

BAU-UNION GmbH & Co. Vereinigte Schotterwerke KG

BImSchG-Antrag auf Steinbrucherweiterung Ettenberg – Technische Planung

Anlagen

Anlage 2:

Spreng- und erschütterungstechnisches Gutachten



BÜRO FÜR GEOPHYSIK DR. JÜRGEN WIECK MESSUNGEN BERATUNGEN

SEILERBAHN 11 D-72666 NECKARTAILFINGEN TELEFON 0 71 27/3 11 47 MOBIL 0172 /9 38 20 17 FAX 0 71 27/2 22 75

jwieck@arcor.de

E-MAIL

AUFTRAG: SPRENG- UND ERSCHÜTTERUNGSTECH-

NISCHES GUTACHTEN FÜR DIE GEPLANTE ERWEITERUNG DES STEINBRUCHS DER

FA. BAU-UNION 78658 HORGEN.

AUFTRAGGEBER: FA.

BAU-UNION GMBH & CO.

VEREINIGTE SCHOTTERWERKE KG

FLÖZLINGER STRASSE 36

78658 ZIMMERN - HORGEN

DATUM:

2.6.2021

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUF	GABENSTELLUNG	S.	3
2	ERV	RWEITERUNGSFLÄCHE		
3	ABE	ABBAUPLANUNG		
4	SPF	RENGENDES GEWINNEN	S.	5
	4.1	SPRENGPARAMETER	S.	5
	4.2	ALLGEMEINE ZUSAMMENHÄNGE	S.	8
	4.3	BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN	S.	9
		4.3.1 Erschütterungen	S.	10
		4.3.2 Auswertung der Erschütterungsmessungen	S.	10
		4.3.2.1 Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden	S.	14
		4.3.2.2 Einwirkungen auf Bauwerke	S.	18
		4.3.2.2.1 Einwirkungen auf die Gebäude des INKOM	S.	19
		4.3.2.2.2 Einwirkungen auf gewerblich genutzte Bauten	S.	21
		4.3.2.2.3 Einwirkungen auf die Straßen	S.	22
		4.3.2.2.3.1 Kreisstraße K 5541 und Römerstraße	S.	22
		4.3.2.2.3.2 Autobahn A 81	S.	23
	4.4	STEINFLUG	S.	23
		4.4.1 Regelbetrieb	S.	23
		4.4.2 Reduzierter Betrieb	S.	26
	4.5	ELEKTRISCHE ZÜNDUNG	S.	26
5	MEI	SSELNDES GEWINNEN	S.	27
	5.1	BEURTEILUNG	S.	28
	5.2	FINWIRKLINGEN ALIF DIE GERÄLIDE	S	29

	5.3 EINWIRKUNGEN AUF MENSCHEN IN GEBÄUDEN	S. 29
	5.3.1 Einsatz eines Baggers	S. 29
	5.3.2 Einsatz von 2 Baggern	S. 30
6	LÄRM	S. 31
7	STAUB	S. 31
8	ZUSAMMENFASSUNG	S. 31

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Fa. Bau-Union GmbH beantragt die Erweiterung ihres Steinbruchs in Horgen.

Das dort anstehende Kalkgestein kann am Effektivsten durch Sprengungen gelöst werden.

Dazu ist die Ausarbeitung eines spreng- und erschütterungstechnischen Gutachtens erforderlich.

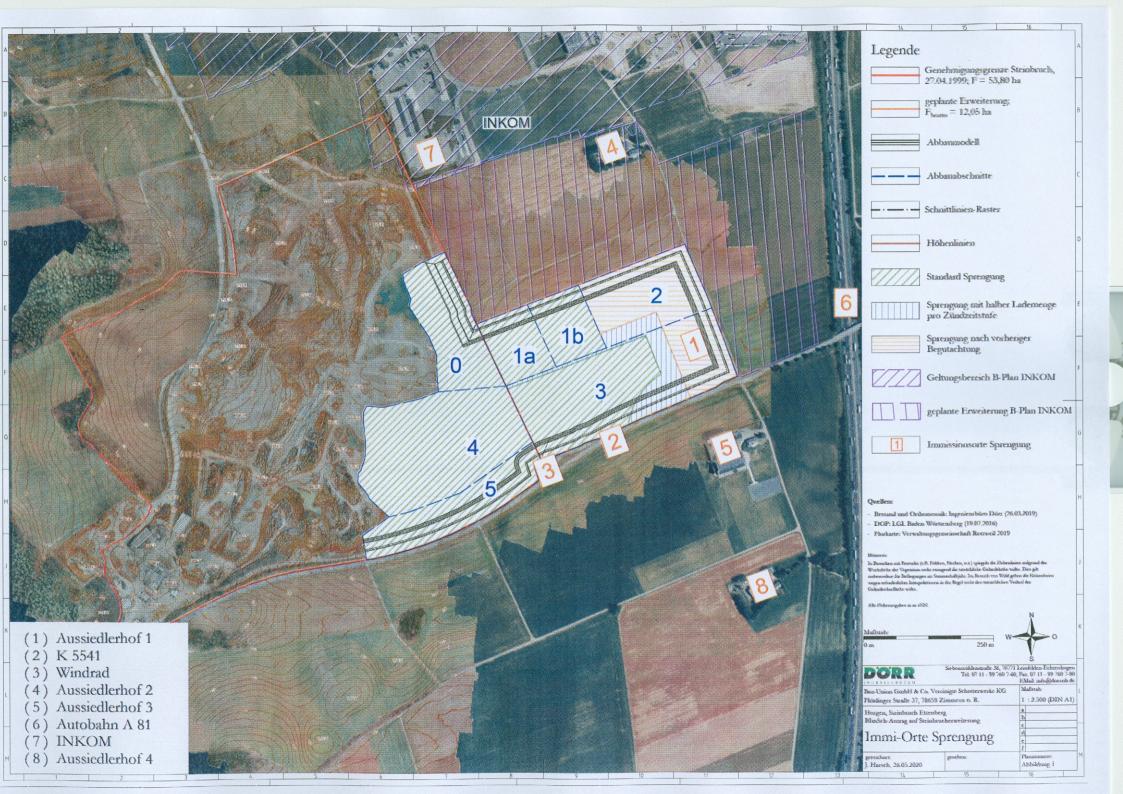
Da alternativ zum Sprengen auch das Lösen des Gesteins durch Meißelbagger beantragt wird, werden auch Erschütterungen aus diesem Vorgang mit betrachtet.

2 ERWEITERUNGSFLÄCHE

In der Abb. 1 ist in dem Lageplan die Erweiterungsfläche als grün beschrifteten Abbauabschnitte 1a, 1b, 2 und 3 eingetragen. Sie erschließt ein Gebiet im Osten des bestehenden Steinbruchs.

Der Abbau folgt in der Reihenfolge den Nummerierungen in der Abb. 1. Also erst in der nördlichen Hälfte der Erweiterungsfläche über die Abbaustufen 1a, 1b und 2 von Westen nach Osten. Dann folgt Abbauabschnitt 3, im Osten mit einem Abbau zunächst von Norden nach Süden und dann von Osten nach Westen. Anschließend, wieder in der bestehenden Genehmigung, in der südlichen Hälfte in den Abbauabschnitten 4 und 5 wieder vorrangig von Norden nach Süden.

Ebenfalls aufgeführt sind die Immissionsorte (1-8). Da von einem stehen bleibenden, mindestens 10 m breiten Randstreifen innerhalb der Erweiterungsflächen ausgegangen wird, sind die Entfernungen gegenüber der Begrenzung um 10 m erhöht.



3 ABBAUPLANUNG

Zum Abbau gelangt eine etwa 35 m bis etwa 65 m mächtige Gesteinsschicht aus Dolomit (oben) und Kalkstein (unten). Diese soll durch Sprengungen gelöst werden. Der darüber liegende, geringmächtige Abraum kann ohne Sprengungen abgetragen werden.

Das abzubauende Gesteinspaket soll in bis zu 3 Stufen mit Mächtigkeiten von 17 m im Dolomit und 20 m im Kalk gewonnen werden. Im Bereich der blauen bzw. orangenen Flächen in der Abbildung 1 wird die Abbauhöhe bei sprengender Gewinnung nur 10 m betragen.

Diese Reduzierung der Wandhöhen im Sprengbetrieb ergibt sich, wie sich später zeigt, aus der Annäherung des Abbaus an bestehende und geplante Gebäude u.ä..

Für den Fall, dass eine Gesteinsgewinnung mittels Sprengungen auf Grund der Annäherung an bestehende Gebäude nicht mehr möglich ist, soll Gestein mittels Meißelbaggern gewonnen werden. Der Abtrag erfolgt dabei sukzessive schichtweise von oben nach unten.

4 SPRENGENDES GEWINNEN

4.1 SPRENGPARAMETER

Für den Abbau des Kalksteins werden maximale Sprengparameter für den Regelbetrieb angegeben, die sich beim Abbau im bisherigen Steinbruch bewährt haben. In der Abb. 1 sind diese Flächen grün dargestellt.

Mit fortschreitendem Abbau wird es notwendig werden die Sprengparameter anzupassen, das heißt, diese zu reduzieren. Dies betrifft in der Abb. 1 die blau bzw. orange markierten Bereiche.

Der den Berechnungen zugrunde gelegte spezifische Sprengstoffaufwand ist ein Erfahrungswert aus den bisherigen Sprengungen in diesem Steinbruch.

Für den Abbau des Gesteins sind Großbohrlochsprengungen mit einer maximalen Wandhöhe von 20 m als Einreihensprengungen vorgesehen. Die dabei einzusetzenden maximalen Sprengparameter für den Regelbetrieb und für einen reduzierten Betrieb mit einer Wandhöhe von 10 m sind in der Tabelle I angegeben.

TABELLE I

Maximale Sprengparameter; Regelbetrieb; reduzierter Betrieb

	Regelbetrieb	Reduzierter Betrieb
	Einreihen- sprengungen	Einreihen- sprengungen
Wandhöhe (senkrecht)	20,0 m	10 m
Bohrlochneigung	ca. 85°	85 °
Unterbohren am Wandfuß	0,0 m	0,0 m
Bohrlochtiefe (geneigt)	20,1 m	10,1 m
Bohrlochvorgabe	4,0 m	4,0m
Bohrlochabstand	3,5 m	3,5 m
Bohrlochdurchmesser	92 mm	92 mm
Abgesprengtes Gesteinsvolumen je Bohrloch	280 m³	140 m³
Abgesprengtes Gesteinsvolumen je Zündzeitstufe	140 m³	70 m³
Spezifischer Sprengstoff- aufwand	ca. 265 g/m³	ca. 265 g/m³
Lademenge je Bohrloch L	75 kg	37 kg
Lademenge je Zündzeitstufe L _{ZZst}	37 kg	18,5 kg
Anzahl der Bohrlöcher	10	10

Gesamtlademenge	750 kg	370 kg
Zündung: Kurzzeitzünder Klasse II (U, 25 Millisekunden oder gleichwertige),	Klasse II	Klasse II
Endbesatz	3,5 m	3,5 m
Zwischenbesatz	nach Bedarf	nach Bedarf

Es können alle von der BAM zugelassenen Gesteinssprengstoffe eingesetzt werden.

Bei einer Sprengung sind Kurzzeitzünder der Klasse II (oder höher) (U-Zünder, Millisekundenzünder 25 ms / 47 ms, oder gleichwertige nichtelektrische) mit aufeinander folgenden Zeitstufen zulässig.

Zur Reduzierung der Erschütterungen wird bei beiden Betriebsarten die Ladesäule geteilt (halbiert) und jede Teilladung mit einer unterschiedlichen Zeitstufe initiiert.

Dabei ist die zeitliche Abfolge der Zündzeiten so, dass in jedem Bohrloch die obere Teilladung jeweils vor der unteren gezündet wird.

Bei den Sprengarbeiten sind die Regelungen der SprengTR 310 zu beachten.

Bei Sprengungen mit zwei freien Seiten (nach vorne und zu einer Seite) beginnt die Zündung in dem Bohrloch zur zweiten freien Seite hin.

Bei nur einer freien Seite (nach vorne) kann zum Beispiel durch ein Vorloch etwa in der Mitte der Sprenganlage und genau in der Mitte zwischen zwei Bohrlöchern und fortfolgender Zündung nach beiden Seiten alternierend, die Gebirgsverspannung besser gelöst werden. Dabei müssen die Lademengen in dem Vorloch und in den beiden anschließenden Bohrlöchern durch die Einbringung von Zwischenbesatz entsprechend reduziert werden. Die

Gesamtlademenge in den 3 Bohrlöchern sollte etwa der Lademenge in 2 'normalen' Bohrlöchern entsprechen.

Es sind auch ähnliche, gleichwertige Methoden zur "Wanderöffnung" möglich.

Generell ist bei Sprengungen aus dem Zwang exakt zu bestimmen, welches Volumen mit jedem Bohrloch zu lösen ist. Dies ist durch eine Wandvermessung, die vor jeder Sprengung durchgeführt wird, gewährleistet.

Abhängig davon ist über den optimalen Sprengstoffaufwand je m³ (ermittelt aus den Sprengungen in diesem Steinbruch) die Lademenge je Bohrloch zu bestimmen.

4.2 ALLGEMEINE ZUSAMMENHÄNGE

Die spezifischen Sprengstoffaufwendungen sind Erfahrungswerte aus diesem Steinbruch. Es kann aber erforderlich werden, sie je nach zu sprengendem Gesteinsverband und Sprengergebnis den lokalen Gegebenheiten anzupassen.

Wenn der zu sprengende Fels schon stark vorzerklüftet ist, muss der spezifische Sprengstoffaufwand deutlich reduziert werden. Auf der anderen Seite können relativ kompakt abgelagerte und kaum vorzerrüttete Schichten eine Erhöhung des Sprengstoffeinsatzes erfordern.

Bei einer Änderung der geometrischen Sprengparameter (Vorgabe, Abstand, Tiefe) ist die jeweils eingebrachte Sprengstoffmenge ebenfalls so zu ändern, dass der bis dahin ermittelte optimale spezifische Sprengstoffaufwand erhalten bleibt.

Für die Größe der Sprengemissionen ist im Wesentlichen die je Zündzeitstufe zur Detonation gebrachte Lademenge L_{Zzst} (und damit über den spezifischen Sprengstoffaufwand auch das sprengtechnisch gelöste Gesteinsvolumen V_{Zzst}) maßgebend. Wenn diese Lademenge optimiert ist, (abhängig von der

Gesteinsformation und von dem je L_{Zzst} zu lösenden Gesteinsvolumen V_{Zzst}) erhält man sowohl ein gutes Sprengergebnis, als auch minimale Sprengimmissionen. Eine Überladung führt zu keinen höheren Erschütterungen, erhöht aber die Steinfluggefahr.

Eine Unterladung hat dagegen höhere Erschütterungen zur Folge. Da dabei zu wenig Energie zur ausreichenden Gesteinszertrümmerung vorliegt, wird ein Großteil des eingebrachten Sprengstoffs in Erschütterungsenergie umgesetzt. Gleichzeitig erhält man ein unbefriedigendes Sprengergebnis. Im Extremfall bleibt die Steinbruchwand komplett stehen.

Es gibt demnach keinen wirtschaftlichen Grund, von den bewährten Sprengparametern abzuweichen.

4.3 BEURTEILUNGSGRUNDLAGEN

Für die Beurteilung dieser Erschütterungen sind die DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen", und die daraus abgeleiteten "Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungsimmissionen: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz"; Stand 6.3.2018 maßgebend. Dort werden verschiedene "Anhaltswerte" angegeben. Bei deren Einhaltung ist davon auszugehen, dass die Erschütterungen zu keinen negativen Einwirkungen in der Umgebung führen.

Grundlage ist dabei jeweils die maximale Einzelschwinggeschwindigkeit v_i (größte Einzelkomponente von \hat{v}_x , \hat{v}_y , und \hat{v}_z , gemessen in mm/s) an einem Messpunkt.

4.3.1 Erschütterungen

Mit jeder Sprengung ist zwangsläufig die Anregung von Umgebungsschwingungen verbunden, die als Erschütterungen wahrgenommen werden. Diese hängen vor allem von der je Zündzeitstufe zur Detonation gebrachten maximalen Sprengstoffmenge L_{Zzst} (bzw. dem dadurch abgesprengten Gesteinsvolumen V_{Zzst}) und der Entfernung r der Sprengstelle zu einem gefährdeten Objekt ab.

Erfahrungsgemäß wird bei Steinbruchsprengungen im Kalkstein von folgendem Zusammenhang ausgegangen (Lüdeling, Hinzen; "Erschütterungsprognose und Erschütterungskataster - Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Sprengerschütterungen"; Untersuchungen durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Nobel-Hefte, April-September 1986):

(I)
$$\hat{V}_F = k \times L_{7751}^{0.60} \times r^{-1.50}$$

v_F: Maximale Einzelschwinggeschwindig keit an einem Gebäudefundament in mm/s.

L_{Zzst}: Maximale Lademenge je Zündzeit stufe in kg.

r: Entfernung in m.

k: Lokaler Faktor

Unabhängig von der Art der zugelassenen Gesteinssprengstoffe wird hier die maximale Lademenge je Zündzeitstufe L_{ZZst} zugrunde gelegt.

4.3.2 Auswertung der Erschütterungsmessungen

Im Jahr 2018 wurden bei 82 Sprengungen die Erschütterungen an verschiedenen Gebäudefundamenten in dem angrenzenden Industriegebiet gemessen (Fa. Rampf, Fa. Müller, Fa. Fristo).

Da sehr unterschiedliche Lademengen je Zündzeitstufe, unterschiedliche Entfernungen und unterschiedliche Gebäude zusammengefasst sind, bietet sich hier eine statistische Auswertung an.

In der Abb. 2 ist die Häufigkeitsverteilung der maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten an den Gebäudefundamenten eingetragen. Daraus lässt sich bei der Annahme einer Normalverteilung ein Mittelwert MW und eine Standartabweichung SA errechnen.

In der Abb. 3 wird entsprechend der Häufigkeitsverteilung die rote Kurve der Messungen mit einer Normalverteilung (blaue Kurve) verglichen.

Ein gute Übereinstimmung beider Kurven ist mit einer Normalverteilung mit:

Mittelwert MW = 0,67 mm/s Standartabweichung SA = 0,70 mm/s

zu erreichen.

Als Maximalwert wird im Allgemeinen konservativ der Wert bei der doppelten Standartabweichung (Eintrittswahrscheinlichkeit 98 %) angenommen:

Maximalwert = MW + 2 x SA
Maximalwert
$$\hat{\mathbf{v}}_{iF} = 2,1 \text{ mm/s}$$

Die Ausreißer $\hat{V}_i > 2,1$ mm/s sind auf stark abweichende Parameter (Entfernung r, Lademengen L) zurückzuführen.

Ausgehend von der Gleichung (I) kann bei Annahme einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von $L_{Zzst}=60~kg$ (bei den zugrunde liegenden Sprengungen war die maximale Lademenge $L_{ZZst}=60~kg$) und einer mittleren Entfernung der Sprengstellen zu den Messpunkten von r=300~m der k-Faktor bestimmt werden.

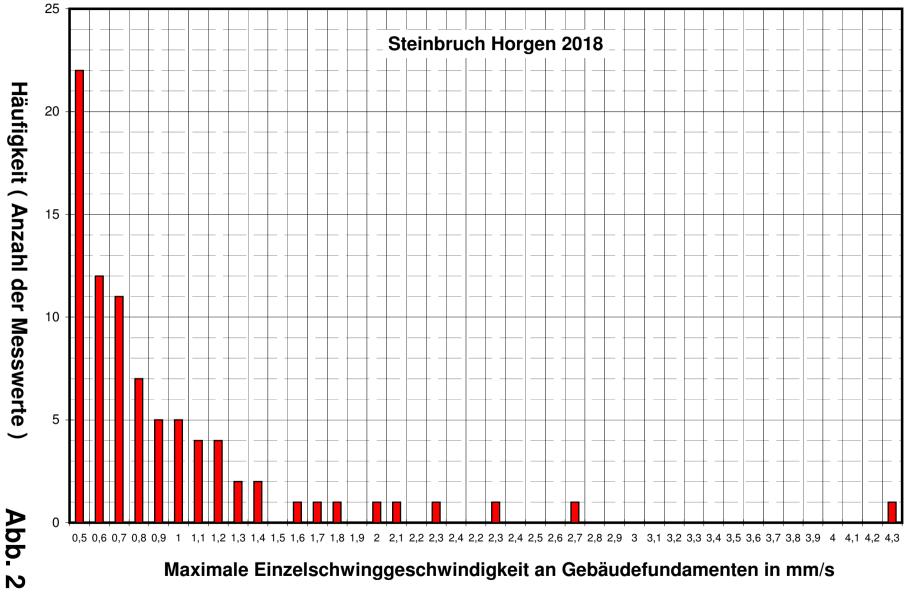
(I)
$$\hat{V}_F = k \times L_{Zzst}^{0,60} \times r^{-1,50}$$

v_F: Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Gebäudefundament in mm/s.

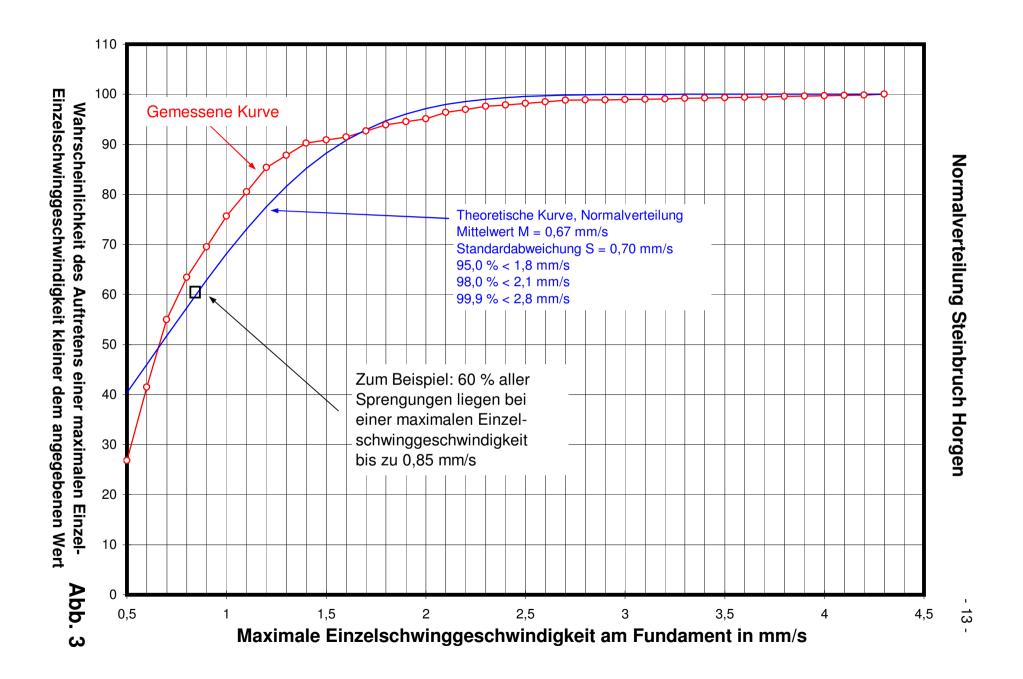
L_{Zzst}: Maximale Lademenge je Zünd-

r: Entfernung in m k: Lokaler Faktor





Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an Gebäudefundamenten in mm/s



(Ia)
$$\hat{V}_F = k \times 60^{0.60} \times 300^{-1.50}$$

 $k = 2.1 \times 60^{-0.60} \times 300^{1.50}$

Für die maximale Lademenge je Zündzeitstufe in der Entfernung r für die künftigen Sprengungen vereinfacht sich damit die maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Gebäudefundament zu:

$$\hat{V}_{iF} = 935 \times L_{Zzst}^{0,60} \times r^{-1,50} \qquad L_{Zzst} = 37 \text{ kg}$$

$$\hat{V}_{iF} = 935 \times 37^{0,60} \times r^{-1,50}$$
(1b)
$$\hat{V}_{iF} = 8160 \times r^{-1,50} \qquad \hat{V}_{iOG} = 24480 \times r^{-1,50}$$

Für die maximale Lademenge je Zündzeitstufe von $L_{ZZst} = 18,5$ kg ergibt sich folgende Rechnung:

$$\hat{V}_{iF} = 935 \times L_{Zzst}^{0.60} \times r^{-1,50} \qquad L_{Zzst} = 18,5 \text{ kg}$$

$$\hat{V}_{iF} = 935 \times 18,5^{0.60} \times r^{-1,50}$$

$$(1c) \quad \hat{V}_{iF} = 5380 \times r^{-1,50} \qquad \hat{V}_{iOG} = 16140 \times r^{-1,50}$$

Damit ist ein einfacher Zusammenhang zwischen der maximalen Einzelschwinggeschwindigkeit v_i und der Entfernung r eines Objektes hergestellt (bei gleicher Lademenge je Zündzeitstufe; $\hat{\mathbf{v}}_{iOG} = \mathbf{3} \times \hat{\mathbf{v}}_{iF}$).

4.3.2.1 Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Für die Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ist der Teil 2 der DIN 4150, Norm 1999: "Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden", entscheidend. Dort sind verschiedene Anhaltswerte A angegeben, bei deren Einhaltung keine erheblichen Belästigungen der Menschen in Gebäuden durch die Sprengerschütterungen auftreten.

Für selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen bis zu 3 Ereignissen je Tag, (z. B. Sprengerschütterungen), gilt die Anforderung als eingehalten, wenn die "Maximale Bewertete Schwingstärke KB^*_{Fmax} " kleiner einem "Oberen Anhaltswert A_o " ist. (KB^*_{Fmax} und A_O sind dimensionslos):

 KB^*_{Fmax} errechnet sich näherungsweise aus der maximalen Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Messpunkt \hat{V}_i nach:

(II)
$$KB_{Fmax}^* = 0.42 \times \hat{V}_{i}$$

Normalerweise nimmt die Größe der Erschütterungen in einem Gebäude mit der Gebäudehöhe zu.

Wenn keine direkten Messungen vorliegen, kann man bei "normalen" Gebäuden von einem Überhöhungsfaktor zwischen Fundament (\hat{v}_{iF}) und oberstem Obergeschoß (\hat{v}_{iOG}) um den Faktor 3 ausgehen:

(IIa)
$$\hat{v}_{iOG} = 3 \times \hat{v}_{iF}$$

Diese "Oberen Anhaltswerte A_{OG} " sind von der Einordnung der Baugebiete und dem zeitlichen Ablauf der Sprengungen abhängig.

Für Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (*"Reine oder Allgemeine Wohngebiete", WA*) liegt der Anhaltswert tagsüber (6:00 – 22:00 Uhr) bei:

Wenn nur ein Ereignis pro Tag, werktags, mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen, in den Zeiten von 7:00 Uhr – 13:00 Uhr oder von 15:00 Uhr – 19:00 Uhr stattfindet, erhöht sich der Anhaltswert auf:

Dabei gelten mehrere, unmittelbar aufeinander folgende Sprengungen als ein Ereignis. Es dürfen aber insgesamt nicht mehr als 15 Sprengungen in der Woche durchgeführt werden.

Die Vorwarnung erfolgt in der Regel durch akustische Signalgebung oder außerhalb des Absperrbereiches auch durch andere Maßnahmen. In Ausnahmefällen (bis zu 10 mal pro Jahr) kann der Anhaltswert bis zu:

$$A_0 = 8$$
 Ausnahmefälle

betragen.

Für Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (*Kern-, Misch- und Dorfgebiete, MI*) liegt der Anhaltswert für ganztägige Sprengungen bei:

Die beiden anderen Anhaltswerte ("Sprengzeiten beschränkt" und "Ausnahmefälle") sind identisch mit denen für "Wohngebiete".

Für "Gewerbe- und Industriegebiete" gilt:

Für die Beurteilung der Einwirkungen dieser Erschütterungen auf die Menschen in Gebäuden wird von ganztägigen Sprengungen mit Vorwarnung (die Anlieger werden vor den Sprengungen benachrichtigt) ausgegangen.

Damit ist ein **Anhaltswert von A** $_{0}$ = 6 anzuwenden.

Ein Anhaltswert von $A_O = 6$ entspricht nach (II) und (IIa) einer maximalen Einzelschwinggeschwindigkeit von $v_{OG} = 14,3$ mm/s.

Aus den Gleichungen (II) und (IIb) lässt sich die Erschütterungseinwirkung in Abhängigkeit von der Entfernung r, der maximalen Einzelschwinggeschwindigkeit in den Obergeschossen v_{OG} (14,3 mm/s) und der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von Z_{Zzst} berechnen:

(I b)
$$\hat{V}_{OG} = 24480 \text{ x } r^{-1,50}$$
 $Z_{Zzst} = 37 \text{ kg} \text{ } r = 143 \text{ m}$

(Ic)
$$\hat{V}_{OG} = 16140 \text{ x r}^{-1,50}$$
 $Z_{Zzst} = 18,5 \text{ kg r} = 94 \text{ m}$

Das heißt, dass mit einer Lademenge je Zündzeitstufe von $Z_{Zzst}=37~kg$ (und einer Wandhöhe von 20 m) bis auf eine Entfernung von 143 m und bei einer maximalen Lademenge von $Z_{Zzst}=18,5~kg$ (und einer Wandhöhe von 10 m) bis auf eine Entfernung von 94 m zu den Gebäuden gesprengt werden kann, ohne dass dadurch eine erhebliche Belästigung der Menschen in den Gebäuden eintritt.

Bei weiteren Annäherungen an die Immissionsorte ist eine weitere Reduzierung der Sprengparameter erforderlich. Die Aussiedlerhöfe haben alle eine minimale Entfernung von $r = \ge 100$ m. Es kann also nach der oben her geleitenden Berechnung mit der reduzierten Wandhöhe von 10 m sprengtechnisch abgebaut werden.

Wenn die Messwerte es zulassen, können bei begleitenden Erschütterungsmessungen auch nähere Sprengungen durchgeführt werden.

Der Aussiedlerhof 3 beherbergt auch Pferde. Da bislang keine Erfahrungen zu Reaktionen von Pferden auf Sprengerschütterungen vorliegen werden sie im vorliegenden Gutachten vergleichbar zu Menschen betrachtet.

4.3.2.2 Einwirkungen auf Bauwerke

Für die Beurteilung der Wirkung von Erschütterungen auf Bauwerke ist der Teil 3 der DIN 4150, Norm 2016: "Einwirkungen auf bauliche Anlagen" maßgebend.

Es sind für die maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten \hat{v}_i die Komponenten mit den größten Amplituden an jedem Messpunkt) an einem Bauwerksfundament frequenzabhängige und im obersten Vollgeschoß frequenzunabhängige Anhaltswerte angegeben.

Werden diese Anhaltswerte eingehalten, können Schäden im Sinne einer Gebrauchsminderung des Bauwerkes ausgeschlossen werden. Dies trifft auch z. B. auf Risse im Putz zu, die entsprechend dieser Norm bei Wohngebäuden als Gebrauchsminderung eingestuft werden.

Zur Kontrolle werden die Erschütterungen bei jeder Sprengung im nächstgelegenen Gebäude gemessen.

Ausgehend von diesen Messergebnissen können dann die Sprengparameter für die nächste Sprengung optimiert werden.

Werden bei einer Sprengung 70 % des Anhaltswertes erreicht oder überschritten, sollten bei weiterer Annäherung die Sprengparameter für die nächste Sprengung reduziert werden.

Werden bei einer Sprengung 70 % des Anhaltswertes unterschritten, so können bei weiterer Entfernung der Sprengstellen die Sprengparameter erhöht werden.

Es sollte jedoch nie die maximale Lademenge je Zündzeitstufe von $L_{Zzst} = 37 \text{ kg}$ überschritten werden.

4.3.2.2.1 Einwirkungen auf Gebäude des INKOM

Die bestehenden Gebäude des INKOM werden, wie vereinbart, konservativ als "Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und Nutzung gleichartige Gebäude" eingeordnet.

Für die Beurteilung sind wieder die maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten \hat{v}_i an den Messpunkten heranzuziehen.

In der Abb. 4 ist für kurzzeitige Erschütterungen (wie zum Beispiel Sprengungen) der Verlauf dieser frequenzabhängigen Anhaltswerte für die maximale Einzelschwinggeschwindigkeit \hat{v}_{iF} an einem Fundament als durchgezogene, rote Linie zu sehen.

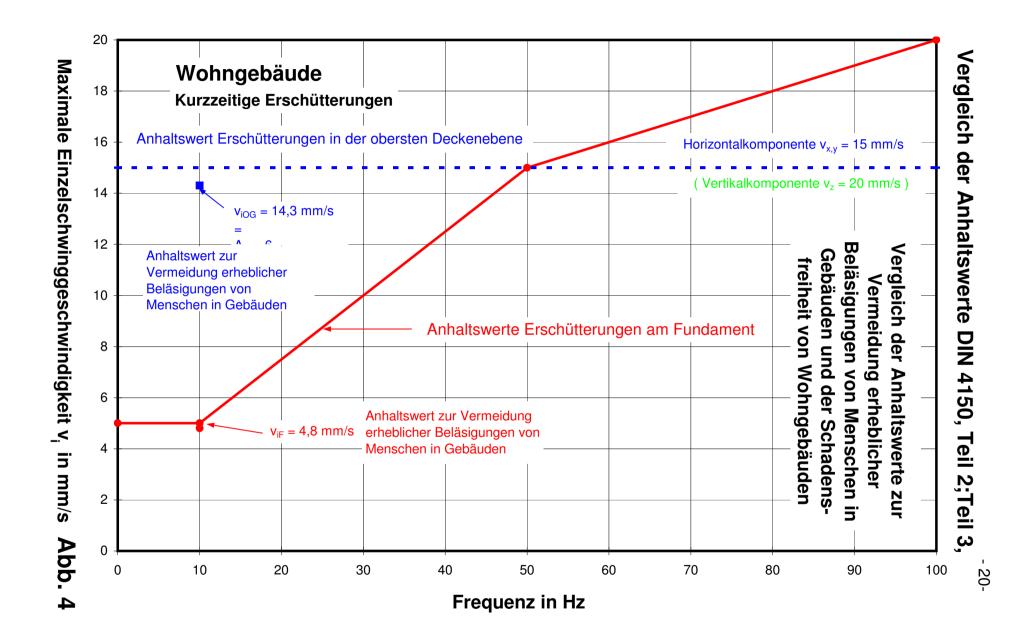
Die blaue, gestrichelte Linie gibt den (frequenzunabhängigen) Anhaltswert bei $\hat{v}_i = 15 \text{ mm/s}$ für die horizontalen Bewegungen im obersten Vollgeschoß wieder.

Eingetragen (konservativ bei f = 10 Hz) sind die sich durch die Beurteilung der Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden ergebenden maximal zulässigen Einzelschwinggeschwindigkeiten.

Es ist der rote Punkt mit der durchgezogenen, roten Kurve und das blaue Quadrat mit der gestrichelten, blauen Kurve zu vergleichen.

Man erkennt, dass praktisch beide Werte identisch sind.

Das bedeutet, dass, wenn die Anhaltswerte zur Vermeidung erheblicher Belästigungen für Menschen in Gebäuden eingehalten werden, gleichzeitig auch die Anhaltswerte zur Vermeidung von Gebäudeschäden an "Wohngebäuden und in ihrer Konstruktion und Nutzung gleichartige Gebäude" nicht überschritten werden und damit keine negativen Einwirkungen auf die Gebäude ausgehen.



- 21 -

Zunächst liegen die Sprengstellen in einer Entfernung von ca. r = 300 m von den Gebäuden.

Die weitere Nutzung führt dazu, dass sich die Abbaustellen und die Nutzung der INKOM - Flächen annähern.

In 4.3.2 wurde gezeigt, wie sich die Erschütterungen (Einzelschwinggeschwindigkeiten v_i abhängig von der Lademenge je Zündzeitstufe Z_{Zzst} und der Entfernung r verhalten.

Auch hier gilt, dass durch Rücksicht auf die Menschen in Gebäuden die Anforderungen hinsichtlich der Vermeidung von Gebäudeschäden ebenfalls eingehalten sind.

Demnach sind Sprengungen mit Wandhöhen bis 20 m bis in eine Entfernung von 143 m und Sprengungen mit Wandhöhen bis 10 m bis in eine Entfernung von 94 m problemlos möglich, ohne dass negative Einwirkungen dieser Erschütterungen auf die Gebäude und die Menschen in den Gebäuden zu erwarten sind.

4.3.2.2.2 Einwirkungen auf "Gewerblich genutzte Bauten"

Darunter ist das Windrad (3) einzuordnen. Es befindet sich in einer minimalen Entfernung zu den nächsten Sprengstelle von r = 30 m.

Abhängig von der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst} sind nach Gleichungen (lb) und (lc) folgende maximale Einzelschwinggeschwindigkeiten v_{iF} am Fundament zu erwarten:

(Id)
$$v_{iF} = 8160 \text{ x r}^{-1,5}$$
 $L_{Zzst} = 37 \text{ kg}$ $r = 30 \text{ m}$ $v_{iF} = 50 \text{ mm/s}$
(Ie) $v_{iF} = 5379 \text{ x r}^{-1,5}$ $L_{Zzst} = 18,5 \text{ kg}$ $r = 30 \text{ m}$ $v_{iF} = 33 \text{ mm/s}$

Als maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Gebäudefundament werden in der DIN 4150 für "Gewerblich genutzte Bauten" mindestens $\mathbf{v}_{iF} = 20 \text{ mm/s}$ angegeben.

Die beiden prognostizierten Erschütterungen liegen darüber. Damit sind Anpassungen der Sprengparameter bei Annäherung erforderlich.

4.3.2.2.3 Einwirkungen auf die Straßen

Für die Beurteilung der Einwirkungen der Erschütterungen auf Straßen gibt es keine Anhaltswerte.

Man kann sich in diese Fall an die Einwirkungen auf unterirdisch verlegte Leitungen anlehnen (DIN 4150, Teil 3, Tabelle 3, 5.3 Beurteilung von erdverlegten Rohrleitungen). Dort ist für Bauten aus Mauerwerk für kurzzeitige Erschütterungen ein Anhaltswert von:

 $\hat{V}_i = 50 \text{ mm/s}$ Anhaltswert Straße

angegeben.

4.3.2.2.3.1 Kreisstraße K 5541 und Römerstraße

Die minimalen Entfernungen der Sprengstellen von der Kreis- und der Römerstraße betragen $r=30\ m.$

Nach (Id) sind im Bereich der Straßen beim Einsatz von $L_{Zzst}=37~kg$ maximale Einzelschwinggeschwindigkeiten von $v_{iF}=50~mm/s$ zu erwarten.

Dies entspricht genau dem Anhaltwert von $v_i = 50$ mm/s für die Straßen.

Negative Einwirkungen auf die Straßen durch die Sprengerschütterungen sind deshalb nicht anzunehmen. Durch Erschütterungsmessungen ist die Einhaltung der Anhaltswerte nachzuweisen.

4.3.2.2.3.2 Autobahn A 81

Für die Autobahn A 81 in einer minimalen Entfernung von r=240 m ergibt sich für den Regelbetrieb ($L_{Zzst}=37$ kg) nach Glg. (Ib), S.14, eine maximale Einzelschwinggeschwindigkeit von:

$\hat{V}_i = 2,2 \text{ mm/s}$ Autobahn A 81

Damit ist sicher auszuschließen, dass durch diese Erschütterungen negative Einwirkungen auf die A 81 ausgehen.

4.4 STEINFLUG

4.4.1 Regelbetrieb

Der Sprengbereich (Bereich um eine Sprengstelle herum, in dem Steinflug nicht ausgeschlossen werden kann, oder in dem Personen- und/oder Sachschäden durch direkte Sprengeinwirkung entstehen können) kann durch geeignete Maßnahmen verkleinert werden. Diese zusätzlichen Maßnahmen werden bereits im Steinbruch Horgen praktiziert. Es sind dies:

- Die Bruchwand wird mittels 3D-Laser und GPS vermessen.
- Die Ergebnisse werden in schriftlicher Form dokumentiert und dem Ausführenden der Sprengung ausgehändigt.
- Die daraus abgeleitete Sprenganlage ist ebenfalls schriftlich niederzulegen (zeichnerische Darstellung der geplanten Bohrlöcher einschließlich einer Bohrlochliste) und dem Bohrmeister schriftlich auszuhändigen.

- . Die Markierung der Bohrlochansatzpunkte und der Bohrrichtung ist durch den Planer selbst vorzunehmen.
 - Kontrollen der Bohrlochtiefe und des Bohrlochverlaufes sind schriftlich zu dokumentieren und dem verantwortlichen Sprengberechtigten vor der Ladearbeit auszuhändigen.
 - Die geplante Sprengstoffverteilung in den Bohrlöchern ist durch den Sprengberechtigten schriftlich zu dokumentieren.
 - Sprenghelfer müssen bei der Ladearbeit kontrolliert werden, damit lokale Überladungen sicher ausgeschlossen werden.
 - temporärer Einsatz von Sprengschutzmatten am Borlochmund

Es hat sich bewährt, wenn der Sprengberechtigte alle sicherheitsrelevante Arbeiten selbst ausführt beziehungsweise überwacht.

Wenn die oben genannten Maßnahmen eingehalten werden, kann der Sprengbereich verkleinert werden.

Dies betrifft vor allem den Bereich "hinter" der Sprengung. Entgegen der Sprengrichtung kann auf Grund der geometrischen Anordnung kaum Steinflug auftreten.

Die einzige Möglichkeit sind "Ausbläser" am Bohrlochmund. Diese sind aber durch ausreichenden Endbesatz sicher zu vermeiden. Zusätzlich werden in Zukunft bei Abständen von r = < 100 m zum nächsten IO Sprengschutzmatten verwendet.

Öffentliche Flächen in diesem Sprengbereich müssen bei den Sprengungen abgesperrt werden und es dürfen sich dort keine Personen im Freien aufhalten.

Die Steinfluggefahr wird generell durch folgende Parameter bestimmt (vgl. Deutscher Sprengverband e. V.: "Empfehlungen zur Steinflugverhinderung bei Gewinnungssprengungen", März 2012):

Spezifischer Sprengstoffaufwand q_s = Lademetergewicht L_{lm} / (reale Vorgabe w)².

[II] $q_s = L_{lm} / w^2$ L_{lm} : Gewicht der Ladesäule

in kg je m. w: reale Vorgabe in m

Dieser hier verwendete Ausdruck: "Spezifischer Sprengstoffaufwand q_s " ist <u>nicht</u> identisch mit dem ebenfalls gebräuchlichen, gleichlautenden "Spezifischen Sprengstoffaufwand γ ", der angibt, welche Lademenge je zu lösendem Gesteinsvolumen eingesetzt wird.

Übermäßiger Steinflug wird demnach verhindert, wenn bei Lademetergewichten von bis zu $L_{lm} = 7.8 \text{ kg/m}$ der spezifische Sprengstoffaufwand q_s kleiner .

q_s < 0,75 kg/m³ Steinflugverhinderung

ist.

Das Lademetergewicht L_{lm} ist bei der Verwendung von patroniertem Sprengstoff:

 $L_{lm} = 5.0 \text{ kg/m}$

Mit einer Vorgabe (und Endbesatz) von $w=3.5\,$ m ergibt sich daraus ein "Spezifischer Sprengstoffaufwand q_s ":

$$q_s = L_{lm} / w^2 = 5.0 / 3.5^2 = 0.41 \text{ kg/m}^3$$

Dies liegt deutlich unterhalb des Grenzwertes (0,75 kg/m³) zur Verhinderung von Steinflug, wobei der Bereich des nicht zu verhindernden Steinfluges (entgegen Abbaurichtung) auf etwa das 4-fache der Wandhöhe begrenzt wird.

Dementsprechend kann der Sprengbereich somit auf 80 m begrenzt werden (vierfache Wandhöhe von je $20\ m$).

In Abbaurichtung ist die Steinfluggefahr aus geometrischen Gründen deutlich geringer. Da kann der Sprengbereich auf 40 m verkürzt werden

Bei einer Änderung der Sprengparameter ist anhand der Formel (II) zu prüfen, ob genügend Vorgabe und Endbesatz vorhanden sind, um die Steinfluggefahr zu minimieren.

4.4.2 Reduzierter Betrieb

In der Abbauplanung ist ein Bereich ausgewiesen, in dem mit einer halbierten Lagemenge je Zündzeitstufe – und damit einhergehend einer halbierten Wandhöhe – gesprengt werden soll. Außerdem ist ein Bereich ausgewiesen, in dem nur nach vorhergehender, weiterer Begutachtung unter Berücksichtigung der realen gegebenen Zustände der Umgebung, gesprengt werden soll. Auch hier wird davon ausgegangen, dass die Lademenge pro Zündzeitstufe gegenüber der Regelsprengung halbiert ist.

Unter Beibehaltung der in Kapitel 4.4.1 genannten Maßnahmen können analog reduzierte Sicherheitsabstände für den Steinflug angenommen werden.

Das Lademetergewicht ist auch bei den reduzierten Sprengungen $L_{lm} = 5.0$ kg/m. Damit ist auch hier in Sprengrichtung ein Steinflug bis zur 4-fachen Wandhöhe (4 x 10 m) einzuplanen. Entgegen der Sprengrichtung sollte der Sprengbereich nicht wesentlich kleiner sein.

Insbesondere in dem Bereich, in dem nur nach vorhergehender, weiterer Begutachten gesprengt werden soll, hat der Sprengberechtigte bei der Planung der Sprenganlage diese Parameter besonders zu beachten. Dabei kann es notwendig werden, dass kleinräumig die Abbaurichtung innerhalb der vorgezeichneten Abbauabschnitte der Abbauplanung angepasst werden muss.

4.5 ELEKTRISCHE ZÜNDUNG

Im Bereich der Sprengstellen verlaufen keine Stromleitungen. Es können deshalb elektrische Zünder der Klasse II (U-Zünder) verwendet werden.

Für nichtelektrische und elektronische Zünder gibt es ebenfalls keine Einschränkungen.

5 MEISSELNDES GEWINNEN

Alternativ zu den Sprengungen soll es auch möglich sein, das Gestein mittels Meißeln zu lösen.

Um die Einwirkung dieser Lösetechnik auf Nachbargebäude zu bestimmen, wurden im Steinbruch Dauchingen Erschütterungsmessungen beim Betrieb eines Meißelbaggers durchgeführt. Dabei war das Messgerät auf einer Felsplatte aufgestellt. Messungen erfolgten in einer Entfernung von r=50 m, da dies die maximale Annäherung der Gewinnung an zukünftige Immissionsorte sein wird.

In der Tabelle II sind die technischen Daten der eingesetzten Geräte zusammengefasst.

TABELLE II

Daten Erschütterungsmessungen

Bagger	Тур	Einsatzgewicht	Meißel	Entfernung
Volvo	EC 700	70 to	Größe: 8 to	s = 50 m

In der Entfernung s = 50 m traten beim Meißeln des Baggers in den 3 Komponenten folgende maximale Einzelschwinggeschwindigkeiten auf:

TABELLE III

Messwerte in 50 m Entfernung

Horizontal X	$v_x = 0.1 \text{ mm/s}$
Horizontal Y	v _y = 0,2 mm/s
Vertikal Z	$v_z = 0.1 \text{ mm/s}$

Für die weitere Beurteilung ist die Komponente mit den größten Bewegungen von Bedeutung. ($v_y = 0.2 \text{ mm/s}$).

Zum Vergleich mit den Anhaltswerten der DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen" sind aus den Messergebnissen folgende Messgrößen abzuleiten:

TABELLE IV

Messwerte in 50 m Entfernung

Messwert v _{FF} an der Oberfläche; Freifeld	Ohne Gebäudeauflast, Entfernung r = 50 m	$v_{FF} = 0.2 \text{ mm/s}$
Messwert v _F einem Gebäudefundament	Mit Gebäudeauflast: v _F = v _{FF} / 2	$v_F = 0.1 \text{ mm/s}$
Messwert v _{og} in einem Gebäudeobergeschoß	Mit Gebäudeauflast: v _{OG} = v _F x 3 ;	v _{OG} = 0,3 mm/s
KB [*] _{Fmax} in einem Gebäudeobergeschoss	Mit Gebäudeauflast: maximale bewertete Schwingstärke KB* _{Fmax} = v _{OG} x 0,42; KB* _{Fmax} = 0,13	KB* _{Fmax} = 0,13

5.1 Beurteilung

Für die Beurteilung der Einwirkungen dieser Erschütterungen auf Nachbargebäude ist die DIN 4150, "Erschütterungen im Bauwesen", Teil 3, "Einwirkungen auf bauliche Anlagen" heranzuziehen. Aufgrund der Charakteristik der Erschütterungen ist bei diesen Erschütterungen von "Dauererschütterungen" auszugehen.

5.2. Einwirkungen auf die Gebäude

Der Anhaltswert für die Gebäude (Wohngebäude) ist sowohl für die Fundamentbewegungen als auch für die Bewegungen in den Obergeschossen weit unterschritten.

Am Fundament werden mit $v_F=0.1$ mm/s nur 2 % des Anhaltswertes ($v_i=5.0$ mm/s) und im Obergeschoss mit $v_{OG}=0.3$ mm/s ebenfalls nur 6 % des Anhaltswertes ($v_i=5.0$ mm/s, oberste Decke horizontal) ausgeschöpft.

Negative Einwirkungen dieser Erschütterungen auf die Gebäude sind demnach nicht zu erwarten.

5.3 Einwirkungen auf Menschen in den Gebäuden

5.3.1 Einsatz eines Baggers

Für die Beurteilung der Einwirkungen der Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden ist der Teil 2 der DIN 4150 anzuwenden ("Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden").

Maßgebend ist dabei die "Maximale bewertete Schwingstärke KB*_{Fmax}" die mit dem entsprechenden Anhaltswert verglichen werden muss.

Für "Gewerbegebiete" gilt die Forderung der Norm eingehalten, wenn tagsüber ein Anhaltswert von $A_U = 0.3$ (unabhängig von der Zeitdauer) eingehalten ist.

Die "Maximale bewertete Schwingstärke" liegt mit $KB^*_{Fmax} = 0,13$ für die Erschütterungen durch die Meißelarbeiten in einer Entfernung von r = 50 m deutlich unterhalb des Anhaltswertes $A_r = 0,3$. Dieser wird durch die Messungen nur zu 43 % ausgeschöpft (0,13 zu 0,3).

Damit sind erhebliche Belästigungen der Menschen in den Gebäuden durch die Meißelarbeiten auszuschließen.

Dies ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass weite Flächen eine größere Entfernung zu den Gebäuden haben mit dann abnehmenden Einwirkungen.

5.3.2 Einsatz von 2 Baggern

Beim parallelen Einsatz von 2 Baggern und einer Einsatzzeit des ersten Baggers von 13 h und des zweiten Baggers von 8 Stunden bei jeweils einer Ruhezeit von 1 h, errechnet sich die Beurteilungs-Schwingstärke zu:

$$KB_{FTr} = (1/T_r (T_{e1} \times KB^2_{FTM} + 2 \times T_{e,2} \times KB^2_{FTM} + T_{e1} \times KB^2_{FTM} + 2 \times T_{e,2} \times KB^2_{FTM}))^{0,5}$$

KB_{FTr}: Beurteilungsschwingstärke KB_{FTmr} : Maximalwertbeurteilungs-Schwingstärke $KB_{Fmax} = 0,13$

 $\begin{array}{ll} T_r\colon & \text{Beurteilungsszeit tags 16 h} \\ T_{e,1} & \text{Einwirkungszeit mit KB}_{\text{FTm}} \ 13 \ \text{h} \ / \ 8 \ \text{h} \\ T_{e,2}\colon & \text{Ruhezeit (1 h)} \end{array}$

Mit einer Einwirkungszeit von 12 h + 1 h in der Ruhezeit bzw. 7 h + 1 h in der Ruhezeit erhält man für den parallelen Betrieb von beiden Baggern in einer Entfernung von r = 50 m:

$$\begin{split} \text{KB}_{\text{FTr}} &= \big(\ 1/16\ \big(\ 12 \times 0,13^2 + 2 \times 1 \times 0,13^2 + 7 \times 0,13^2 + 2 \times 1 \times 0,13^2\ \big)\ \big)^{0.5} \\ \text{KB}_{\text{FTr}} &= \big(\ 1/16\ \big(\ 23 \times 0,13^2\big)\ \big)^{0.5} \\ \text{KB}_{\text{FTr}} &= \big(\ 1/16\ \big(\ 23 \times 0,13^2\big)\ \big)^{0.5} \\ \text{KB}_{\text{FTr}} &= 0.16 \end{split}$$

Damit liegt die Beurteilungsschwingstärke beim parallelen Betrieb der beiden (angenommenen baugleichen) Bagger über 13 Stunden und über 8 Stunden am Tag in einer Entfernung von r = 50 m bei KB_{FTr} = 0,16 und damit unterhalb des Anhaltswertes von $A_r = 0.3$.

Negative Einwirkungen dieser Erschütterungen auf die Menschen in den Gebäuden sind demnach auszuschließen.

6 LÄRM

Der Sprenglärm wie auch der Lärm beim Meißeln werden in dem Lärmgutachten beurteilt.

7 STAUB

Der Staub wird in dem Staubgutachten beurteilt.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Es werden Sprengverfahren zum Lösen des Gesteins angegeben, die auf den bisherigen Erfahrungen bei Sprengungen in diesem Steinbruch aufbauen.

Der Regelabbau wird mit Sprengungen mit einer maximalen Lademenge je Bohrloch von L = 75 kg (Wandhöhe 20 m) und einer Lademenge je Zündzeitstufe L_{ZZst} = 37 kg (Ladesäule geteilt) durchgeführt.

Bei einer Reduzierung der Wandhöhe auf 10 m und der damit verbundenen Reduzierung der Lademenge je Zündzeitstufe auf $L_{Zzst} = 18,5$ kg werden die Einwirkungen der Sprengungen verkleinert.

Basierend auf den Erschütterungsmessungen im Jahr 2018 wurde ein Zusammenhang zwischen den maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten \hat{v}_i , den maximalen Lademengen je Zündzeitstufe L_{Zzst} , und den Entfernungen r errechnet, der den Beurteilungen zugrunde liegt

Für die Einwirkungen der Sprengerschütterungen auf Menschen in Gebäuden gilt folgendes:

 Zur Vermeidung von erheblichen Belästigungen von Menschen in Gebäuden durch die Sprengerschütterungen sind bei Annäherung der Sprengstellen an die Gebäude Reduzierungen der Sprengparameter erforderlich.

Vor allem zu Minimierung der Belästigungen der Menschen in den Gebäuden durch die Sprengerschütterungen werden die Sprengungen immer vorher mittels E-Mail angekündigt, sodass der "Überraschungseffekt" wegfällt.

Durch die limitierenden Vorgaben zur Vermeidung erheblicher Belästigungen von Menschen in Gebäuden sind folgende Lademengen in den entsprechenden Entfernungen möglich:

$$L_{Zzst} = 37 \text{ kg}$$
 $r = 143 \text{ m}$

$$L_{Zzst} = 18,5 \text{ kg}$$
 $r = 94 \text{ m}$

Die Erschütterungen werden jedoch immer im deutlich spürbaren Bereich liegen.

 Bei der Autobahn A 81 sind keine schädlichen Einwirkungen durch die Sprengerschütterungen gegeben.

Es werden Maßnahmen zur Minimierung des Steinfluges angegeben.

Für den Abbau durch Felsmeißel wurden in dem Steinbruch in Dauchingen Probemeißelungen mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

- Es treten an den Gebäuden Erschütterungen auf, die deutlich unter den entsprechenden Anhaltswerten für die Schadensfreiheit liegen.
- Der Anhaltswert zur Vermeidung erheblicher Belästigungen der

Menschen in den Gebäuden wird beim parallelen Betrieb der beiden Bagger deutlich unterschritten (dabei wird für beide Bagger die "Maximale bewertete Schwingstärke von $KB_{Fmax} = 0,13$ " angenommen.

Neckartailfingen 2.6.2021

Dr. rer. nat.
Jürgen Wieck
Sachverständiger für
Sprengimmissionen und
Erschütterungen

Dr. Jürgen Wieck