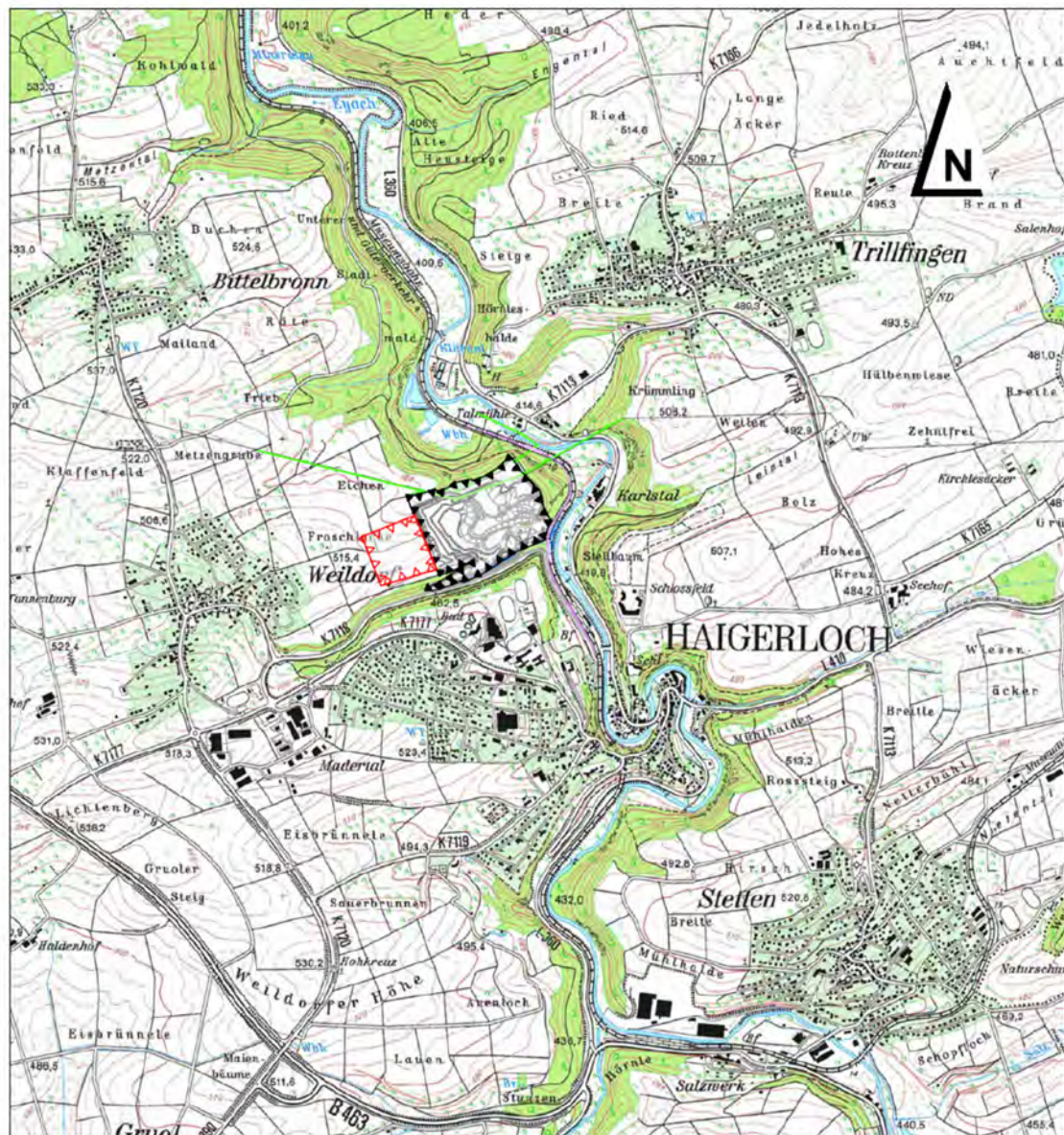
Dieses Gutachten habe ich entsprechend meines Eides als unabhängiger, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger nach bestem Wissen und Gewissen und nach dem mir bekannten Stand der Technik verfasst.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Schmücker', with a long horizontal stroke extending to the right.

Dipl.-Ing. Guido A. Schmücker

Bergheim, 28. März 2021

Anhang 1



ZEICHENERKLÄRUNG

PLANUNG



Geplante Erweiterung

GENEHMIGUNG



Genehmigungsgrenze

Datengrundlagen

Topographie
 Auszug aus DTK 25 Baden-Württemberg
 Geobasisdaten © Landesamt für Geoinformation

0 1 km 2 km

schneider
 SCHÖTTERWERK

Engelbert Schneider GmbH & Co. KG

Hanfland 1 · 72401 Haigerloch-Gruol

arguplan.

Vorholzstraße 7 · 76137 Karlsruhe
 Tel. 0721.16110-0 Fax 0721.16110-10
 www.arguplan.de

Steinbruch
 Haigerloch-Weildorf
 Erläuterungsbericht

Projekt Nr.: 0269
 Maßstab:
 1 : 25.000

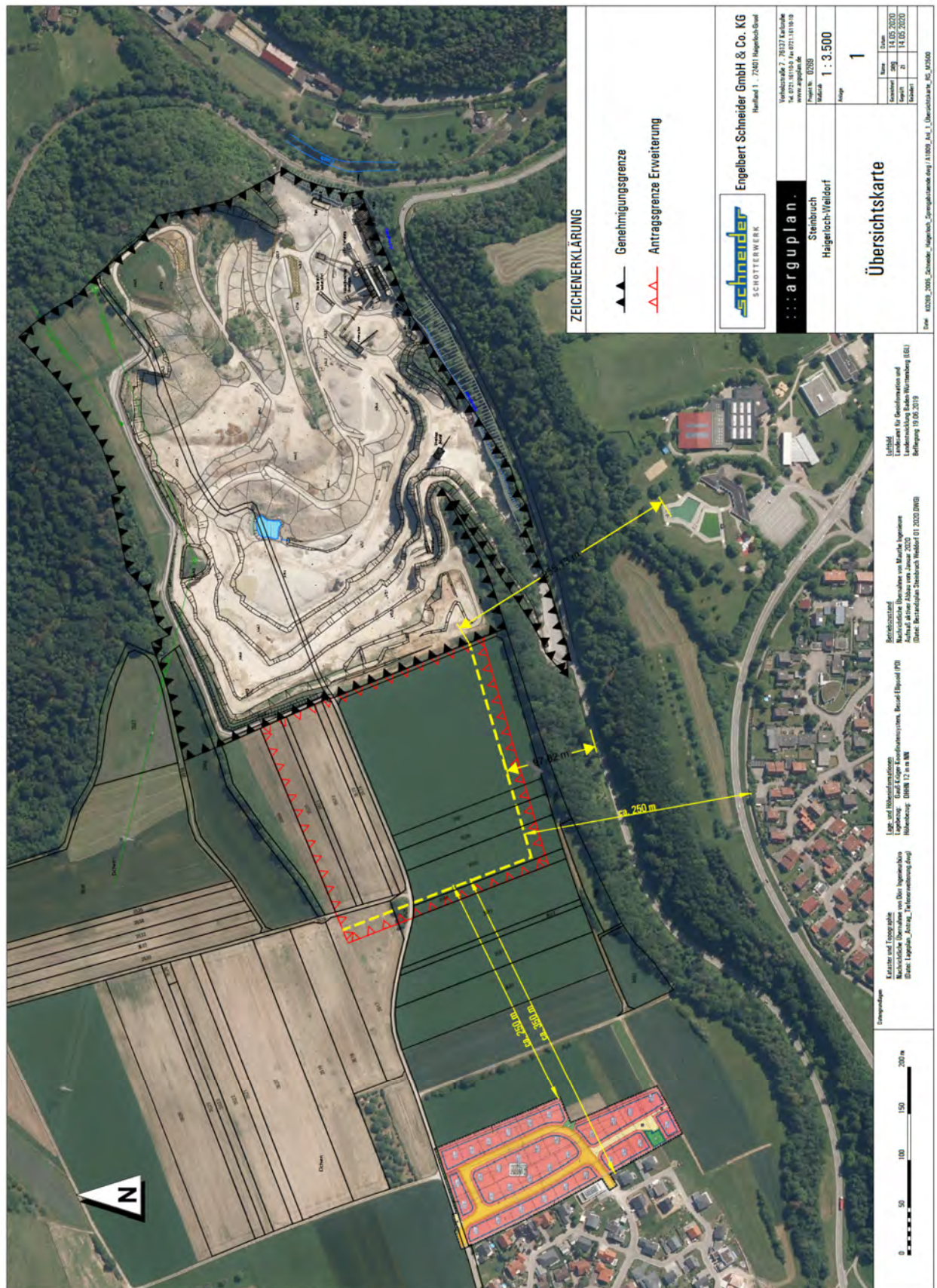
Anlage
 II.1

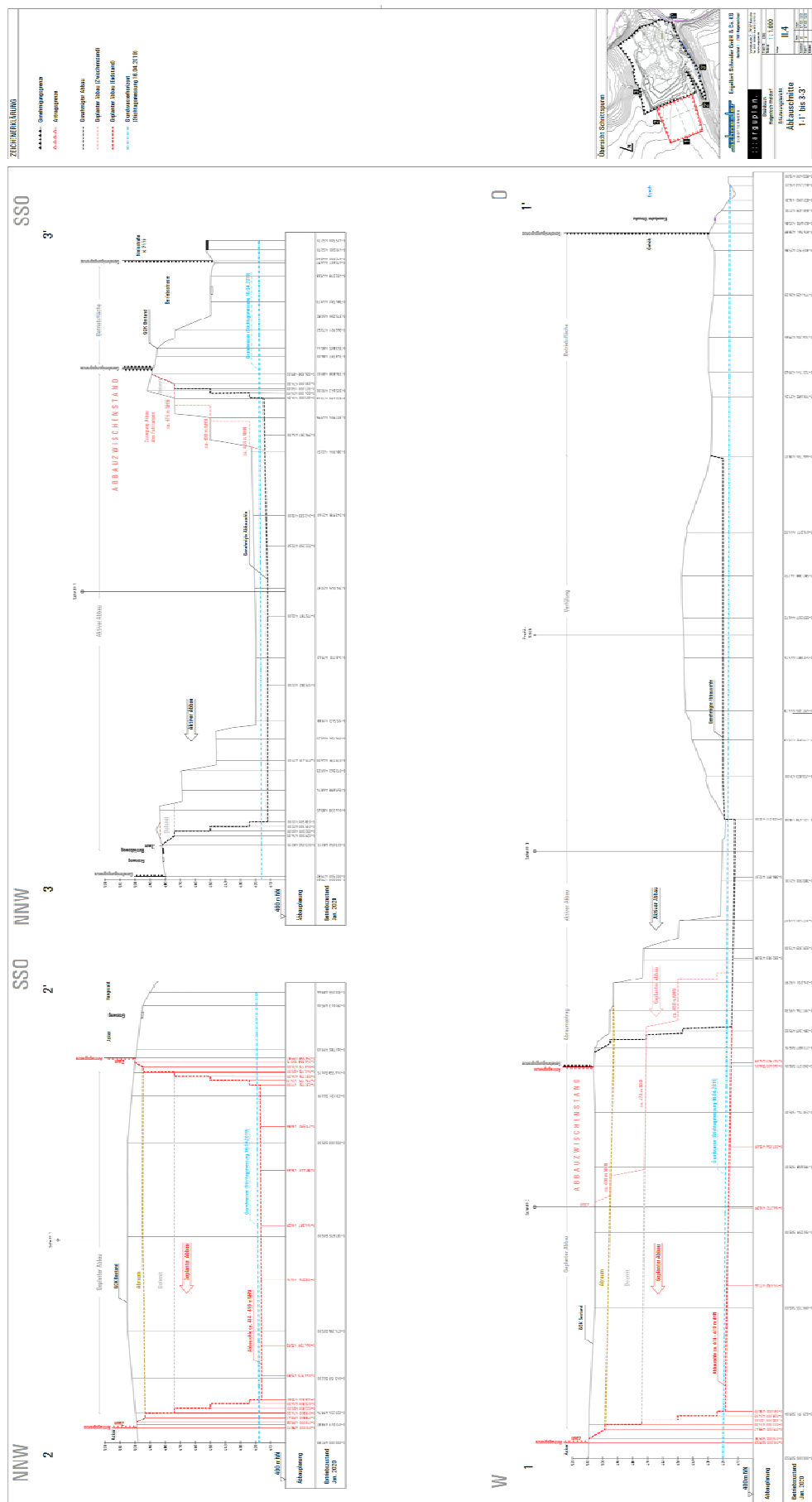
Übersichtskarte

| Name | Datum |
|------------------|------------|
| Gezeichnet: K.D. | 07.08.2020 |
| Geprüft: ZI | 07.08.2020 |
| Geändert: | |

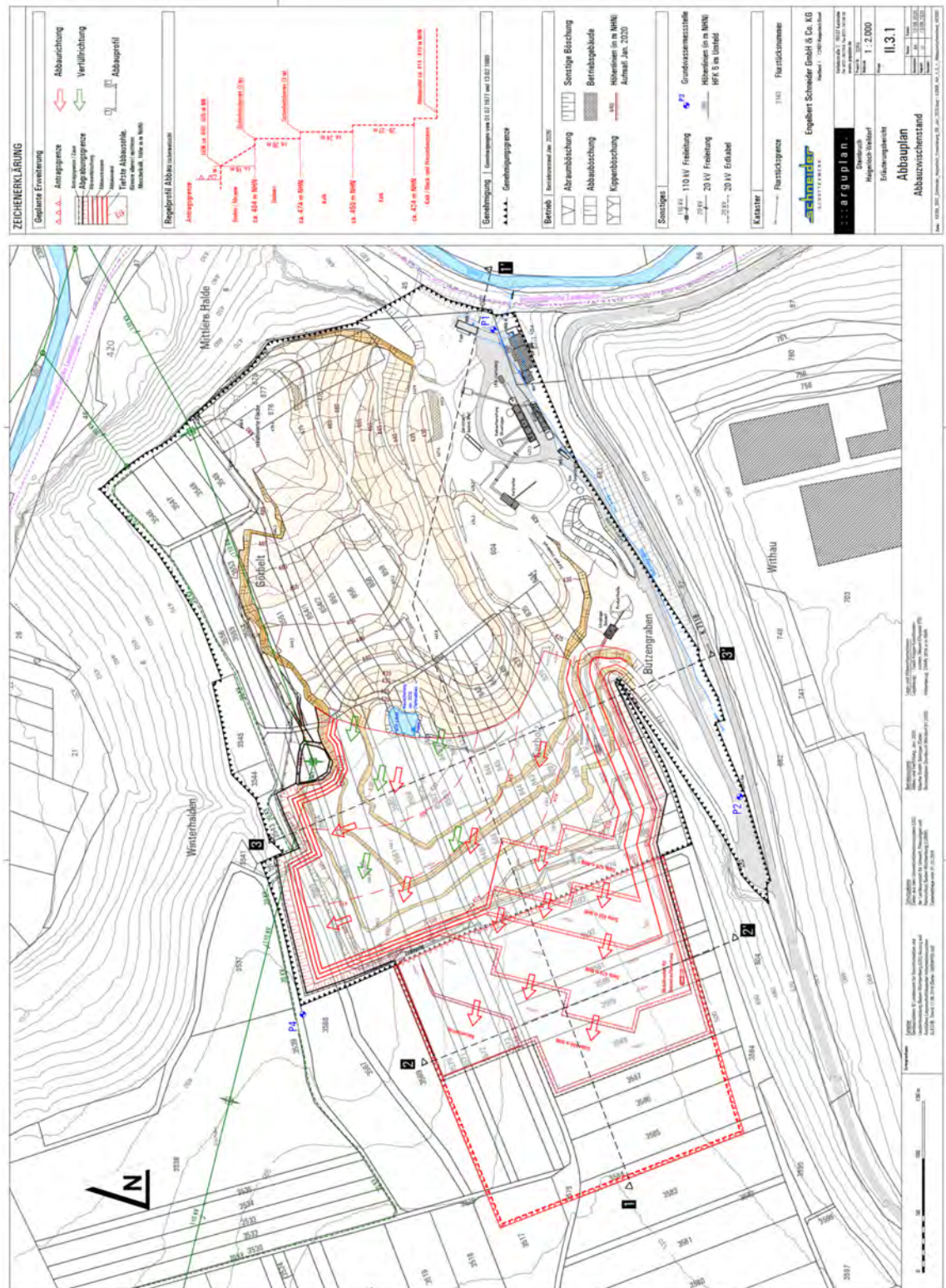
Date: K0269_2007_Schneider_Haigerloch_Erweiterung_EB_Juli_2020.dwg / EB_Anl_1_1_Übersichtskarte_25000

Anhang 2





Anhang 4





Anhang 6

| Lademengen-Abstandstabelle (Wohngebäude) | | | | | | | |
|--|---|-------------|----------|--------------|---------------|------------------------------|-------------|
| für den Steinbruch Fa. Engelbert Schneider, Haigerloch | | | | | | | |
| Abstandsbereiche: | minimal: | 100 m | maximal: | 630 m | | | |
| Grundlagen: | Medianwert aller Messungen + 25% | | | Standardfall | | Prognose mit 25 % Sicherheit | |
| Formeln zur Berechnung: | | | | | | | |
| 1) BGR-Sediment | $V_i = (K1) \cdot L^{0,6} \cdot R^{-1,5}$ | | | K1=969,0 | zum Vergleich | K1=1211 | anzuwenden |
| 2) nach Koch | $V_i = (K2) \cdot L^{0,5} \cdot R^{-1}$ | | | K2=100,0 | zum Vergleich | K2=125 | |
| Tabelle: | | | | Sediment (1) | Koch (2) | Sediment (1) | Koch (2) |
| | | | | Standard | Standard | zuzügl. 25% | zuzügl. 25% |
| Abstandsbereich von: | 100 m | Abstand (m) | | Lademenge | Lademenge | Lademenge | Lademenge |
| Abstandsschritte: | 10 m | 100 | | 8,91 kg | 12,96 kg | 6,14 kg | 8,29 kg |
| Zulässiges $V_{i,max}$: | 3,60 mm/s | 110 | | 11,31 kg | 15,68 kg | 7,80 kg | 10,04 kg |
| für $IW_o = KB_{Fmax} = 6$ zur Einhaltung der DIN 4150 Teil 2 und 3 | | 120 | | 14,06 kg | 18,66 kg | 9,69 kg | 11,94 kg |
| | | 130 | | 17,17 kg | 21,90 kg | 11,84 kg | 14,02 kg |
| | | 140 | | 20,67 kg | 25,40 kg | 14,25 kg | 16,26 kg |
| | | 150 | | 24,56 kg | 29,16 kg | 16,93 kg | 18,66 kg |
| | | 160 | | 28,86 kg | 33,18 kg | 19,90 kg | 21,23 kg |
| | | 170 | | 33,58 kg | 37,45 kg | 23,15 kg | 23,97 kg |
| | | 180 | | 38,74 kg | 41,99 kg | 26,71 kg | 26,87 kg |
| | | 190 | | 44,35 kg | 46,79 kg | 30,57 kg | 29,94 kg |
| | | 200 | | 50,41 kg | 51,84 kg | 34,76 kg | 33,18 kg |
| | | 210 | | 56,95 kg | 57,15 kg | 39,26 kg | 36,58 kg |
| | | 220 | | 63,98 kg | 62,73 kg | 44,11 kg | 40,14 kg |
| | | 230 | | 71,50 kg | 68,56 kg | 49,29 kg | 43,88 kg |
| | | 240 | | 79,52 kg | 74,65 kg | 54,82 kg | 47,78 kg |
| Geringste Entfernung zum IO 01, IO 02 IO 03, | | 250 | | 88,07 kg | 81,00 kg | 60,72 kg | 51,84 kg |
| | | 260 | | 97,14 kg | 87,61 kg | 66,97 kg | 56,07 kg |
| | | 270 | | 106,75 kg | 94,48 kg | 73,60 kg | 60,47 kg |
| | | 280 | | 116,91 kg | 101,61 kg | 80,60 kg | 65,03 kg |
| | | 290 | | 127,63 kg | 108,99 kg | 87,99 kg | 69,76 kg |
| | | 300 | | 138,92 kg | 116,64 kg | 95,77 kg | 74,65 kg |
| | | 310 | | 150,79 kg | 124,55 kg | 103,96 kg | 79,71 kg |
| | | 320 | | 163,24 kg | 132,71 kg | 112,54 kg | 84,93 kg |
| | | 330 | | 176,30 kg | 141,13 kg | 121,54 kg | 90,33 kg |
| | | 340 | | 189,96 kg | 149,82 kg | 130,96 kg | 95,88 kg |
| Geringste Entfernung zum IO 05 (im Vergleich zum IO 01) | | 350 | | 204,24 kg | 158,76 kg | 140,80 kg | 101,61 kg |
| | | 360 | | 219,14 kg | 167,96 kg | 151,08 kg | 107,50 kg |
| | | 370 | | 234,68 kg | 177,42 kg | 161,79 kg | 113,55 kg |
| | | 380 | | 250,86 kg | 187,14 kg | 172,94 kg | 119,77 kg |
| | | 390 | | 267,69 kg | 197,12 kg | 184,55 kg | 126,16 kg |
| | | 400 | | 285,18 kg | 207,36 kg | 196,61 kg | 132,71 kg |
| | | 410 | | 303,34 kg | 217,86 kg | 209,13 kg | 139,43 kg |
| | | 420 | | 322,17 kg | 228,61 kg | 222,11 kg | 146,31 kg |
| | | 430 | | 341,69 kg | 239,63 kg | 235,57 kg | 153,36 kg |
| | | 440 | | 361,91 kg | 250,91 kg | 249,51 kg | 160,58 kg |
| | | 450 | | 382,82 kg | 262,44 kg | 263,92 kg | 167,96 kg |
| | | 460 | | 404,44 kg | 274,23 kg | 278,83 kg | 175,51 kg |
| | | 470 | | 426,79 kg | 286,29 kg | 294,23 kg | 183,22 kg |
| Größtmöglicher Abstand zum IO 01 und IO 02 | | 480 | | 449,85 kg | 298,60 kg | 310,14 kg | 191,10 kg |
| | | 490 | | 473,65 kg | 311,17 kg | 326,54 kg | 199,15 kg |
| | | 500 | | 498,18 kg | 324,00 kg | 343,46 kg | 207,36 kg |
| | | 510 | | 523,47 kg | 337,09 kg | 360,89 kg | 215,74 kg |
| | | 520 | | 549,51 kg | 350,44 kg | 378,84 kg | 224,28 kg |
| | | 530 | | 576,31 kg | 364,05 kg | 397,32 kg | 232,99 kg |
| | | 540 | | 603,88 kg | 377,91 kg | 416,32 kg | 241,86 kg |
| | | 550 | | 632,22 kg | 392,04 kg | 435,87 kg | 250,91 kg |
| | | 560 | | 661,35 kg | 406,43 kg | 455,95 kg | 260,11 kg |
| | | 570 | | 691,28 kg | 421,07 kg | 476,58 kg | 269,49 kg |
| | | 580 | | 722,00 kg | 435,97 kg | 497,76 kg | 279,02 kg |
| | | 590 | | 753,52 kg | 451,14 kg | 519,49 kg | 288,73 kg |
| | | 600 | | 785,86 kg | 466,56 kg | 541,78 kg | 298,60 kg |
| | | 610 | | 819,01 kg | 482,24 kg | 564,64 kg | 308,63 kg |
| | | 620 | | 852,99 kg | 498,18 kg | 588,07 kg | 318,84 kg |
| | | 630 | | 887,80 kg | 514,38 kg | 612,07 kg | 329,20 kg |

Anhang 7

| Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabelle | | | | |
|---|--|---|------------|--------------|
| für den Steinbruch Fa. Engelbert Schneider, Haigerloch | | | | |
| Abstandsbereiche von: minimal: | | 110 m | maximal: | 610 m |
| Berechnung auf der Grundlage einer konstanten Lademenge je Zündzeitstufe: | | | | L = 87,00 kg |
| Formeln zur Berechnung: | | | | |
| 1) BGR-Sediment: | Vi=(K1)*L^0,6*R^-1,5 | | | K1=1211 |
| 2) nach Koch: | Vi=(K2)*L^0,5*R^-1 | | | K2=125 |
| Bemerkungen: | Median Gebirgsbeiwert aus allen Messungen + 25 % Sicherheit | | | |
| | Abstandsbereich > 300 m zur Wohnbebauung (ohne Ladungsteilung) | | | |
| | | Tabelle der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten | | |
| Tabelle | | Abstand (m) | Vi-BGR | Vi-Koch |
| Abstandsbereich von: | 100 m | 110 m | 15,31 mm/s | 10,60 mm/s |
| Abstandsschritte: | 10 m | 120 m | 13,43 mm/s | 9,72 mm/s |
| | | 130 m | 11,91 mm/s | 8,97 mm/s |
| | | 140 m | 10,66 mm/s | 8,33 mm/s |
| | | 150 m | 9,61 mm/s | 7,77 mm/s |
| | | 160 m | 8,72 mm/s | 7,29 mm/s |
| | | 170 m | 7,97 mm/s | 6,86 mm/s |
| | | 180 m | 7,31 mm/s | 6,48 mm/s |
| | | 190 m | 6,74 mm/s | 6,14 mm/s |
| | | 200 m | 6,24 mm/s | 5,83 mm/s |
| | | 210 m | 5,80 mm/s | 5,55 mm/s |
| | | 220 m | 5,41 mm/s | 5,30 mm/s |
| | | 230 m | 5,06 mm/s | 5,07 mm/s |
| | | 240 m | 4,75 mm/s | 4,86 mm/s |
| | | 250 m | 4,47 mm/s | 4,66 mm/s |
| | | 260 m | 4,21 mm/s | 4,48 mm/s |
| | | 270 m | 3,98 mm/s | 4,32 mm/s |
| | | 280 m | 3,77 mm/s | 4,16 mm/s |
| | | 290 m | 3,58 mm/s | 4,02 mm/s |
| IO 01, IO 02, IO 03: Ortsrandlagen (Minimalabstand für diese Sprengtechnik!) | | 300 m | 3,40 mm/s | 3,89 mm/s |
| | | 310 m | 3,24 mm/s | 3,76 mm/s |
| | | 320 m | 3,08 mm/s | 3,64 mm/s |
| | | 330 m | 2,95 mm/s | 3,53 mm/s |
| | | 340 m | 2,82 mm/s | 3,43 mm/s |
| | | 350 m | 2,70 mm/s | 3,33 mm/s |
| | | 360 m | 2,59 mm/s | 3,24 mm/s |
| | | 370 m | 2,48 mm/s | 3,15 mm/s |
| | | 380 m | 2,38 mm/s | 3,07 mm/s |
| | | 390 m | 2,29 mm/s | 2,99 mm/s |
| | | 400 m | 2,21 mm/s | 2,91 mm/s |
| | | 410 m | 2,13 mm/s | 2,84 mm/s |
| | | 420 m | 2,05 mm/s | 2,78 mm/s |
| | | 430 m | 1,98 mm/s | 2,71 mm/s |
| | | 440 m | 1,91 mm/s | 2,65 mm/s |
| | | 450 m | 1,85 mm/s | 2,59 mm/s |
| | | 460 m | 1,79 mm/s | 2,53 mm/s |
| | | 470 m | 1,73 mm/s | 2,48 mm/s |
| | | 480 m | 1,68 mm/s | 2,43 mm/s |
| | | 490 m | 1,63 mm/s | 2,38 mm/s |
| | | 500 m | 1,58 mm/s | 2,33 mm/s |
| | | 510 m | 1,53 mm/s | 2,29 mm/s |
| | | 520 m | 1,49 mm/s | 2,24 mm/s |
| | | 530 m | 1,45 mm/s | 2,20 mm/s |
| | | 540 m | 1,41 mm/s | 2,16 mm/s |
| | | 550 m | 1,37 mm/s | 2,12 mm/s |
| | | 560 m | 1,33 mm/s | 2,08 mm/s |
| | | 570 m | 1,30 mm/s | 2,05 mm/s |
| | | 580 m | 1,26 mm/s | 2,01 mm/s |
| | | 590 m | 1,23 mm/s | 1,98 mm/s |
| | | 600 m | 1,20 mm/s | 1,94 mm/s |
| | | 610 m | 1,17 mm/s | 1,91 mm/s |
| | | 620 m | 1,14 mm/s | 1,88 mm/s |

Einsatz von Ladungs-
teilung mit Lmax =45 kg
bis hier mit Lmax =87 kg
ohne Ladungsteilung

Anhang 8

| Schwinggeschwindigkeits-Abstandstabelle | | | | | |
|---|---|----------|---|------------|--------------|
| für den Steinbruch Fa. Engelbert Schneider, Haigerloch | | | | | |
| Abstandsbereiche von: | | minimal: | 110 m | maximal: | 610 m |
| Berechnung auf der Grundlage einer konstanten Lademenge je Zündzeitstufe: | | | | | L = 45,00 kg |
| Formeln zur Berechnung: | | | | | |
| 1) BGR-Sediment: | Vi=(K1)*L^0,6*R^-1,5 | | | | K1=1211 |
| 2) nach Koch: | Vi=(K2)*L^0,5*R^-1 | | | | K2=125 |
| Bemerkungen: | Median Gebirgsbeiwert aus allen Messungen + 25 % Sicherheit | | | | |
| | Abstandsbereich > 250 m < 300 m zur Wohnbebauung (mit Ladungsteilung) | | | | |
| | | | Tabelle der zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten | | |
| Tabelle | | | Abstand (m) | Vi-BGR | Vi-Koch |
| Abstandsbereich von: | 100 m | | 110 m | 10,31 mm/s | 7,62 mm/s |
| Abstandsschritte: | 10 m | | 120 m | 9,04 mm/s | 6,99 mm/s |
| | | | 130 m | 8,02 mm/s | 6,45 mm/s |
| | | | 140 m | 7,18 mm/s | 5,99 mm/s |
| | | | 150 m | 6,47 mm/s | 5,59 mm/s |
| | | | 160 m | 5,87 mm/s | 5,24 mm/s |
| | | | 170 m | 5,36 mm/s | 4,93 mm/s |
| | | | 180 m | 4,92 mm/s | 4,66 mm/s |
| | | | 190 m | 4,54 mm/s | 4,41 mm/s |
| | | | 200 m | 4,20 mm/s | 4,19 mm/s |
| | | | 210 m | 3,91 mm/s | 3,99 mm/s |
| | | | 220 m | 3,64 mm/s | 3,81 mm/s |
| | | | 230 m | 3,41 mm/s | 3,65 mm/s |
| | | | 240 m | 3,20 mm/s | 3,49 mm/s |
| IO 01, IO 02, IO 03: Ortsrandlagen (Minimalabstand!) | | | 250 m | 3,01 mm/s | 3,35 mm/s |
| | | | 260 m | 2,84 mm/s | 3,23 mm/s |
| | | | 270 m | 2,68 mm/s | 3,11 mm/s |
| | | | 280 m | 2,54 mm/s | 2,99 mm/s |
| | | | 290 m | 2,41 mm/s | 2,89 mm/s |
| | | | 300 m | 2,29 mm/s | 2,80 mm/s |
| | | | 310 m | 2,18 mm/s | 2,70 mm/s |
| | | | 320 m | 2,08 mm/s | 2,62 mm/s |
| | | | 330 m | 1,98 mm/s | 2,54 mm/s |
| | | | 340 m | 1,90 mm/s | 2,47 mm/s |
| | | | 350 m | 1,82 mm/s | 2,40 mm/s |
| | | | 360 m | 1,74 mm/s | 2,33 mm/s |
| | | | 370 m | 1,67 mm/s | 2,27 mm/s |
| | | | 380 m | 1,61 mm/s | 2,21 mm/s |
| | | | 390 m | 1,54 mm/s | 2,15 mm/s |
| | | | 400 m | 1,49 mm/s | 2,10 mm/s |
| | | | 410 m | 1,43 mm/s | 2,05 mm/s |
| | | | 420 m | 1,38 mm/s | 2,00 mm/s |
| | | | 430 m | 1,33 mm/s | 1,95 mm/s |
| | | | 440 m | 1,29 mm/s | 1,91 mm/s |
| | | | 450 m | 1,25 mm/s | 1,86 mm/s |
| | | | 460 m | 1,21 mm/s | 1,82 mm/s |
| | | | 470 m | 1,17 mm/s | 1,78 mm/s |
| | | | 480 m | 1,13 mm/s | 1,75 mm/s |
| | | | 490 m | 1,10 mm/s | 1,71 mm/s |
| | | | 500 m | 1,06 mm/s | 1,68 mm/s |
| | | | 510 m | 1,03 mm/s | 1,64 mm/s |
| | | | 520 m | 1,00 mm/s | 1,61 mm/s |
| | | | 530 m | 0,97 mm/s | 1,58 mm/s |
| | | | 540 m | 0,95 mm/s | 1,55 mm/s |
| | | | 550 m | 0,92 mm/s | 1,52 mm/s |
| | | | 560 m | 0,90 mm/s | 1,50 mm/s |
| | | | 570 m | 0,87 mm/s | 1,47 mm/s |
| | | | 580 m | 0,85 mm/s | 1,45 mm/s |
| | | | 590 m | 0,83 mm/s | 1,42 mm/s |
| | | | 600 m | 0,81 mm/s | 1,40 mm/s |
| | | | 610 m | 0,79 mm/s | 1,37 mm/s |
| | | | 620 m | 0,77 mm/s | 1,35 mm/s |

Anhang 9a

Steinfluggefahren

Die Vorgabe "W" gleicht mechanisch gesehen einem beidseitig eingespannten Balken.

Die Einspannung erfolgt zum einen im Bereich des Bruchwandfußes und zum anderen im Bereich der Endbesatzhöhe.

Dieser Balken wird durch den Druck, der sich im Augenblick der Detonation umsetzenden Sprengstoffladung auf Durchbiegung beansprucht.

Der auf die Bohrlochwandungen und damit auch auf die Vorgabe "W" einwirkende Expansionsstoß erreicht Größen von 100.000 bis 120.000 bar.

Dabei ist die Einspannung bzw. Verspannung und damit auch der Sprengwiderstand im Bereich des Wandfußes erheblich größer (ungefähr

Faktor 3) als im weiteren Wandverlauf in Richtung des Endbesatzes.

In der Abbildung 1 ist das Prinzip einer Gewinnungssprengung im Profil dargestellt.

Die Vorgabe "W" wird normal geworfen und zerkleinert. Dieser Vorgang erfolgt kontrolliert und ist kalkulierbar, sofern die für eine Sprenganlage erforderlichen Parameter eingehalten werden.

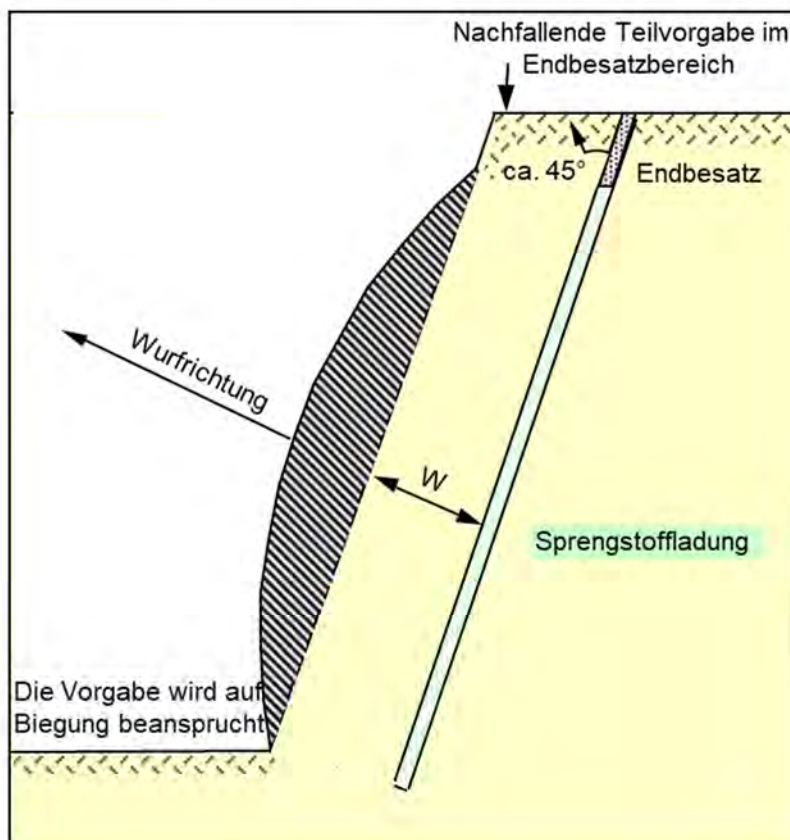


Abb. 1: Normalfall einer Gewinnungssprengung durch Kopfböhlröcher

Anhang 9b

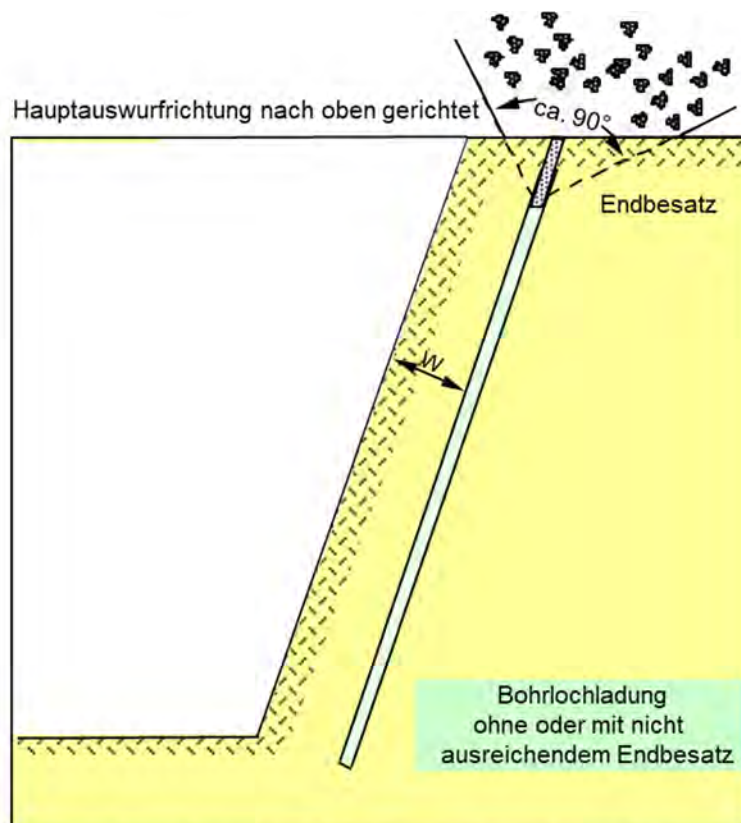


Abb. 2: Steinflug durch Nichteinhaltung der erforderlichen Mindestendbesatzhöhe

Die Neigung der Bohrlöcher weicht erheblich von der Bruchwandneigung ab, es ist zu flach gebohrt worden.
Im unteren Bohrl Lochbereich ist keine ausreichende Vorgabe vorhanden.

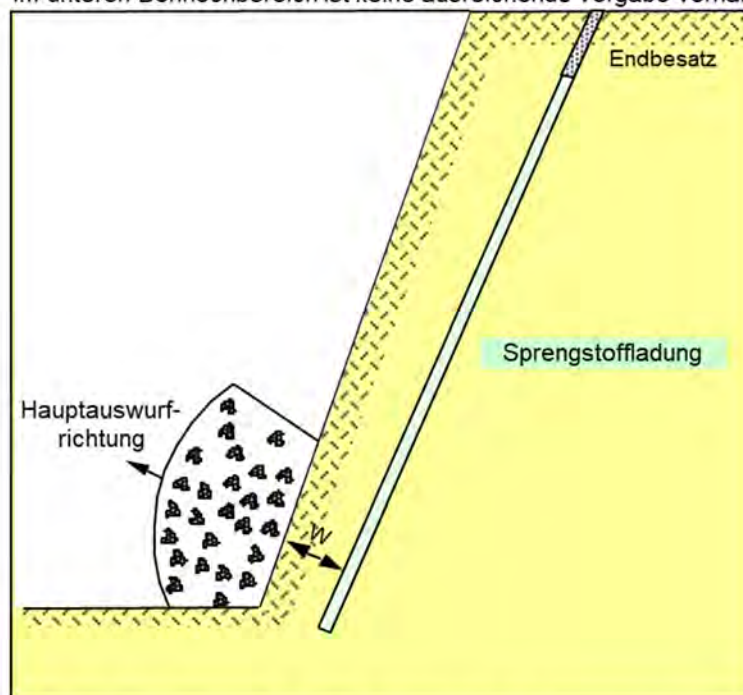


Abb. 3: Steinflug durch Bohr- und/oder Vermessungsfehler

Anhang 9c

Steinflug durch " in sich verlaufene Bohrlöcher"

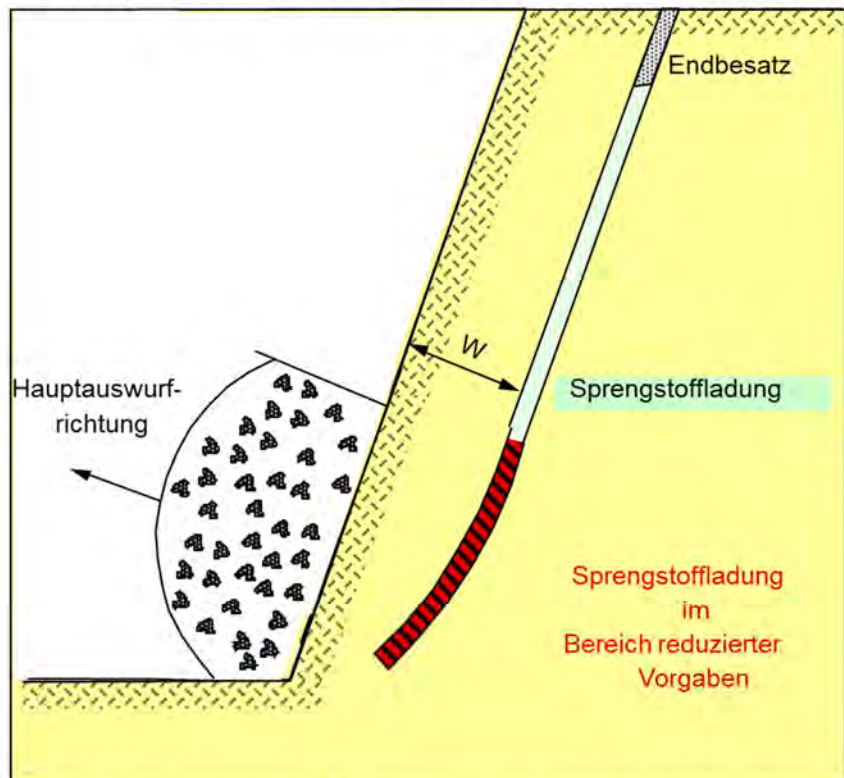


Abb. 4 Verlaufen von Bohrlöchern, z. B. durch Einsatz falscher Bohrgeräte (Außenhammergerät unter ungeeigneten Einsatzbedingungen). Geringe Vorgaben im Wandfußbereich wurden nicht berücksichtigt.

Anhang 9d

Steinflug durch Wandausbrüche und fehlenden Zwischenbesatz



Abb. 5: Der Wandausbruch muß eingemessen werden und das Bohrloch in diesem Bereich mit Zwischenbesatz verfüllt sein.

Verlaufen von losen Sprengstoffen in Klüfte und Höhlen

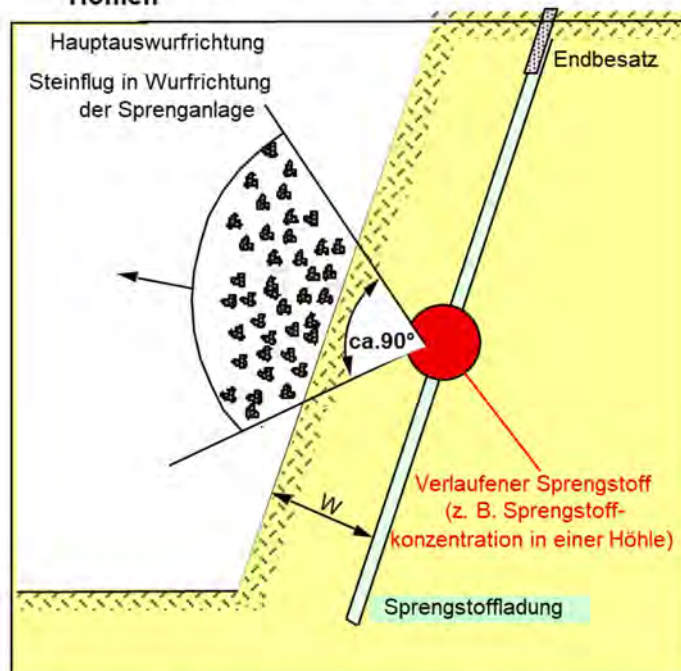


Abb. 6: Steinflug durch Sprengstoffansammlungen außerhalb des Bohrloches

Anhang 9e

**Nicht ausreichende Vorgaben von Sohlschüssen
bzw. bei Nacharbeit in der Sohle.
Abdeckung fehlt!!**

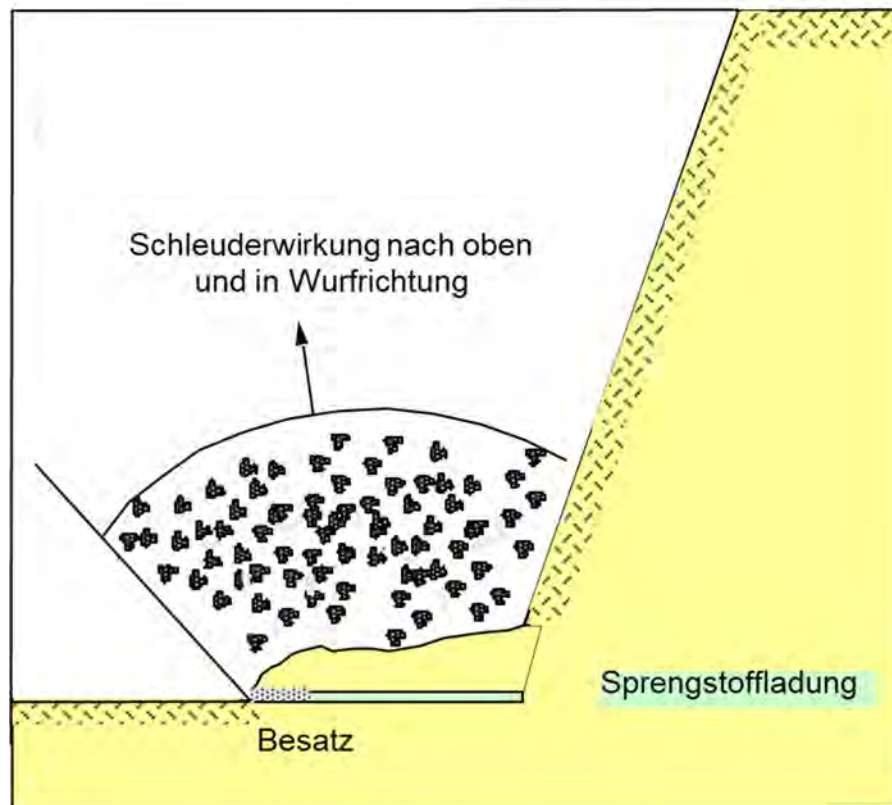


Abb. 7: Steinflug durch Überladungen