



Spreng- und Erschütterungssachverständigenbüro

Vom Landesoberbergamt NRW öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für übertägige und untertägige Sprengtechnik und Erschütterungsbeurteilung

Dipl.-Ing. Josef Hellmann · Örlingweg 29 · D-44309 Dortmund

SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG

Louise-Seher-Straße 6

65582 Diez

Örlingweg 29
D-44309 Dortmund
Telefon: 02 31/2 00 87 42
Handy: 0171/2 28 11 77
Telefax: 0231/2 00 87 43

Hellmann@Sprenggutachter.de
www.Sprenggutachter.de

- Messung und Beurteilung von Schwingungen durch Baumaschinen und Sprengungen
- Schallpegelmessungen
- Gutachten und Beratung, Erschütterungsprognosen
- Sprengausbildung

Digitales Exemplar

Dortmund, 05.03.2018

Meine Projekt-Nr.: 18 - S – 05.03. Neuaufschluss Hengen

Spreng- und erschütterungstechnisches Gutachten

im Rahmen des Genehmigungsantrags für den geplanten Neuaufschluss des Steinbruchs „Hengen“ der SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG auf verschiedenen Grundstücken in den Gemarkungen Niedertiefenbach, Schupbach und Eschenau.

Firma: SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG
Louise-Seher-Straße 6
65582 Diez

Werk: SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG
Werk Steeden
Stedener Hauptstraße
65594 Runkel

Steinbruch: Neuaufschluss
Steinbruch „Hengen“

Inhaltsverzeichnis

=====

Pkt.	Titel	Seite
	Inhaltsverzeichnis.....	2
1.0	Vorbemerkungen.....	4
2.0	Aufgabenstellung.....	5
3.0	Aufbau des Gutachtens.....	6
4.0	Verwendete Unterlagen zur Gutachtenerstellung.....	6
5.0	Beschreibung des geplanten Neuaufschlusses.....	7
5.1	Abgrabungsabstände.....	8
6.0	Abbaubeschreibung.....	9
6.1	Abtragung von Oberboden und Abraum.....	9
6.2	Abbau des Kalksteins.....	9
6.3	Bohrarbeiten.....	10
6.4	Sprengarbeiten.....	12
6.4.1	Derzeitige sprengtechnische Daten.....	13
6.4.2	Beschreibung der Ladearbeit mit Sprengstoffen.....	13
6.5	Zündanlage.....	14
6.5.1	Elektrische Zündung.....	15
6.5.2	Elektronische Zündung.....	15
6.5.3	Nichtelektrische Zündung.....	15
6.6	Nachzerkleinerung.....	16
6.7	Ladearbeit und Förderung des Haufwerkes.....	16
7.0	Sicherungsmaßnahmen bei Sprengungen, der Sprengbereich.....	17
7.1	Normalfall einer Gewinnungssprengung mit Kopflöchern.....	17
8.0	Geräuschbelästigung durch Explosionsknall.....	21
9.0	Erschütterungsimmissionsschutz.....	22
9.1	DIN 4150 Teil 1, "Vorermittlung von Schwingungsgrößen".....	22
9.2	DIN 4150 Teil 2, "Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden".....	22



Pkt.	Titel	Seite
9.2.1	Quellenspezifische Regelungen gemäß Pkt. 6.5 der DIN Teil 2.....	24
9.3	DIN 4150 Teil 3, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen"	25
10.0	Einordnung der zu betrachtenden Bauwerke.....	26
10.1	Gewerblich genutzte Bauwerke	26
10.2	Erdverlegte Leitungen	27
10.3	Wohngebäude.....	27
11.0	Erschütterungsmessungen	29
11.1	Beschreibung der Messstelle.....	29
11.2	Erschütterungsmessergebnisse.....	30
12.0	Grundlagen der Erschütterungsprognose.....	31
13.0	Erschütterungsprognose.....	34
14.0	Beurteilung.....	36
14.1	Wohngebäude.....	36
14.2	Gewerblich genutzte Bauwerke.....	38
14.3	Sicherheit der Prognose.....	39
15.0	Zusammenfassung.....	40
16.0	Schlussbemerkung.....	41
	Anlagen.....	42 - 43



1.0 Vorbemerkungen

Die Firma SCHAEFER KALK GmbH & Co. KG (im Folgenden SCHAEFER KALK) in Diez plant am Werk Steeden für die Abgrabung von Kalkstein den Neuaufschluss des Steinbruchs „Hengen“ als Folgebetrieb für den auslaufenden Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“.

Der geplante Neuaufschluss „Hengen“ liegt an den Gemarkungsgrenzen der Ortsteile Niedertiefenbach und Schupbach der Gemeinde Beselich sowie an der Gemarkungsgrenze des Ortsteils Eschenau der Gemeinde Runkel im Landkreis Limburg-Weilburg. Es ist beabsichtigt, den Neuaufschluss über den derzeitigen Tagebau „Schneelsberg Nord-Ost“ an die vorhandenen Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsanlagen anzubinden.

Die genaue Lage der Abgrabungsfläche kann der Flurkarte des Abbauantrags entnommen werden.

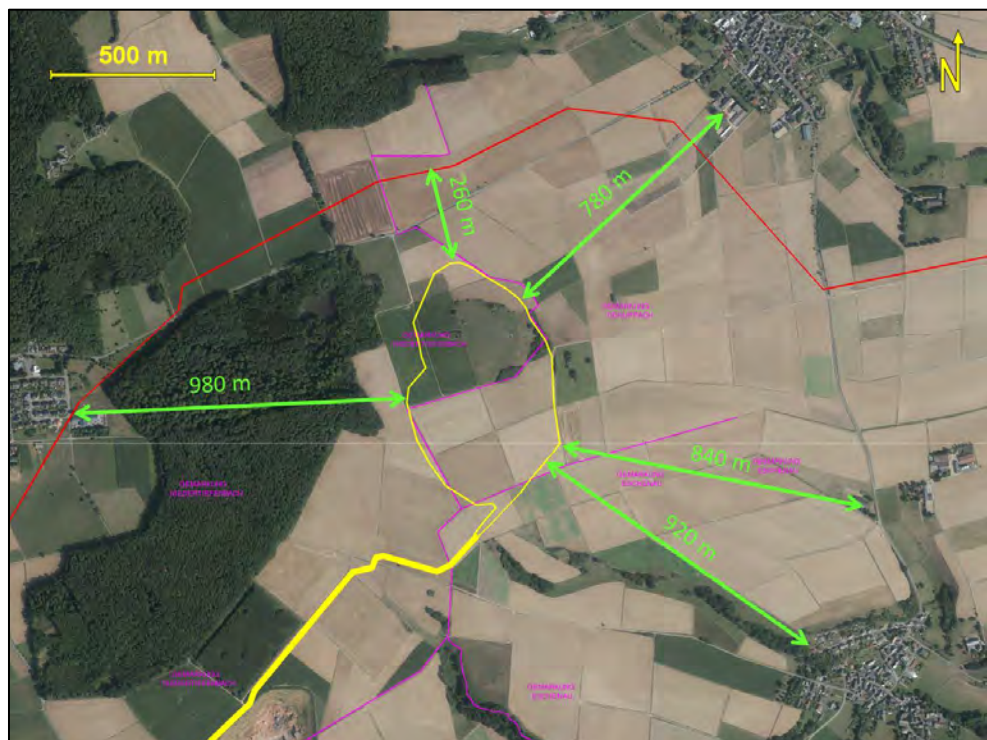


Abb. 1 Lage der Neuaufschlussfläche



2.0 Aufgabenstellung

Erstellung eines spreng- und erschütterungstechnischen Gutachtens mit integrierter Erschütterungsprognose für den geplanten Neuaufschluss des Steinbruchs „Hengen“.

Mit dem hier erstellten spreng- und erschütterungstechnischen Gutachten soll sichergestellt werden, dass bei den vorzunehmenden Sprengungen in dem geplanten Neuaufschluss die zulässigen Erschütterungsanhaltswerte in der Nachbarbebauung des Steinbruchs eingehalten werden.

Grundlage der Erschütterungsprognose sind die Auswertungen von betrieblichen Erschütterungsmessungen, die im Zeitraum von 2005 bis 2013 bei Sprengarbeiten im Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“ an der Nachbarbebauung erfasst wurden sowie eine von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe entwickelte Prognoseformel. Der Abbau im geplanten Neuaufschluss findet in denselben geologischen Formationen wie bisher statt. Auch für die Sprengtechnik sind keine wesentlichen Veränderungen vorgesehen.



Abb. 2 Betriebliche Erschütterungsmessungen am „Lerchenhof“ in 65594 Runkel-Hofen



3.0 Aufbau des Gutachtens

Die Lage des geplanten Neuaufschlusses wird beschrieben und die Vorgehensweise zum Abbau des Gesteins sowie das vorgesehene Sprengverfahren werden erläutert.

Die verwendeten Erschütterungsmessungen aus den Jahren 2005 bis 2013 werden aufgeführt und anhand der Messergebnisse wird eine Erschütterungsprognose erstellt. Darauf aufbauend werden anschließend Sprengstofflademengen festgelegt, die sicherstellen, dass an der angrenzenden Bebauung keine unzulässig hohen Sprengerschütterungen auftreten. Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen wird sichergestellt, dass bei Einhaltung aller sicherheits- und umweltrelevanten Auflagen der Schutz der Anwohner, der Bebauung und anderer Anlagen vor Steinflug und vor unzulässigen Erschütterungen gegeben ist.

4.0 Verwendete Unterlagen zur Gutachtenerstellung

- Antrag auf Durchführung eines Genehmigungsverfahrens nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz für den geplanten Neuaufschluss des Steinbruchs „Hengen“
- Lagepläne und Beschreibungen der SCHAEFER KALK zum geplanten Vorhaben
- Erschütterungsmessergebnisse der SCHAEFER KALK und dazu gehörige sprengtechnische Daten bei Gewinnungssprengungen im bestehenden Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“ in den Jahren 2005 bis 2013
- DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2 und 3
- Technische Regel zum Sprengstoffrecht „Sprengarbeiten“ des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (SprengTR 310 – Sprengarbeiten) vom 05. Oktober 2016



5.0 Beschreibung des geplanten Neuaufschlusses

Der geplante Neuaufschluss „Hengen“ umfasst einen Abgrabungsbereich mit einer Größe von ca. 20 ha im Endausbau. Die aus der Deckschicht des Steinbruchs anfallenden Materialien sowie das für die Kalkproduktion nicht verwertbare Gestein wird im auslaufenden Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“ im Rahmen der Rekultivierung verwendet. Der im geplanten Neuaufschluss „Hengen“ gewonnene Kalkstein wird mit Schwerlastkraftwagen, die zur Dämpfung der Geräuscentwicklung beim Aufladen der Steine mit Gummiböden ausgestattet sind, über den derzeitigen Tagebau „Schneelsberg Nord-Ost“ zu den vorhandenen Aufbereitungs- und Weiterverarbeitungsanlagen transportiert.

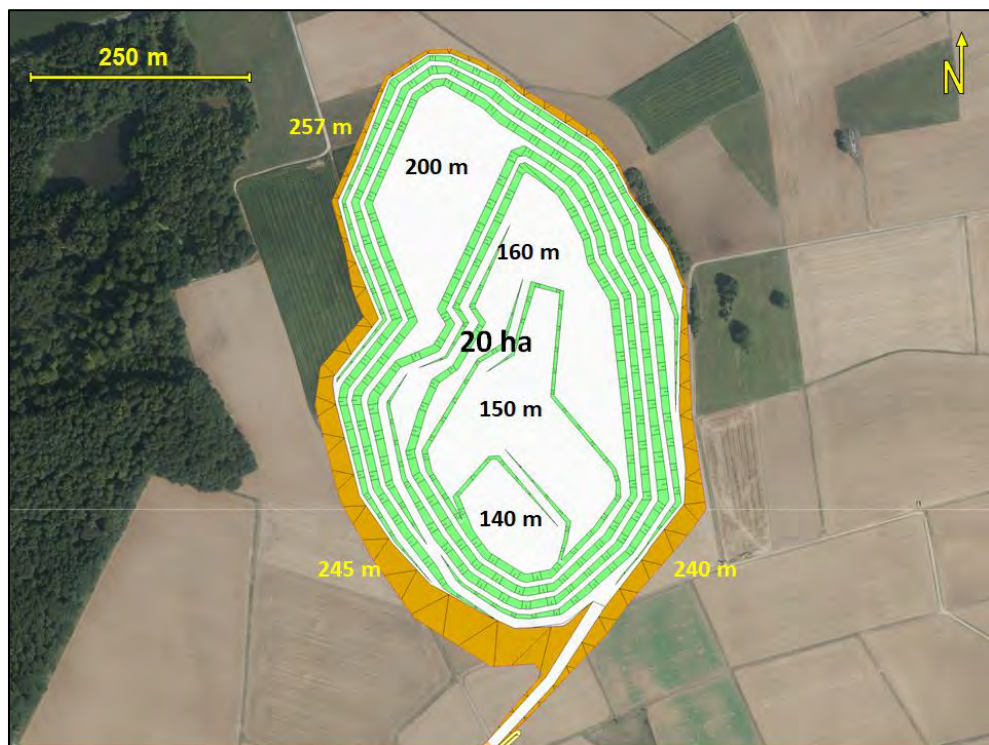


Abb. 3 geplanter Neuaufschluss



5.1 Abgrabungsabstände

Es ist geplant, in der Neuaufschlussfläche einen Sicherheitsabstand von mindestens 5 m zwischen der obersten Abbaukante und der Grundstücksgrenze einzuhalten.

Nachfolgend werden die nächstgelegenen schutzwürdigen Objekte, Gebäude und sonstigen Anlagen (betriebseigene Anlagen und Gebäude ausgenommen) mit den geringsten horizontalen Entfernungen zu den möglichen Sprengstellen im geplanten Neuaufschluss aufgeführt:

Objekt u. Adresse	Objektbezeichnung	geringste Entfernung zu den Sprengstellen (m)	Lage zum geplanten Neuaufschluss
Ortschaft Schupbach nächstgelegene Bebauung	Nr. 1	ca. 780	nordöstlich
Landwirtschaftliches Anwesen an der K 449	Nr. 2	ca. 840	östlich
Ortschaft Eschenau nächstgelegene Bebauung	Nr. 3	ca. 920	südöstlich
Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“	Nr. 4	ca. 710	südlich
Ortschaft Niedertiefenbach nächstgelegene Bebauung	Nr. 5	ca. 980	westlich
Klosteruine Beselich ehem. Klosterhof	Nr. 6	ca. 1.050	nordwestlich
Wallfahrtskapelle Beselich	Nr. 7	ca. 1.000	nordwestlich
Kreisstraße K 460	Nr. 8	ca. 150	nördlich
Erdgaspipelines der E.ON	Nr. 9	ca. 260	nördlich
Kreisstraße K 449	Nr. 10	ca. 810	östlich

Tab. 1 Geringste Entfernungen zwischen der geplanten Neuaufschlussfläche und den zu betrachtenden Gebäuden und sonstigen Anlagen



6.0 Abbaubeschreibung

Im geplanten Steinbruch „Hengen“ wird devonischer Massenkalk abgebaut. Die erforderlichen Verfahrensschritte zur Gewinnung des Kalksteins gliedern sich wie folgt auf:

- Vorbereitende Arbeiten wie z. B. Abraum abtragen und verkippen mit der Herrichtung der einzelnen Abbausohlen
- Bohren der Sprengbohrlöcher
- Sprengen
- Laden und Transportieren

Von den bei den einzelnen Verfahrensschritten entstehenden Emissionen werden in diesem Gutachten die Emissionen durch Sprengerschütterungen und die möglichen Gefahren durch ungewollten weiten Steinflug behandelt.

6.1. Abtragung von Oberboden und Abraum

Der oberste Teil in der vorgesehenen Neuaufschlussfläche wird als Abraum- und Säuberungsschnitt geführt, dessen Abtragungshöhe sich nach der Mächtigkeit des anstehenden Abraums und des Oberbodens richtet.

Der über dem zu gewinnenden Kalkstein anstehende Oberboden und das nicht verwertbare Material (Abraum) sind unterschiedlich mächtig und werden entweder im Rahmen der Renaturierung wiederverwertet.

6.2. Abbau des Kalksteins

Nach der Beseitigung des Abraumes werden die Abbausohlen im Rahmen des betrieblichen Abbaufortschritts angelegt. Der Abbau erfolgt im Trockenabbau durch Bohr- und Sprengarbeit. Die Abbauhöhe der Sohlen richtet sich nach der Mächtigkeit der nutzbaren Lagerstätte, dem Einfallen des Kalkgesteines und der Geländehöhe und beträgt in der geplanten Aufschlussfläche ca. 10-12 m.



Das abzubauen Kalksteinmaterial wird bei einem notwendigen spezifischen Sprengstoffeinsatz von ca. 350 - 450 g/fm³ (Festkubikmeter) gewonnen.

6.3 Bohrarbeiten

Die für das Sprengverfahren erforderlichen Sprengbohrlöcher werden mit Großbohrlochmaschinen, drehend oder drehschlagend, mit einem Bohrlochdurchmesser von zurzeit 95 mm von oben nach unten abgebohrt. Die geplante Bohrlochneigung beträgt 75° bei einer Wandneigung von ebenfalls ca. 75°. Die Bohrgeräte sind mit einer Entstaubungseinrichtung ausgerüstet.

Derzeitige bohrtechnische Daten:

Bohrantrieb:	drehschlagend
Bohrloch-Ø:	95 mm
Vorgabe:	zurzeit bis ca. 4,0 m (mögl. bis 7,0 m bei größerem Bohrloch-Ø)
Seitenabstand:	zurzeit bis ca. 4,0 m (mögl. bis 5,0 m bei größerem Bohrloch-Ø)
Bohrlochneigung:	ca. 75°
Wandneigung:	ca. 75°
Wandhöhe:	ca.. 10,0 m – 11,99 m
Bohrlochtiefe:	max. ca. 12,9 m
Unterbohrung:	bis ca. 0,5 m
Bohrlochreihen:	i.d.R. einreihig, gegebenenfalls zweireihig, in Sonderfällen können auch Mehrreihensprengungen erforderlich werden

Falls die örtlichen Gegebenheiten es erforderlich machen, können auch andere Wandhöhen, Bohrlochtiefen und -neigungen gebohrt werden. Sohlbohrlöcher und sonstige Hilfsbohrlöcher werden nur bei Bedarf in Sonderfällen eingesetzt.

Es kann für die Zukunft nicht ausgeschlossen werden, dass auch größere Bohrlochdurchmesser bis zu einem Durchmesser von 140 mm verwendet



werden. Die größeren Bohrlochdurchmesser bieten eine größere Bohrrichtungsgenauigkeit, da bei größeren Bohrlochdurchmessern die Bohrmaschine auch mit einem stärkeren Bohrgestänge ausgerüstet wird. Ist der Durchmesser der Bohrstangen größer, ist die Wahrscheinlichkeit des Verlaufs der Bohrlöcher aufgrund der besseren Stabilität des Bohrgestänges geringer.

Der spezifische Sprengstoffeinsatz und der maximale Sprengstoffeinsatz/Zündzeitstufe können davon aber unberührt bleiben. Dies ist möglich durch eine dann gegebenenfalls erforderliche Unterteilung der Gesamtsprengstoffladesäule eines Bohrloches in mehrere Einzelladesäulen mit jeweils einer eigenen Zündzeit.

Daher werden sich die von den Gewinnungssprengungen ausgehenden Sprengemissionen durch den Einsatz von geteilten Ladesäulen auch bei größeren Bohrlochdurchmessern und größeren Sprenganlagen nicht maßgeblich ändern.

Gemäß der SprengTR 310 – Sprengarbeiten sind Sprengungen in einem Sprengplan zu dokumentieren. Der Sprengplan ist eine Aufstellung der zum Sprengen erforderlichen technischen Angaben unter Beachtung der gesetzlichen Bestimmungen und des Standes der Technik. Dazu gehören mindestens Bohr-, Lade- und Zündplan mit den entsprechenden Schemata.

- Im Bohrplan sind in jedem Fall Bohransatzpunkte, Bohrrichtung und Bohrlochlänge für jedes Bohrloch anzugeben.
- Im Ladeplan sind Art und Menge der Sprengmittel sowie deren Verteilung und Anordnung im Laderaum darzustellen.
- Im Zündplan sind Angaben zur Art der Zündung sowie zur zeitlichen Abfolge zu dokumentieren.

Bei Großbohrlochsprengungen muss vor Aufnahme der Bohrarbeiten die Bruchwand in Bezug auf Höhe, Neigung und eventuelle Wandausbrüche vermessen werden. Anhand dieser Messung werden die Bohrlochansatzpunkte, die Bohrlochneigung, der Bohrlochdurchmesser und das Bohrraster (Vorgaben und Seitenabstand) unter Berücksichtigung der topographischen, geologischen und örtlichen Verhältnisse festgelegt. Des Weiteren



sind eine maßstäbliche Zeichnung und eine Lademengenberechnung anzufertigen.

Für die vorgesehenen Sprengungen werden im Normalfall die Sprenglöcher entsprechend der Wandvermessung von oben nach unten abgebohrt. Die richtige Anordnung der Bohrlöcher hat entscheidenden Einfluss auf das Sprengergebnis und die Sicherheit der Sprengung sowie auf die von der Sprengung ausgehenden Emissionen.

Die Bohrarbeiten sind in einem Bohrprotokoll zu dokumentieren. Dort müssen auch Besonderheiten wie Klüfte, Hohlräume u.a. festgehalten werden, die bei der Planung der Sprengstofflademenge mit berücksichtigt werden. Nach dem Bohren müssen die Löcher auf Richtung und Tiefe kontrolliert und die Ergebnisse protokolliert werden.

6.4 Sprengarbeiten

Es werden nur zugelassene Sprengstoffe und Zündmittel eingesetzt. Die in den bisherigen Abbaubereichen angewendete Sprengtechnik entspricht dem Stand der heutigen Zünd- und Sprengtechnik.

Als Sprengstoffe können gelatinöse Sprengstoffe, Emulsionssprengstoffe oder pulverförmige Sprengstoffe (z.B. ANC-Sprengstoffe) zum Einsatz kommen. Als Zündverstärker können erforderlichenfalls Nitropenta-Sprengschnüre oder Booster verwendet werden.

Als Zündmittel können elektrische, elektronische oder nichtelektrische Zündsysteme Anwendung finden.

Bei Großbohrlochsprengungen hat der verantwortliche Sprengberechtigte vor dem Einbringen des Sprengstoffes die Bohrlöcher auf Ansatzpunkt und Richtung zu prüfen. Abweichungen von der beabsichtigten Richtung sind messtechnisch zu ermitteln und zu dokumentieren. Die Berechnung der Lademenge ist gegebenenfalls entsprechend den Abweichungen zu berichtigen.



6.4.1. Derzeitige sprengtechnische Daten

Spez. Sprengstoffeinsatz:	350 – 450 g/fm ³
Bohrlochtiefe:	max. ca. 12,9 m
Ladesäulenlänge:	max. ca. 9,4 m
Endbesatzlänge:	ca. 3,5 m
Sprengstoffmenge/Bohrloch:	max. ca. 80 kg
Anzahl der Bohrlöcher:	abhängig vom Zündsystem: Bei elektrischer Zündung werden i. A. bis zu 20 Sprengbohrlöcher geladen. Bei elektronischer oder nichtelektrischer Zündung sind auch größere Sprenganlagen möglich.
Zündung:	redundant, aus dem Bohrlochtiefsten
Eingesetzte Sprengschnur:	Einsatz nur bei Bedarf, 12 g/m - 40 g/m (abhängig vom eingesetzten Sprengstoff oder der Bohranlage)

6.4.2 Beschreibung der Ladearbeit mit Sprengstoffen

In das Bohrlochtiefste wird als Fußladung entweder ein Booster oder kapselempfindlicher, z.B. gelatinöser Gesteinssprengstoff mit einem Zünder eingebracht, wobei der Zünder in den Booster oder die Schlagpatrone eingeführt wird.

Im Allgemeinen wird nach dem Einbringen der Fußladung als Hauptladung loser Emulsionssprengstoff oder loser ANC-Sprengstoff eingebracht. Falls Emulsionssprengstoff verwendet wird, kann er auch in patronierter Form eingebracht werden. Der Patronendurchmesser des Sprengstoffes ist dem Bohrlochdurchmesser anzupassen. Falls erforderlich, ist eine Sprengschnur entsprechend den Anforderungen des Sprengstoffes beizuladen. Sprengschnüre sind erforderlich, wenn die Zündung der gesamten Ladesäule nicht sicher gewährleistet ist, z. B. durch das Nachfallen von Gestein beim patronierten Laden oder wenn die Gefahr besteht, dass Patronen in Klüften stecken bleiben.



Der Endbesatz besteht aus Bohrmehl oder feinen Splitten und hat im Normalfall, abhängig vom Bohrlochdurchmesser, eine Länge von ca. 3,5 m. Muss aus ladetechnischen Gründen die Ladezone mit Zwischenbesatz gestreckt werden, wird nach jedem Einbringen von Zwischenbesatz eine weitere Patrone eines kapselempfindlichen Sprengstoffes eingebracht.

Vor dem Einbringen von Zwischen- oder Endbesatz müssen elektrische Zünder auf Widerstand und gegen Isolationsfehler mit einem zugelassenen Ohmmeter geprüft werden.

Über die Sprengarbeit ist bei Großbohrlochsprengungen ein Bericht zu erstellen, in dem die Gesamtlademege, die Lademege für jedes Bohrloch, die Art der Zündung, die Anzahl der Zünder, die Zündrichtung und Besonderheiten beim Ladevorgang aufgeführt werden.

6.5 Zündanlage

Das Standardverfahren in den Abbaugebieten des Werks Steeden der Firma SCHAEFER KALK ist die nichtelektrische Zündung. Je nach Bedarf und geologischen Verhältnissen wird die Zündanlage mit oder ohne Sprengschnur ausgeführt. Wenn mit Sprengschnur gearbeitet wird, muss die aus dem Bohrloch aufsteigende Schnur zur Reduzierung des Detonationsknalls ausreichend abgedeckt werden.

Die Zündung erfolgt in der Regel aus dem Bohrlochtiefsten, mit einem redundanten Zünder am Bohrlochmund. Gegebenenfalls kann auch vom Bohrlochmund gezündet werden.

Falls aus erschütterungstechnischen oder sonstigen Gründen eine Verringerung der Sprengstofflademege je Zündzeitstufe erforderlich ist, kann mit mehreren, durch Zwischenbesatz voneinander getrennten Ladezonen in den Bohrlöchern gearbeitet werden, wodurch die Möglichkeit besteht, die verschiedenen Ladezonen mit unterschiedlichen Zündzeiten zu versehen.



6.5.1 Elektrische Zündung

Falls elektrisch gezündet wird, wird die Zündanlage als Reihenschaltung ausgeführt. Es werden derzeit U-Momentzündler und/oder U-Kurzzeitzündler mit Verzögerungsintervallen von 25 ms verwendet.

Die Zündanlage muss auf Widerstand sowie gegen Isolationsfehler geprüft werden und mit dem vorher errechneten Widerstandswert übereinstimmen.

6.5.2 Elektronische Zündung

Durch den Einsatz des elektronischen Zündverfahrens können z.B. größere Sprenganlagen bei Beibehaltung der ursprünglichen Lademenge je Zündzeit hergestellt werden. Es steht hierbei eine erheblich größere Anzahl von Zündzeitstufen zur Verfügung als bei der herkömmlichen elektrischen Zündung. Die Größe der Zündanlagen kann somit den betrieblichen und örtlichen Gegebenheiten sehr gut angepasst werden. Ein weiterer Vorteil ist die exakte Einhaltung der Zündzeiten, die bei diesem Zündsystem nicht mehr pyrotechnisch, sondern elektronisch geregelt wird.

Die mit diesen Zündsystemen umgehenden Sprengberechtigten müssen durch eine entsprechende Schulung des Herstellers eine besondere Fachkunde dafür erworben haben. Dieses Zündsystem ist das derzeit genaueste Zündsystem, das zur Verfügung steht.

6.5.3 Nichtelektrische Zündung

Bei diesem Zündsystem kann eine große Zahl von Zündern über einen auf seiner Innenseite mit einer Sprengstoffbeschichtung bestäubten Anzündschlauch miteinander verbunden werden. Ein an der Oberfläche am Bohrlochmund angebrachter Zündverzögerer ist dazu bestimmt, die Zündverzögerung außerhalb der Bohrlöcher vorausschieben zu lassen, bevor die erste Bohrlochladung detoniert. Es stehen verschiedene Zündzeitintervalle zur Verfügung. Im Allgemeinen wird das System durch einen elektrischen Zünder ausgelöst.



Neben der möglichen großen Anzahl verschiedener Zündzeiten zeichnet sich dieses System durch seine einfache Handhabung aus. Die Planung der Zündanlage setzt jedoch genaue Kenntnisse des Systems voraus. So ist sorgsam darauf zu achten, dass die möglichen Toleranzen der pyrotechnischen Verzögerungselemente in den Zündern ausreichend berücksichtigt werden und die tatsächlichen Zündzeiten der Zünder nicht zu eng beieinander liegen. Gelegentlich auftretende unzulässig hohe Erschütterungen können ihre Ursache in einem unglücklichen Überschneiden der tatsächlichen Zündzeiten haben, wenn die möglichen Toleranzen nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Die mit diesen Zündsystemen umgehenden Sprengberechtigten müssen durch eine entsprechende Schulung eine besondere Fachkunde für den Umgang mit diesem System erworben haben.

6.6 Nachzerkleinerung

Die Beseitigung von Unebenheiten auf der Sohle (Zehen) durch Sprengarbeit erfordert eine sehr genaue Ermittlung der Vorgaben und eine exakte Lademengenberechnung für jedes einzelne Sprengbohrloch. Fehler hierbei sind nicht auszuschließen und können zu gefährlichem Steinflug führen. Gleiches gilt für Knäppersprengungen.

Ein Nacharbeiten von Zehen und das Zerkleinern von Knäppern sollten grundsätzlich nicht durch Sprengen erfolgen, wenn der abgesperrte Sprengbereich einen Radius unter 400 m hat.

6.7. Ladearbeit und Förderung des Haufwerkes

Das sprengtechnisch gelöste Material wird mit Radladern und Baggern auf Schwerlastkraftwagen geladen und über je nach Abbausituation angelegte Fahrrampen und Fahrwege zu den weiterverarbeitenden Betriebsanlagen transportiert.



7.0 Sicherungsmaßnahmen bei Sprengungen, der Sprengbereich

Der abzusperrende Sprengbereich beträgt gemäß der SprengTR 310 – Sprengarbeiten im Allgemeinen 300 m und kann vom Sprengberechtigten im Einvernehmen mit dem Erlaubnisinhaber verkleinert werden, wenn es die Sicherheit erlaubt und eine Gefährdung in der Umgebung ausgeschlossen ist. Der Sprengbereich muss vergrößert werden, wenn es die Sprenganlage erfordert und eine Gefährdung nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Absperrung und Räumung des erforderlichen Sprengbereiches erfolgt außerhalb und innerhalb der eigenen Betriebsanlagen durch Betriebsangehörige des Steinbruchs bzw. des Sprengunternehmers. Personen, die sich im Sprengbereich aufhalten müssen, dürfen sich nur in den dafür vorgesehenen und geeigneten Schutzräumen aufhalten. Dies gilt auch für eventuell im Sprengbereich tätige Fremdunternehmer. Die Absperrposten müssen sich mit Sprechfunk oder Mobiltelefon mit dem Sprengberechtigten verständigen können.

7.1 Normalfall einer Gewinnungssprengung, Vermeidung von Steinflug

Bei der Umsetzung des Sprengstoffes entstehen innerhalb weniger Millisekunden aus 1 kg Sprengstoff ca. 800 - 1000 l Gasvolumen. Diese Volumenvergrößerung wird benutzt, um die Vorgabe "w" zu werfen, bzw. das anstehende Gestein zu zerkleinern. Dabei treten Gasdrücke von bis zu 10.000 bar auf, die zum einen in Richtung auf die Vorgabe, zum anderen aber auch auf das rückseitige Gestein einwirken.

Wenn die allgemeinen Sprengparameter eingehalten werden und die abbautechnischen Voraussetzungen normal sind, liegt nach dem Lösen und Werfen des Gebirges das Haufwerk um ca. 70 - 100 % länger an, als es die Wandhöhe vorgibt. Bei einer Wandhöhe von z.B. ca. 10 m liegt demnach das Haufwerk in Wurfriechtung auf einer Länge von ca. 17 m – 20 m an. Hinzu kommen noch einzelne Steine, die bis zu 25 m weiter rollen oder streuen können.



Bei herkömmlichen Gewinnungssprengungen werden die Bruchwände durch Kopflöcher von oben nach unten in einem vorgegebenen Bohrraster abgebohrt.

Die Vorgabe ("w" zur freien Wandseite), sowie der Bohrlochabstand ("a_B") untereinander kennzeichnen dieses Raster. Als weitere Faktoren bei der Planung einer Gewinnungssprengung können der Gesteinsaufbau, der spezifische Sprengstoffaufwand, der Bohrlochdurchmesser und die Bohrlochneigung, die Art des eingesetzten Sprengstoffes, die Sprengstoffdichte, der Bohrlochfüllungsgrad und der Endbesatz angeführt werden.

Dem Auftreten von außergewöhnlichem, gefährlich weitem Steinflug ist in aller Regel eine punktuelle Überladung von Sprenganlagen oder Bohrlochern vorausgegangen. Dies bedeutet, dass die eingesetzte Sprengstoffmenge insgesamt oder punktuell wesentlich höher gelegen haben muss, als es der normale Gewinnungsbetrieb vorsieht. Der spezifische Sprengstoffeinsatz wird allgemein mit "q" = 0,25 - 0,80 kg/fm³ angegeben. Im geplanten Steinbruch „Hengen“ der Firma SCHAEFER KALK wird das Gestein durch Gewinnungssprengungen mit einem spezifischen Sprengstoffeinsatz von in der Regel "q" = ca. 0,350 kg/fm³ bis 0,450 kg/fm³ abgebaut.

Bei diesem spezifischen Sprengstoffeinsatz ist bei Beachtung und Einhaltung der sprengtechnischen Regeln und einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften Steinflug über den abgesperrten Sprengbereich hinaus auszuschließen. Wenn der Sprengbereich verkleinert werden soll, muss durch zusätzliche Maßnahmen sichergestellt sein, dass eine Gefährdung durch Sprengstücke ausgeschlossen ist.

Unkontrollierter Steinflug tritt erfahrungsgemäß erst ein, wenn der in diesem Betrieb übliche spezifische Sprengstoffeinsatz "q" wesentlich überschritten wird. Damit keine derartige punktuelle Überladung auftreten kann, muss eine fehlerhafte Bohr- und Sprenganordnung ausgeschlossen sein. Bei der hier vorgesehenen Abbauplanung, bei der die Wurfrichtung des Haufwerks stets in den Steinbruch hinein gerichtet ist, ergibt sich, dass selbst bei Fehlern des Sprengberechtigten bei der Ausführung der Sprengarbeit die Wurfrichtung der Steine immer noch weg von der Nachbarbe-



bauung und in den Steinbruch hinein weist. Ausnahmen hierbei sind lediglich zu kurzer Endbesatz oder Fehler bei eventuellen Zehensprengungen.

Die Beseitigung von Unebenheiten auf der Sohle (Zehen) durch Sprengarbeit erfordert eine sehr genaue Ermittlung der Vorgaben und eine exakte Lademengenermittlung für jedes einzelne Sprengbohrloch. Fehler hierbei können zu gefährlichem Steinflug in alle Richtungen führen. Gleiches gilt für Knäppersprengungen. Knäpper werden im geplanten Steinbruch „Hengen“ mechanisch zerkleinert.

Zur sicheren Unterbindung der Steinfluggefahr bei Zehensprengungen sollte das Sprengen solcher Unebenheiten im Zusammenhang mit einer Gewinnungssprengung erfolgen. Hierbei kann durch die Wahl einer ausreichend hohen Zündzeitstufe in den der Bruchwand vorgelagerten Zehenlöchern sichergestellt werden, dass das Haufwerk der gleichzeitig gezündeten Wandsprengung die zu lösenden Zehen bereits abdeckt und gefährlicher Steinflug aus diesem Bereich dadurch sicher unterbunden wird.

Verkleinerung des Sprengbereichs

Der in der SprengTR 310 – Sprengarbeiten unter Pkt. 4.7 genannte Sprengbereich von 300 m um die Sprengstelle wird in dem geplanten Neuaufschluss zu benachbarten Gebäuden nicht unterschritten. Bei Sprengarbeiten im äußersten nördlichen Bereich des Neuaufschlusses wird jedoch der Abstand zur Kreisstraße K460 bis auf ca. 150 m unterschritten.

Falls die Kreisstraße K460 bei Unterschreitung des Sprengbereichs von 300 m nicht gesperrt werden kann, bestehen bei Beachtung der im Folgenden genannten Maßnahmen aus gutachtlicher Sicht keine Bedenken, bei Sprengarbeiten im nördlichen Bereich des Neuaufschlusses den Sprengbereich in Richtung auf die Kreisstraße bis auf 150 m zu verkleinern:

- Die Bestimmungen im Pkt. 4.7 der SprengTR 310 – Sprengarbeiten sind sorgfältig einzuhalten.
- Bei Abständen unter 300 m muss die Wurfrichtung des Haufwerks bei den Sprengungen in den Steinbruch hinein gerichtet sein.



- Für Bohrlochdurchmesser bis zu 105 mm ist bei Absperrentfernungen unter 300 m bei einer Vorgabe von bis zu 4,0 m eine Endbesatzlänge von mind. 4,5 m in den Sprengbohrlöchern einzuhalten und in einem Ladeplan zu dokumentieren. Bei Entfernungen unter 200 m ist die Länge des Endbesatzes zusätzlich von einer zweiten Person zu überprüfen und im Ladeplan zu testieren.
- Als Besatz wird feinkörniger Split oder Sand verwendet. Der Besatz ist hohlraumfrei einzubringen und mit dem Ladestock zu verdichten.
- Beim Herstellen der Sprengbohrlöcher sind vom Bohrmaschinisten sämtliche auftretenden Störungen (Vorhandensein von Klüftungen, Bohrlochabweichungen, geologische Störungen, Festgehen des Bohrwerkzeuges und ähnliche Vorfälle) unter Angabe der Bohrlochnummer in einem Bohrprotokoll zu dokumentieren. Das Bohrprotokoll ist vom Sprengberechtigten vor Aufnahme der Ladearbeit einzusehen.
- Im Bereich von unter 300 m sollte neben der vorgeschlagenen Vergrößerung der Endbesatzlänge auch besonders darauf geachtet werden, dass eine gegebenenfalls der Ladung beigeladene Sprengschnur ausreichend tief in den Besatz zurückgeschoben wird.
- Bei Bohrlochdurchmessern von mehr als 105 mm sollte durch einen Sprengingenieur die Dimensionierung der Endbesatzlänge für die jeweiligen Bohrlochdurchmesser festgelegt werden.
- Falls Zehensprengungen erforderlich sind, müssen sie im Zusammenhang mit einer Gewinnungssprengung erfolgen. Hierbei kann durch die Wahl einer ausreichend hohen Zündzeitstufe in den der Bruchwand vorgelagerten Zehenlöchern sichergestellt werden, dass das Haufwerk der gleichzeitig gezündeten Wandsprengung die zu lösenden Zehen bereits abdeckt und gefährlicher Steinflug aus diesem Bereich dadurch sicher unterbunden wird.



8.0 Geräuschbelästigung durch Explosionsknall

Bei einer Gewinnungssprengung erzeugt der detonierende Sprengstoff einen unterschiedlich starken Luftschall. Die Zeitdauer erstreckt sich je nach Sprenganlage etwa bis zu 1 s.

Außerhalb des abgesperrten Sprengbereiches ist der Luftschall nicht größer als die Immissionen anderer Lärmquellen, z.B. Flugzeuge oder Verkehrslärm an stark befahrenen Verkehrswegen.

Um die auftretenden Lärmimmissionen beim Sprengen auf ein mögliches Mindestmaß zu reduzieren, ist bei der Verwendung von Sprengschnur das aus dem Bohrloch herausragende Sprengschnurende nach dem Anbringen eines redundanten Zünders ausreichend tief in den Endbesatz einzubringen bzw. ausreichend mit feinem Besatzmaterial abzudecken.



9.0 Erschütterungsimmissionsschutz

Beurteilungsgrundlage für die auftretenden Erschütterungen, verursacht durch die Sprengungen in der Neuaufschlussfläche der Firma SCHAEFER KALK ist die DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, die aus den Teilen 1 bis 3 besteht.

9.1 DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1, "Vorermittlung von Schwingungsgrößen" vom Juni 2001

Der Teil 1 dieser DIN, "Vorermittlung von Schwingungsgrößen" vom Juni 2001, gibt eine Anleitung für die Vorermittlung von Erschütterungen und enthält Verfahren, Angaben und Hinweise, auf deren Grundlage die Werte von Erschütterungsgrößen vorausgesagt werden können.

Mit diesen Werten kann eine Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen nach DIN 4150-2 und DIN 4150-3 in der jeweils gültigen Fassung erfolgen.

9.2 DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2, "Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden" vom Juni 1999

Der Teil 2 der DIN enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen im Frequenzbereich von 1 - 80 Hz, die in Gebäuden auf Menschen einwirken.

Entweder ist die Beurteilungsgröße $KB_{F_{max}}$ direkt vom Messgerät ermittelt worden, oder wenn dies nicht der Fall ist, ist unter bestimmten Bedingungen (Frequenzbereich des verwendeten Aufnehmer-Registriersystems von unter 2 Hz bis über 80 Hz) näherungsweise die Bestimmung der Beurteilungsgröße $KB_{F_{max}}$ auch aus der Registrierung des Signals (v_t) möglich.

Ermittlung des KB-Wertes:

Sind die oben genannten Bedingungen erfüllt, ist der Maximalwert des v_t -Signals der Aufzeichnung und ein zugehöriger Schätzwert der Frequenz zu bestimmen. Daraus ist zunächst das KB-bewertete Signal nach der Zah-



gleichung (6) und nach der Gleichung (7) mit c_F nach Tabelle 3 der DIN der Schätzwert des gleitenden Effektivwertes wie folgt zu berechnen:

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{v_{\max}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}} \quad (6)$$

$$KB_{F_{\max}} = KB \times c_F \quad (7)$$

Hierin sind:

v_{\max} = max. gemessene Schwinggeschwindigkeit (mm/s)

KB = hat die Einheit 1

f_0 = 5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses)

f = Frequenz in Hz

c_F = Konstante nach Tabelle 3 (s.u.)

Es werden in der Tabelle 1 der DIN 4150 Teil 2 (siehe Anlage 1) Anhaltswerte (A) für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen gemacht, die mit den ermittelten $KB_{F_{\max}}$ -Werten verglichen werden müssen. Für selten auftretende, kurzzeitige Einwirkungen (z.B. Sprengerschütterungen sind kurzzeitige Einwirkungen) ist die Anforderung der Norm eingehalten, wenn $KB_{F_{\max}}$ kleiner als der obere Anhaltswert (A_o) ist.

In der gleichen Norm werden in der Tabelle 3 Erfahrungswerte für die Konstanten c_F für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen aufgeführt.

Tabelle 3, Zeile 4,

Einzelereignisse kurzer Dauer:

a) mit Resonanzbeteiligung $c_F = 0,8$

b) ohne Resonanzbeteiligung $c_F = 0,6$



9.2.1 Quellenspezifische Regelungen gemäß Pkt. 6.5 der DIN Teil 2

Die Norm DIN - 4150 - vom Juni 1999, "Erschütterungen im Bauwesen", Teil 2, "Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden", sagt unter Pkt. 6.5 "Quellenspezifische Regelungen" und Pkt. 6.5.1 "Selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen" folgendes aus:

"Bei selten auftretenden und nur kurzzeitig einwirkenden Erschütterungen bis zu 3 Ereignissen je Tag, z.B. Sprengerschütterungen, gilt die Anforderung als eingehalten, wenn die maximale bewertete Schwingstärke KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (oberen) Anhaltswert A_o nach Tabelle 1 ist. Die Ermittlung von KB_{FT} und der Vergleich mit A_r entfällt."

Dies gilt grundsätzlich auch für Erschütterungen, die von Gewinnungssprengungen verursacht werden, mit folgenden zusätzlichen Regelungen:

- Folgen mehrere Sprengungen unmittelbar aufeinander, gelten diese im Sinne der Norm als ein Ereignis. Es dürfen in diesem Fall aber nicht mehr als 15 Sprengungen in einer Woche stattfinden.
- Wenn die Sprengungen an Werktagen mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten 7-13 Uhr oder 15-19 Uhr erfolgen, gelten in Gebieten nach Tabelle 1, Zeilen 3 und 4 auch die A_o -Werte nach Zeile 1, wenn nur 1 Ereignis pro Tag stattfindet.

Anmerkung: Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung oder außerhalb des Absperrbereiches auch durch andere Maßnahmen.

Sind die oben genannten Bedingungen erfüllt, sind folgende Werte zugelassen:

$$A_o = 6$$

In Ausnahmefällen, wenige Male im Jahr, dürfen die KB_{Fmax} -Werte bis zu 8 betragen.

Sprengungen können als unmittelbar aufeinander folgend betrachtet werden, wenn sie innerhalb eines Absperrvorganges abgetan werden. In einem Zeitraum von 5 min bis maximal 10 min gezündete Sprengungen sind somit als ein Ereignis zu betrachten.



9.3 DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen" vom Dezember 2016

Die DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3 "Einwirkungen auf bauliche Anlagen", sagt unter anderem Folgendes zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen (z.B. Sprengerschütterungen) aus:

"... Dieses Dokument nennt Anhaltswerte für Schwinggeschwindigkeiten, die aus zahlreichen Messungen als Erfahrungswerte gewonnen wurden.

Werden diese Anhaltswerte eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. ..."

In der Tabelle 1 der DIN (Anlage 2) sind für die verschiedenen Gebäudearten Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke am Fundament und in der obersten Deckenebene angegeben. In der Tabelle 3 der DIN (Anlage 3) sind Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Leitungen angegeben.

Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 und 3 eingehalten, so treten Schäden, dazu zählen auch leichte Schäden, im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach bisheriger Erfahrung nicht auf.

Werden die Anhaltswerte der DIN überschritten, heißt das nicht automatisch, dass Schäden auftreten müssen. Es müssen dann weitere Untersuchungen (z.B. Schadensbegutachtung durch einen Bausachverständigen) erfolgen.



10.0 Einordnung der zu betrachtenden Bauwerke

10.1 Gewerblich genutzte Bauwerke

Objekt Nr. 1, Stallgebäude am Ortsrand von Schupbach

Objekt Nr. 2, Stallgebäude am landwirtschaftlichen Anwesen an der K 449

Objekt Nr. 6, Stallgebäude und Scheunen am ehemaligen Klosterhof

Die oben genannten Bauten und sonstige gewerbliche Bauwerke sind in die Zeile 1 der Tabelle 1 der DIN 4150, Teil 3, als gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten einzuordnen.

Hier sind folgende Werte zugelassen:

am Fundament bei Frequenzen:

< 10 Hz $v_i = 20$ mm/s

10 - 50 Hz $v_i = 20-40$ mm/s

50 -100 Hz $v_i = 40-50$ mm/s

in der Deckenebene des obersten Vollgeschosses in horizontaler Messrichtung:

bei allen Frequenzen $v_i = 40$ mm/s

in der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses in vertikaler Messrichtung:

bei allen Frequenzen $v_i = 20$ mm/s

Objekt Nr. 8, Kreisstraße K 460

Objekt Nr. 10, Kreisstraße K 449

Die Kreisstraßen sowie alle anderen Straßen und Wege in der Umgebung des geplanten Neuaufschlusses sind aufgrund Ihrer Bauart nicht erschütterungsempfindlich und werden daher in der DIN 4150 nicht behandelt.



10.2 Erdverlegte Leitungen

Objekt Nr. 9 Erdgaspipelines der E.ON

Die beiden nördlich des geplanten Neuaufschlusses in einer Entfernung von ca. 260 m verlaufenden Erdgaspipelines der E.ON sowie die zur Versorgung und Entsorgung der umgebenden Bebauung vorhandenen erdverlegten Leitungen, wie Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen, sind gemäß Tabelle 3 der DIN 4150, Teil 3, „Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf erdverlegte Leitungen“ einzuordnen.

In der Tabelle 3 der DIN sind für Rohrleitungen für die verschiedenen Leitungsarten folgende maximale Anhaltswerte zugelassen:

- | | |
|----------|--|
| Zeile 1: | $v_i = 100 \text{ mm/s}$
(Stahl geschweißt) |
| Zeile 2: | $v_i = 80 \text{ mm/s}$
(Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Metall mit oder ohne Flansche) |
| Zeile 3: | $v_i = 50 \text{ mm/s}$
(Mauerwerk, Kunststoff) |

10.3 Wohngebäude

Objekt Nr. 1 Ortschaft Schupbach, nächstgelegene Wohnbebauung

Objekt Nr. 2 Wohnhaus am landwirtschaftlichen Anwesen an der K 449

Objekt Nr. 3 Ortschaft Eschenau, nächstgelegene Wohnbebauung

Objekt Nr. 5 Ortschaft Niedertiefenbach, nächstgelegene Wohnbebauung

Objekt Nr. 6 Wohnbebauung an der Klosterruine Beselich

Objekt Nr. 7 Wohnbebauung an der Wallfahrtskapelle Beselich

Die oben genannten Immissionsorte sowie sonstige Wohngebäude in den Außenbereichen und den umliegenden Ortschaften sind in die Zeilen 3 und 4 der Tabelle 1 der Norm DIN 4150, Teil 2, „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ einzuordnen.



Die Zeile 3 gilt für Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen, noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete § 7 BauNVO, Mischgebiete §6 BauNVO, Dorfgebiete § 5 BauNVO) und hat einen oberen Anhaltswert von $A_o = 5$.

Die Zeile 4 gilt für Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2) und hat einen oberen Anhaltswert von $A_o = 3$.

Für selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen lässt die DIN 4150, Teil 2, aufgrund von Punkt 6.5.1 der DIN, Quellenspezifische Regelungen, jedoch einen oberen Anhaltswert von

$$A_o \leq 6$$

zu. Nähere Erläuterungen hierzu finden sich unter Punkt 9.2.1 in diesem Gutachten.

Für die Ermittlung der KB_{Fmax} -Werte wird eine c_F -Konstante von 0,8 zu Grunde gelegt, für Einzelereignisse kurzer Dauer, Schwingungen mit Resonanzbeteiligung. Nähere Erläuterungen hierzu finden sich unter Punkt 9.2 in diesem Gutachten.

Die Gebäude selbst sind gemäß der Zeile 2 der Tabelle 1 der Norm DIN 4150, Teil 3, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen" als Wohngebäude einzuordnen. Hier sind folgende Werte zugelassen:

Am Fundament bei Frequenzen:

$$< 10 \text{ Hz } v_i = 5 \text{ mm/s}$$

$$10 - 50 \text{ Hz } v_i = 5-15 \text{ mm/s}$$

$$50-100 \text{ Hz } v_i = 15-20 \text{ mm/s}$$

In der Deckenebene des obersten Vollgeschosses in horizontaler Messrichtung:

$$\text{bei allen Frequenzen } v_i = 15 \text{ mm/s}$$

In der Deckenmitte des obersten Vollgeschosses in vertikaler Messrichtung:

$$\text{bei allen Frequenzen } v_i = 20 \text{ mm/s}$$



11.0 Erschütterungsmessungen

Als Datengrundlagen zur Ermittlung einer geeigneten Prognoseformel zur Erschütterungsausbreitung wurden Erschütterungsmessungen, die vom Steinbruchbetrieb am derzeit zum Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“ nächstgelegenen Gebäude durchgeführt wurden, ausgewertet (siehe Abb. 2). Die Messungen stammen aus den Jahren 2005 bis 2013. Insgesamt wurden 24 Datensätze ausgewertet.

Anhand der Ergebnisse dieser Erschütterungsmessungen und auf Basis einer geeigneten und gebräuchlichen Prognoseformel wird im weiteren Verlauf eine Erschütterungsprognose über die zu erwartenden Erschütterungen an der angrenzenden Bebauung und den anderen schützenswerten Anlagen erstellt.

11.1 Beschreibung der Messstelle

Landwirtschaftliches Anwesen Harald und Helga Schneider, „Lerchenhof“, 65594 Runkel-Hofen, bestehend aus dem Wohngebäude sowie mehreren Nebengebäuden. Entfernung zu den Sprengstellen: ca. 645 m - 670 m



Abb. 4 Wohnhaus Schneider, „Lerchenhof“, 65594 Runkel-Hofen



11.2 Erschütterungsmessergebnisse

Datum Nr.	Uhrzeit	Entfernung (m)	Lademenge (kg)	gemessene Werte	
				v_{\max} (mm/s)	Frequ. (Hz)
02.06.2005	14:13	670	45	0,3	6
11.07.2005	11:31	665	75	0,9	6
25.07.2005	12:10	660	80	0,6	7
11.08.2005	10:56	655	80	0,4	4
22.08.2005	12:47	655	85	0,6	6
07.07.2006	11:24	660	90	1,0	6
10.11.2006	12:50	650	80	1,3	4
11.01.2007	11:09	650	65	0,8	7
28.08.2007	15:13	660	75	0,6	7
17.03.2011	14:27	665	90	1,2	6
31.03.2011	13:40	670	105	1,3	7
28.04.2011	13:17	660	102	1,2	14
16.05.2011	13:39	660	83	0,9	15
14.06.2011	13:32	670	85	1,0	14
11.07.2011	11:36	665	100	1,0	6
15.07.2011	13:34	650	110	1,4	5
19.07.2011	12:32	670	95	0,9	6
12.08.2011	12:04	660	85	0,7	15
17.08.2011	15:00	670	160	1,3	4
30.08.2011	14:02	665	95	0,7	7
05.09.2011	13:40	645	111	1,7	8
14.01.2013	12:07	645	121	1,5	7
22.01.2013	12:20	645	105	0,9	17
13.03.2013	14:31	645	90	1,5	7

Tab. 2 Ergebnisse der betrieblichen Messungen



12.0 Grundlagen der Erschütterungsprognose

Anhand der Ergebnisse der oben dargestellten Erschütterungsmessungen und auf der Basis einer geeigneten und gebräuchlichen Prognoseformel wird im Folgenden eine Erschütterungsprognose über die zu erwartenden Erschütterungen an der angrenzenden Bebauung und den anderen schützenswerten Objekten erstellt.

Aus einer Prognoseberechnung mit der Abstands-Mengen-Beziehung nach der BGR-Formel (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), die aufgrund von mehreren Tausend Messungen aufgestellt wurde, lassen sich die zu erwartenden Sprengerschütterungen an den Fundamenten der Wohnbebauung und den anderen schützenswerten Objekten ausreichend genau ermitteln.

Diese Prognoseformel wird auch in der DIN 4150 Teil 1 vom Juni 2001 für die Prognose von Sprengerschütterungen genannt.

BGR-Formel

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

Hierin sind:

v_i : max. Schwinggeschwindigkeit (mm/s)

L : Sprengstofflademenge/Zündzeitstufe

L_0 : 1 kg (Bezugsgröße)

R : Abstand schützenswertes Objekt vom Sprengort

R_0 : 1 m (Bezugsgröße)

k : Vorfaktor

b : Koeffizient der Lademenge

m : Koeffizient der Entfernung

Die empirisch ermittelten Parameter k , b und m werden im Freifeld für Sedimentgesteine wie folgt angegeben:

$$k = 969$$

$$b = 0,59$$

$$m = 1,52$$



Für den Übergang von Sprengerschütterungen im Freifeld auf ein Bauwerk wird üblicherweise ein Übertragungsfaktor Freifeld - Bauwerksfundament von 0,5 berücksichtigt (siehe Literatur: Nobel Hefte 2/79, Böttcher, Lüdeling, Wüstenhage, Übertragungsfaktoren Freifeld zu Bauwerksfundamenten: $\ddot{u} = 0,2 - 0,9$ und Ratgeber Erschütterungen Dr. P. Lichte, Sprengerschütterungen Erschütterungsprognosen frequenzabhängig $V_F = \text{ca. } 0,5$).

Die Streuung der bei den Sprengungen entstehenden tatsächlichen Erschütterungen um die rechnerisch gemäß der Ausgleichsfunktion nach BGR ermittelten Erschütterungswerte wird mit einem Faktor

$$s = 4,0$$

berücksichtigt.

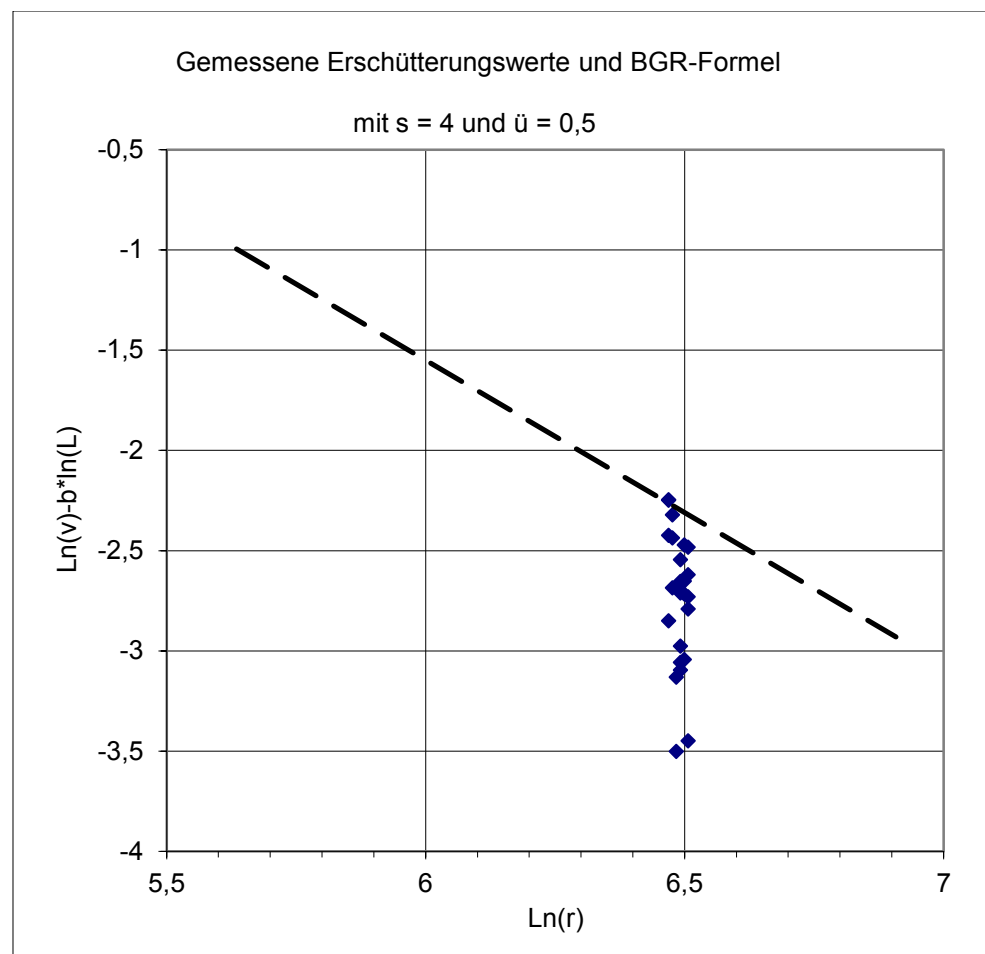


Abb. 5 Gewählte Ausbreitungsfunktion (gestrichelte Linie) und gemessene Erschütterungen (Punkte)



In der obigen Abbildung sind die Erschütterungsmessergebnisse der betrieblichen Messungen als Punkte aufgetragen. Die gestrichelte Linie stellt die ermittelte Ausbreitungsfunktion gemäß der angepassten BGR-Formel dar, nach der im Folgenden die Erschütterungen prognostiziert werden.

Der Vergleich der betrieblichen Messungen mit der im Folgenden verwendeten Prognoseformel zeigt, dass die zu erwartenden Erschütterungen mit hoher Wahrscheinlichkeit unterhalb der Prognoseansätze liegen werden.

Für die folgenden Rechnungen wurde daher der Streufaktor $s = 4$ gesetzt und für den Übergang vom Freifeld auf ein Gebäudefundament ein Übertragungsfaktor Freifeld - Bauwerksfundament von 0,5 berücksichtigt. Im Weiteren wird somit mit den folgenden Prognoseformeln gerechnet:

$$v_i = s * \ddot{u} * k * L^b * R^{-m}$$

$$v_i = 4,0 * 0,5 * 969 * L^{0,59} * R^{-1,52}$$



13.0 Erschütterungsprognose

Um die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden beurteilen zu können, sind die Erschütterungen der Gebäude im obersten Vollgeschoss an der Außenwand und auf der obersten Deckenebene zu ermitteln. Erfahrungsgemäß werden die an den Gebäudefundamenten auftretenden Erschütterungen aufgrund der dynamischen Eigenschaften der Gebäude nach oben hin überhöht.

Diese Überhöhungen betragen erfahrungsgemäß in horizontaler Richtung (Fundament – Außenwand im OG) das 2 - 3fache des Fundamentwertes und in vertikaler Richtung (Fundament – Deckenmitte im OG) das 3 - 4fache des Fundamentwertes.

Für die folgende Prognose werden Überhöhungsfaktoren von

$\ddot{U}_F = 3,0$ in horizontaler Richtung und

$\ddot{U}_F = 4,0$ in vertikaler Richtung

angenommen.

Da der $KB_{F_{max}}$ -Wert - wenn auch nur in geringem Maße - frequenzabhängig ist, wurde er jeweils für eine Frequenz von 15 Hz und bei einem c_F -Wert von 0,8 bestimmt.

Als zulässiger Fundamentanhaltswert für die Gebäude wurde in der Prognose für alle Entfernungen ein Wert für die ungünstigsten Frequenzen (unter 10 Hz) mit $v_{max} = 5$ mm/s angesetzt. Für das Obergeschoss wurde die Prognose für die Vertikalschwingung in der Deckenmitte durchgeführt.

Für die Bebauung in der Nachbarschaft des geplanten Neuaufschlusses werden in der folgenden Tabelle für Entfernungen von 500 m bis 1150 m und für eine maximale Lademenge von 80 kg je Zündzeit die zu erwartenden Erschütterungen prognostiziert:



Entfernung (m)	Lademenge je Zünd- zeitstufe (kg)	v_{\max} am Fundament (mm/s)	v_{\max} im OG Aussen- wand (mm/s)	v_{\max} im OG Decken- mitte (mm/s)	$KB_{F_{\max}}$ im OG zul. $A_o = 6^*$
500	80	2,03	6,09	8,12	4,31
520	80	1,91	5,74	7,65	4,06
540	80	1,81	5,42	7,23	3,83
560	80	1,71	5,13	6,84	3,62
580	80	1,62	4,86	6,48	3,44
600	80	1,54	4,62	6,16	3,26
620	80	1,46	4,39	5,86	3,10
640	80	1,40	4,19	5,58	2,96
660	80	1,33	4,00	5,33	2,82
680	80	1,27	3,82	5,09	2,70
700	80	1,22	3,65	4,87	2,58
720	80	1,17	3,50	4,67	2,47
740	80	1,12	3,36	4,48	2,37
760	80	1,07	3,22	4,30	2,28
780	80	1,03	3,10	4,13	2,19
800	80	0,99	2,98	3,98	2,11
820	80	0,96	2,87	3,83	2,03
840	80	0,92	2,77	3,69	1,96
860	80	0,89	2,67	3,56	1,89
880	80	0,86	2,58	3,44	1,82
900	80	0,83	2,49	3,32	1,76
920	80	0,80	2,41	3,22	1,70
940	80	0,78	2,33	3,11	1,65
960	80	0,75	2,26	3,01	1,60
980	80	0,73	2,19	2,92	1,55
1000	80	0,71	2,12	2,83	1,50
1100	80	0,61	1,84	2,45	1,30
1150	80	0,57	1,72	2,29	1,21

Tab. 3 Lademengen-Abstandstabelle



In der folgenden Tabelle 4 sind die prognostizierten Erschütterungswerte für die in Tabelle 1 aufgelisteten Gebäude in der Umgebung des geplanten Neuaufschlusses „Hengen“ dargestellt. Dabei wurde eine Obergrenze von 80 kg je Zündzeit bei der geringsten Entfernung zu Grunde gelegt.

Objekt	Lademenge (kg)	Entf. (m)	Fundament		Obergeschoss*		Obergeschoss	
			zul. (mm/s)	Progn. (mm/s)	zul. (mm/s)	Progn. (mm/s)	zul. (mm/s)	Progn. (mm/s)
Nr. 1 Schupbach Wohnbebauung	80	780	5,0	1,03	20,0	4,13	6,0	2,19
Nr. 2 Landwirtschaftl. Anw. an der K 449	80	840	5,0	0,92	20,0	3,69	6,0	1,96
Nr. 3 Eschenau Wohnbebauung	80	920	5,0	0,80	20,0	3,22	6,0	1,70
Nr. 5 Niederetiefenbach Wohnbebauung	80	980	5,0	0,73	20,0	2,92	6,0	1,55
Nr. 6 Ruine Beselich Klosterhof	80	1.050	5,0	0,66	20,0	2,63	6,0	1,39
Nr. 7 Beselich Wallfahrtskapelle	80	1.000	5,0	0,71	20,0	2,83	6,0	1,50
Nr. 9 Erdgaspipelines der E.ON	80	260	50**	10,98	-	-	-	-

* Deckenmitte

** Bei Annahme des ungünstigsten Rohrmaterials

Tab. 4 Erschütterungsprognose für die nächstgelegenen Bauten aus Tab. 1

14.0 Beurteilung

14.1 Wohngebäude

Die Wohnbebauung mit der geringsten Entfernung zu der östlichen Erstreckung des geplanten Neuaufschlusses „Hengen“ ist die nächstgelegene Bebauung am westlichen Ortsrand von Schupbach, die eine minimale Entfernung von ca. 780 m zu den geplanten Sprengstellen hat.



DIN 4150, Teil 2, „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“

Bei einer Entfernung von ca. 780 m und einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von 80 kg wird der Anhaltswert $A_0 = 6$ der DIN 4150 Teil 2, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Tabelle 1, Zeile 1 nach Pkt. 6.5.1, quellenspezifische Regelungen für kurzzeitige Erschütterungen, an der nächstgelegenen Wohnbebauung in Schupbach mit einem prognostizierten Wert von $KB_{F_{max}} = 2,19$ mit hoher Sicherheit eingehalten.

Der zulässige Anhaltswert wird damit auch an allen anderen weiter entfernt gelegenen benachbarten Wohnhäusern eingehalten. Eine wesentliche Belästigung der Anwohner, verursacht durch die auftretenden Sprengerschütterungen bei Sprengungen im geplanten Neuaufschluss ist laut DIN 4150 Teil 2 nicht gegeben.

DIN 4150, Teil 3, „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“

Der zulässige Anhaltswert der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, beträgt für die Fundamente der nächstgelegenen Wohnhäuser bei Frequenzen unter 10 Hz $v_i = 5$ mm/s.

Bei einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von 80 kg ergibt sich für die nächstgelegene Wohnbebauung in Schupbach in 780 m Entfernung eine maximale Fundamenterschütterung von $v_i = 1,03$ mm/s. Der für ungünstigste Frequenzen zulässige Anhaltswert von $v_i = 5$ mm/s wird zu 20,6 % erreicht und damit sicher eingehalten.

Der zulässige Anhaltswert der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, beträgt für die Deckenebene des obersten Vollgeschosses in horizontaler Messrichtung bei allen Frequenzen $v_i = 15$ mm/s und wird in 780 m Entfernung und bei einer Lademenge von 80 kg in der nächstgelegenen Wohnbebauung in Schupbach bei einem prognostizierten maximalen Erschütterungswert von $v_i = 3,10$ mm/s zu ca. 20,7 % erreicht und damit sicher eingehalten.

Der zulässige Anhaltswert der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, beträgt für die Deckenebene des obersten Vollgeschosses in vertikaler Messrichtung bei allen Frequenzen $v_i = 20$ mm/s und wird in 780 m



Entfernung und bei einer Lademenge von 80 kg im nächstgelegenen Wohnhaus der Ortschaft Schupbach bei einem prognostizierten Erschütterungswert von $v_i = 4,13$ mm/s zu ca. 20,7 % erreicht und damit sicher eingehalten.

Wenn die zulässigen Anhaltswerte an der nächstgelegenen Bebauung unterschritten werden, kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass auch in allen anderen benachbarten Bebauungen die zulässigen Anhaltswerte der DIN 4150 eingehalten werden.

14.2 Gewerblich genutzte Bauwerke

DIN 4150, Teil 3, „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“

Gewerblich genutzte Gebäude

Der zulässige Anhaltswert der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, beträgt für die Fundamente der nächstgelegenen gewerblich genutzten Bauwerke bei Frequenzen unter 10 Hz $v_i = 20,0$ mm/s.

Da an den hier zu betrachtenden Ställen und Scheune stets auch Wohnbebauung vorhanden ist, sind hier die zulässigen Fundamentwerte für Wohngebäude von $v_i = 5,0$ mm/s bei Frequenzen unter 10 Hz einzuhalten. Daraus ergibt sich, dass an allen benachbarten Gebäuden die Anhaltswerte für gewerblich genutzte Bauwerke weit unterschritten werden.

Bei einer hier vorgegebenen maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von 80 kg ergibt sich für gewerblich genutzte Bauwerke in 780 m Entfernung eine maximale Fundamenterschütterung von $v_i = 1,03$ mm/s. Der für ungünstigste Frequenzen zulässige Anhaltswert von $v_i = 20,0$ mm/s wird zu ca. 5,2 % erreicht und damit sicher eingehalten.

Pipelines der E.ON

Der zulässige Anhaltswert der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, beträgt für erdverlegte Rohrleitungen mind. $v_i = 50,00$ mm/s. Bei einer prognostizierten Erschütterung von maximal $v_i = 10,98$ mm/s wird dieser Anhaltswert zu ca. 22,0 % erreicht und damit sicher eingehalten.



14.3 Sicherheit der Prognose

Für diese Prognose wurde von ungünstigen Annahmen ausgegangen. Dieses betrifft den Sicherheitsfaktor in der Prognoseformel nach BGR, den zu Grunde gelegten c_F - Wert und den Überhöhungsfaktor vom Fundament zum Obergeschoss. Durch die Multiplikation dieser jeweils ungünstig angenommenen Faktoren ergeben sich in der Prognose sehr hohe Erschütterungswerte, die in der Praxis - wenn überhaupt - nur in den seltensten Fällen erreicht werden.

Obwohl für die Prognose pessimale Ansätze gewählt wurden, liegen dennoch die für die nächstgelegene Wohnbebauung prognostizierten Werte nicht nur unterhalb der Anhaltswerte für Wohngebäude, sondern auch noch deutlich im Bereich der zulässigen Anhaltswerte der Zeile 3 der DIN 4150 Teil 3, Einwirkungen auf bauliche Anlagen für besonders erschütterungsempfindliche und besonders erhaltenswerte, z.B. denkmalgeschützte, Anlagen.

Sollte daher später beim Abbau durch Messung der tatsächlich auftretenden Erschütterungen belegt werden, dass die Erschütterungen dauerhaft niedriger sind als hier prognostiziert, bestehen aus gutachtlicher Sicht keine Bedenken, die Sprengstofflademengen je Zündzeitstufe entsprechend zu vergrößern.



15.0 Zusammenfassung

Die Firma SCHAEFER KALK plant am Werk Steeden für die Abgrabung von Kalkstein den Neuaufschluss des Steinbruchs „Hengen“ als Folgebetrieb für den auslaufenden Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“.

In dieser Stellungnahme wird die geplante Sprengarbeit beschrieben und es werden eine Erschütterungsprognose und Lademengen-Abstandstabellen erstellt, um sicherzustellen, dass bei den vorzunehmenden Sprengungen im geplanten Neuaufschluss die zulässigen Erschütterungswert an und in der gesamten Nachbarbebauung des Steinbruchs eingehalten werden. Des Weiteren werden Vorgaben gemacht, um Steinflug über den Absperrbereich hinaus auszuschließen.

Grundlage der Erschütterungsprognose sind Erschütterungsmessungen, die vom Steinbruchbetrieb am derzeit zum Steinbruch „Schneelsberg Nord-Ost“ nächstgelegenen Gebäude durchgeführt wurden sowie eine von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe entwickelte Prognoseformel.

Bei den hier prognostizierten Sprengerschütterungen können gemäß den Anhaltswerten der DIN 4150 keine Schäden an der benachbarten Bebauung verursacht werden. Dies gilt auch für alle weiteren Gebäude und Anlagen im weiteren Einwirkungsbereich des geplanten Neuaufschlusses, soweit sie mir genannt wurden oder bekannt sind.

Werden die oben genannten Auflagen eingehalten, ist eine wesentliche Belästigung in Sinne der DIN 4150 für die Anwohner im Einwirkungsbereich des geplanten Neuaufschlusses des Steinbruchs „Hengen“ der Firma SCHAEFER Kalk mit hoher Sicherheit auszuschließen.



16.0 Schlussbemerkung

Dieses spreng- und erschütterungstechnische Gutachten habe ich in meiner Eigenschaft als unabhängiger, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger nach bestem Wissen und Gewissen und nach dem mir bekannten Stand der Dinge und der Technik erstellt.

Abhängigkeiten zu den an der Planung und Durchführung beteiligten Personen, Dienststellen und Firmen, sowie den Eigentümern und Nutzern der angrenzenden Gebäude und Anlagen, bestehen nicht.



Dortmund, den 05.03.2018

Josef Hellmann

Anlagen



Anlage 1

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A _u	A _o	A _r	A _u	A _o	A _r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.



Anlage 2

DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“, Teil 3, „Einwirkungen auf bauliche Anlagen“, Tabelle 1, „Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke“

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

Zeile	Leitungsbaustoffe	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s auf der Rohrleitung
1	Stahl, geschweißt	100
2	Steinzeug, Beton, Stahlbeton, Spannbeton, Metall mit und ohne Flanschen	80
3	Mauerwerk, Kunststoff	50