

Dipl.-Ing. Detlef Wendt
-Sprengsachverständiger-
Bonn

Bonn, 25.08.2022

Stellungnahme Holzen West

1. Vorbemerkung

Der Unterzeichner bittet, die späte Reaktion zu entschuldigen, er war aus ernsthaften gesundheitlichen Gründen leider verhindert.

2. Stellungnahme

Zur Erläuterung und Klärung von anstehenden Fragen legt der Unterzeichner im Folgenden dar, wie er zu den im angesprochenen Gutachten 85_04 vom 25.02.2021 dargestellten Aussagen gekommen ist.

Dabei ist zu beachten, dass dieses Gutachten allein für sich steht und die anderen, früheren Gutachten des Unterzeichners für diesen Bereich nur informellen Charakter haben.

Im Anschluß daran legt der Unterzeichner eine Ergänzung zum vorliegenden Gutachten vor, mit der er davon ausgeht, dass damit auch alle weiteren Immissionspunkte im westlichen und südlichen Bereich sicher erfasst sind.

2.1 Erläuterung der Grundlagen der Prognose

Grundlagen für die Erstellung einer Prognose sind die Erfahrungen des Erstellers sowie die exakt fassbaren Parameter.

Zur Beurteilung von Erschütterungseinwirkungen auf bauliche Anlagen oder Menschen in Gebäuden dient die DIN 4150 in der die grundlegenden Maßstäbe festgelegt sind.

Die exakt bestimmbar Parameter sind laut dieser DIN die maximale Lademenge je Zündzeitstufe sowie die Entfernung zwischen Sprengstelle und Immissionsort.

Alle anderen möglichen Einflußparameter werden im Korrelationsfaktor "k" zusammengefasst.

Zu den hauptsächlichen Einflußparametern zum Faktor "k" gehören:

- das gesprengtes Material, hier Kalkstein
- die geometrischen Paramter der Sprenganlage, dazu gehören:
 - - die Vorgabe, das ist die Entfernung der Sprengstoffladung zur freien Fläche
 - - der Seitenabstand, das ist die Entfernung der Bohrlöcher untereinander in einer Reihe
 - - die Bohrlochneigung, das ist die Auslenkung der Bohrlöcher gegenüber der Senkrechten
 - - die Bohrlochrichtung, das ist die Richtung, in die die Neigung zeigt
 - - der Bohrlochdurchmesser
 - - die Unterbohrung, das ist der Teil des Bohrlochs, der unter das obere Niveau der nächst tiefer gelegenen Sohle gebohrt werden muss
 - - die Bohrlochanzahl
 - - die Anzahl der Bohrlochreihen
 - - die Bohrlochlänge
 - - die Ausrichtung der gesamten Sprenganlage
- weitere Parameter sind:
 - - Art des Sprengstoffes
 - - Verteilung des Sprengstoffes oder verschiedener Sprengstoffe innerhalb der Bohrlöcher
 - - Ort der Zündung innerhalb der Sprengstoffladesäulen
 - - das Zündverfahren
 - - das Zündintervall, das ist der zeitliche Abstand, in dem die einzelnen Ladungen nacheinander in einer Sprengung gezündet werden

Diese sehr lange Liste an Parameter, die nicht vollständig ist, zeigt die hauptsächlichen Einflüsse auf den K-Faktor, aber auch auf die Qualität des Sprengergebnisses.

Die Qualität der Sprengarbeit wiederum hat hohen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Betriebsprozesses. Deshalb sind auch die Variationsmöglichkeiten dieser Parameter deutlich eingeschränkt und können hinreichend genau abgeschätzt werden.

Deshalb wird zur Prognose hauptsächlich auf das zu sprengende Gestein Bezug genommen

Für Kalkstein verwendet der Unterzeichner auf Grund seiner Erfahrung einen k-Faktor von

$$k = 80,$$

der als hoher K-Faktor ein gutes Maß an Aussagesicherheit besitzt.

Zur Erhöhung der Aussagesicherheit setzt der Unterzeichner für k in der Regel einen Wert von

$$k = 90 \text{ an.}$$

Mit dieser Einschätzung steht der Unterzeichner nicht allein, wie z.B. unter

www.ruspeckhofer.at/fachwissen/sprengerschuetterungen-2 zu entnehmen ist.

"Normal" sind K-Faktoren nach Prof. Koch für Kalk unter 80 zu erwarten, etwa im Bereich 40 bis 60. Treten deutlich höhere oder auch niedrigere Werte auf, so sind die Parameter nochmals detaillierter zu kontrollieren, aber auch die Messdurchführung genauer zu betrachten und ggf. zu variieren.

Der o.g. **k-Faktor** bezieht sich auf die Prognoseformel nach DIN 4150 Teil 3. Diese wird vom Unterzeichner verwendet, da sie einige Vorteile bietet. Hauptsächlich weil sie jedem Sprengberechtigten geläufig ist und kann auch ohne Taschenrechner hinreichend genau im Kopf angewendet werden kann.

$$V_{\text{imax}} = k * L_{\text{max}}^{0,5} / R$$

Formel 1: Prognoserechnung nach DIN 4150 und Prof. Koch

Die maximale Lademenge je Zündzeitstufe L_{max} ist die maximale Menge an Sprengstoff, die an einem, durch die Zündtechnik bestimmten Zeitpunkt gezündet wird.

Das muss nicht die Lademenge eines Bohrlochs sein, es könnten durchaus mehrere Löcher mit der selben Zündzeitstufe gezündet werden. Dann beträgt die maximale Lademenge je Zündzeitstufe das entsprechend Vielfache der einer üblichen Bohrlochladung.

Es kann aber hingegen auch die Lademenge eines Bohrlochs in mehrere Teilladungen unterteilt und zu unterschiedlichen Zündzeitpunkten gezündet werden. Dann ist die maximale Lademenge je Zündzeitstufe kleiner als die übliche Bohrlochladung.

Zur Erläuterung des Begriffs "eine Sprengung" sei ergänzend angemerkt, dass die Summe aller Ladungen, die in einem Zündvorgang zusammen gezündet werden, als eine Sprengung zählen. Es zählen nicht alle Einzelladungen für sich als "Sprengung"! Ein Sonderfall stellen gemäß DIN 4150 Teil 2 mehrere Sprengungen dar, sofern sie innerhalb eines Absperrzyklusses zeitnah hintereinander gezündet werden. Es handelt sich dabei zwar um mehrere "Sprengungen" zählen aber zur Beurteilung auf die Erschütterungseinwirkungen auf Menschen in Gebäuden gemäß DIN 4150 Teil 2 als "ein Ereignis"!

Ein weiterer Punkt, der wichtig zum Verständnis einer solchen Prognose ist, ist die Abschätzung, mit welcher Frequenz die Erschütterungswellen auf die Immissionsort einwirkt. Je nach Abstand zur Emmissionsquelle können hier Frequenzen von etwas unter 10 Hz bis über 80 Hz auftreten. Erfahrungsgemäß **steigen** die Frequenzen mit **abnehmender** Entfernung an.

DIN 4150 Teil 3 gibt frequenzabhängige Anhaltswerte der Schwinggeschwindigkeiten an, bei deren Einhalten davon ausgegangen werden kann, dass die entsprechenden Bauwerke durch die Erschütterungen nicht beschädigt werden.

Der niedrigste, also strengste Anhaltswert für Fundamente von Wohngebäude, hat der untere Frequenzbereich von **unter 10 Hz mit 5 mm/s** Schwinggeschwindigkeit.

Auf diesen niedrigsten und strengsten Wert von **10 Hz** bezieht der Unterzeichner sich bei seiner Prognoserechnung.

Für Schwingung von Decken im obersten Vollgeschoss lässt die DIN 4150 Teil 3 frequenzunabhängig Schwinggeschwindigkeiten von horizontal 15 mm/s und vertikal 20 mm/s zu.

DIN 4150 Teil 2 nennt Körperbeeinflussungsfaktoren, bis zu deren Erreichen sich ein Mensch üblicherweise nicht sehr gestört fühlen soll. Dieser Faktor, KBfmax-Wert genannt, beträgt für Gewinnungssprengungen mit Vorwarnung der aktuell Betroffenen außerhalb der Ruhezeiten maximal "6", und darf wenige Male im Jahr sogar "8" betragen.

Eräuternd dazu hier ein Screenshot aus DIN 4150 Teil 2 vom Juni 1999, Punkt 6.5.1, Selten auftretende, kurzzeitige Erschütterungen:

Wenn die Sprengungen werktags mit Vorwarnung der unmittelbar Betroffenen in den Zeiten von 7.00 bis 13.00 Uhr oder von 15.00 bis 19.00 Uhr erfolgen, gelten in Gebieten nach Tabelle 1, Zeilen 3 und 4, auch die A_o -Werte nach Zeile 1, wenn nur ein Ereignis je Tag stattfindet. In Ausnahmefällen (wenige Male je Jahr) dürfen die KB_{Fmax} -Werte bis 8 betragen.

Bild 1: Screenshot: Auszug aus DIN 4150 Teil 2

Dazu wird zur Ermittlung dieses KB_{Fmax} -Wertes ein Faktor "cF" mit berücksichtigt, der das Resonanzverhalten von Bauwerken und Bauwerksteilen beschreibt.

Der Unterzeichner verwendet dabei ausschließlich den höheren Resonanzfaktor von "0,8", um auch hier eine strengere Beurteilung vorzunehmen.

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

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

Dabei ist:

- f Frequenz, in Hz;
- f_0 5,6 Hz (Grenzfrequenz des Hochpasses);
- v_{\max} maximale Schwingschnelle, in mm/s;
- c_F die Konstante nach Tabelle 3;
- KB dimensionslos.

Formel 2: Ermittlung des KB_{Fmax} -Wertes nach DIN 4150 Teil 2

Setzt man in der obigen Formel den Wert von "6" für KB_{Fmax} und die Frequenz zu **10 Hz** ein, so errechnet sich eine maximal zulässige Schwinggeschwindigkeit auf der Decke des obersten Vollgeschosses zu **12 mm/s**. Hier sei ergänzend angemerkt, dass im ursprünglichen Gutachten die Deckenfrequenz abweichend mit 20 Hz angesetzt worden war und deshalb dort die errechneten Werte geringfügig höher ausgefallen sind.

Um jetzt von dieser Schwinggeschwindigkeit auf der obersten Decke auf die Schwinggeschwindigkeit am Fundament zu kommen ist die Annahme eines "Übertragungsfaktors" nötig. Dieser Faktor beschreibt die Zunahme der Schwinggeschwindigkeit vom Fundament zur Decke.

Dem Unterzeichner sind aus seiner Erfahrung von Messungen in Wohngebäuden Werte für den Übertragungsfaktor von etwa **3 bis 4** geläufig.

Deshalb hat er für sich eine Schätzformel entwickelt, mit der er gute Erfahrungen gemacht hat.

Er verwendet für jedes Vollgeschoss den Zähler "2", und für ein vorhandenes Kellergeschoss sowie ein ausgebautes Dachgeschoss den Zähler "0,5".

Die übliche Bebauung in der meist ländlichen Umgebung von Steinbrüchen zeigt meist maximale Geschosshöhen von 2 Vollgeschossen, oft unterkellert und mit ausgebautem Dachgeschoss.

Deshalb ermittelt er den üblichen Übertragungsfaktor gemäß seiner Erfahrungsformel von

$$\mathbf{\ddot{U}} = 2 * 2 + 0,5 + 0,5 = \mathbf{5}$$

Mithilfe dieses Übertragungsfaktors kann der Unterzeichner eine maximale Schwinggeschwindigkeit am Fundament ermitteln, bei deren Einhaltung auch die Einhaltung der Grenzwerte für die Einwirkung auf Menschen gemäß DIN 4150 Teil 2 zu erwarten sind.

Dieses geschieht durch die Division von "12 mm/s" (s.o.) durch "5" und ergibt somit eine maximale Fundamentalschwingung von

$$\mathbf{V_{max} = 2,4 \text{ mm/s}}$$

bezogen auf eine **Frequenz von 10 Hz**.

Mithin weniger als die Hälfte des Anhaltswertes für Fundamente von Wohngebäuden gemäß DIN 4150 Teil 3.

Damit ist auch die Forderung der DIN 4150 Teil 3 (aus 2016) erfüllt, nach der die Beurteilung von Erschütterungen bevorzugt auf die Schwingungen der Deckenebene des obersten Vollgeschosses zu fassen ist.

Da häufig die oberen Räume der Anliegergebäude nicht zur Messung betreten werden können, aber meist von außen ein Messpunkt am Fundament erreichbar ist, stellt die Einhaltung der maximalen Schwinggeschwindigkeit von **2,4 mm/s am Fundament** die entsprechende Rücksichtnahme auf das oberste Vollgeschoss dar.

Um die Aussagesicherheit der Prognoserechnung strenger zu fassen, hat der Unterzeichner den K-Faktor von 80 auf 90 erhöht.

Bei der im Betrieb üblicherweise verwendeten maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von beispielsweise **30 kg** ergibt sich die folgende Darstellung, die angibt, mit welchen Erschütterungswerten am Fundament gerechnet werden muss, bei denen aber die Anhaltswerte von DIN 4150 Teil 2 und Teil 3 erfahrungsgemäß eingehalten werden. Steht zu befürchten, dass bei weiterer Annäherung die Erschütterungswerte nicht eingehalten werden können, ist die maximale Lademenge je Zündzeitstufe entsprechend der nachfolgenden Tabellen 2 resp. 3 zu verringern.

Der Unterzeichner empfiehlt, die Sprengerschütterungen am nächstgelegenen Bauwerk messtechnisch zu erfassen und von einem Sachverständigen in regelmäßigen Abständen bewerten zu lassen.

Im Regelfall ist dann Tabelle 2 (Menschen) zu verwenden.

Kann jedoch sichergestellt werden, dass sich im betreffenden Bauwerk zum Zeitpunkt der Sprengung keine Menschen aufhalten, kann auch die Lademenge je Zündzeitstufe nach Tabelle 3 verwendet werden.

Erschütterungsprognose für 30 kg			
Entfernung [m]	Fundament [mm/s]	Decke [mm/s]	Kbfmax [-]
100	4,9	24,6	12,2
110	4,5	22,4	11,1
120	4,1	20,5	10,1
130	3,8	19,0	9,4
140	3,5	17,6	8,7
150	3,3	16,4	8,1
160	3,1	15,4	7,6
170	2,9	14,5	7,2
180	2,7	13,7	6,8
190	2,6	13,0	6,4
200	2,5	12,3	6,1
210	2,3	11,7	5,8
220	2,2	11,2	5,5
230	2,1	10,7	5,3
240	2,1	10,3	5,1
250	2,0	9,9	4,9
260	1,9	9,5	4,7
270	1,8	9,1	4,5
280	1,8	8,8	4,3
290	1,7	8,5	4,2
300	1,6	8,2	4,1
310	1,6	8,0	3,9
320	1,5	7,7	3,8
330	1,5	7,5	3,7
340	1,4	7,2	3,6
350	1,4	7,0	3,5
360	1,4	6,8	3,4
370	1,3	6,7	3,3
380	1,3	6,5	3,2
390	1,3	6,3	3,1
400	1,2	6,2	3,0

Tabelle 1: Erschütterungsprognose für Lmax = 30 kg

DIN 4159 Teil 2 (Menschen)		DIN 4150 Teil 3 (Bauwerke)	
Entfernung (m)	maximale Lademenge je Zündzeitstufe (kg)	Entfernung (m)	maximale Lademenge je Zündzeitstufe (kg)
100	7,1	100	11,1
120	10,2	120	16,0
140	13,9	140	21,8
160	18,2	160	28,4
180	23,0	180	36,0
200	28,4	200	44,4
220	34,4	220	53,8
240	41,0	240	64,0
260	48,1	260	75,1
280	55,8	280	87,1
300	64,0	300	100,0
320	72,8	320	113,8
340	82,2	340	128,4
360	92,2	360	144,0
380	102,7	380	160,4
400	113,8	400	177,8
420	125,4	420	196,0
440	137,7	440	215,1
460	150,5	460	235,1
480	163,8	480	256,0
500	177,8	500	277,8

Tabelle 2 und 3: Lademengen Abstandstabellen

3. Ergänzende Stellungnahme

Das vorliegende Gutachten behält seine Gültigkeit für die im Nordosten liegenden Bauwerke.

Für die im Westen und Süden liegenden Immissionsorte nimmt der Unterzeichner folgendes Betrachtung vor:

1. Der Unterzeichner schlägt zur zusätzlichen Aussageverschärfung die Verwendung des KBFmax-Wertes von **"5"** vor, wenngleich DIN 4150 Teil 2 einen Wert von **"6"** nennt.
2. Der k-Faktor wird auf **100** festgesetzt.
3. Die Betrachtung zur Verringerung des Sprengbereiches entfällt, weil die minimale Entfernung von äußerster geplanter Abbaukante zum nächstgelegenen Wohngebäude Aspeck (Schieberg 37a) laut Lageplan **489 m** beträgt und damit außerhalb des gesetzlich vorgeschriebenen Sprengbereichs von 300 m liegt..

Mit diesen Werten rechnet der Unterzeichner eine Immissionsprognose nach oben erläuterten Verfahren wie folgt:

$$k = 100$$

$$\ddot{U} = 5$$

Erschütterungsprognose Westen für 30 kg			
Entfernung [m]	Fundament [mm/s]	Decke [mm/s]	Kbfmax [-]
310	1,8	8,8	4,4
320	1,7	8,6	4,2
330	1,7	8,3	4,1
340	1,6	8,1	4,0
350	1,6	7,8	3,9
360	1,5	7,6	3,8
370	1,5	7,4	3,7
380	1,4	7,2	3,6
390	1,4	7,0	3,5
400	1,4	6,8	3,4
410	1,3	6,7	3,3
420	1,3	6,5	3,2
430	1,3	6,4	3,1
440	1,2	6,2	3,1
450	1,2	6,1	3,0
460	1,2	6,0	2,9
470	1,2	5,8	2,9
480	1,1	5,7	2,8
490	1,1	5,6	2,8
500	1,1	5,5	2,7
510	1,1	5,4	2,7

Tabelle 4: Erschütterungsprognose Westen

Laut dieser Erschütterungsprognose sind im nächstgelegenen Bauwerk im Westen bei nächster Annäherung des geplanten Abbaus und Einsatz einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von 30 kg maximale Schwinggeschwindigkeiten von
ca

1,1 mm/s am Fundament,

**5,7 mm/s auf der Decke des obersten Vollgeschosses und ein
KBFmax-Wert von 2,8 zu erwarten.**

Diese Prognosewerte liegen weit unterhalb der in DIN 4150 Teil 2 und 3 genannten Anhaltswerte.

Mit einem prognostizierten KBFmax-Wert von **2,8** bei nächster Annäherung an das Gebiet im Westen kann daher davon ausgegangen werden, dass dort auch die Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2, Tabelle 1, Zeilen 4 und 5, für reine Wohngebiete und besonders schutzwürdige Einwirkungsorte, z.B in Krankenhäusern und Kurkliniken, eingehalten werden.

Für die maximale Lademenge von 60 kg je Zündzeitstufe stellt sich die Prognose entsprechend wie folgt dar:

$$k = 100$$

$$\ddot{U} = 5$$

Erschütterungsprognose Westen für 60 kg			
Entfernung [m]	Fundament [mm/s]	Decke [mm/s]	Kbfmax [-]
310	2,5	12,5	6,2
320	2,4	12,1	6,0
330	2,3	11,7	5,8
340	2,3	11,4	5,6
350	2,2	11,1	5,5
360	2,2	10,8	5,3
370	2,1	10,5	5,2
380	2,0	10,2	5,0
390	2,0	9,9	4,9
400	1,9	9,7	4,8
410	1,9	9,4	4,7
420	1,8	9,2	4,6
430	1,8	9,0	4,4
440	1,8	8,8	4,3
450	1,7	8,6	4,2
460	1,7	8,4	4,2
470	1,6	8,2	4,1
480	1,6	8,1	4,0
490	1,6	7,9	3,9
500	1,5	7,7	3,8
510	1,5	7,6	3,7

Tabelle 5: Erschütterungsprognose Westen für 60 kg je Zündzeitstufe

Selbst bei der Verwendung von **60 kg** Sprengstoff je Zündzeitstufe sind hier mit hoher Sicherheit noch keine Überschreitungen der zulässigen Anhaltswerte gemäß DIN 4150 Teil 2 und Teil 3 zu erwarten.

Erst bei einer Lademenge von etwa **90 kg** je Zündzeitstufe könnte der **KBFmax-Wert von "5"** erreicht werden!

Der Unterzeichner empfiehlt daher, im gesamten Erweiterungsgebiet grundsätzlich die Lademenge von 30 kg je Zündzeitstufe nicht zu überschreiten und bei Annäherung an die nördliche Bebauung die Lademengen-Abstandstabelle nach Tabelle 2 und 3 einzuhalten.

4. Zusammenfassung

Der Unterzeichner hat im ersten Teil dieser Stellungnahme dargelegt und erläutert, wie und aufgrund welcher Annahmen die vorliegende Erschütterungsprognose zustande kam. Er hält es für angemessen, zumindest für die im unmittelbaren Nahbereich im Norden gelegenen Immissionspunkte diese Betrachtung beizubehalten.

Für den Bereich Westen, den der Unterzeichner bisher nicht ausdrücklich betrachtet hatte, weil er ihn nicht für relevant hielt, hat er dann in der ergänzenden Stellungnahme den **KBFmax-Wert zu "5"** gewählt und zur zusätzlichen Aussageverschärfung den k-Faktor auf **100** erhöht.

Die mit diesen Parametern ermittelte Erschütterungsprognose zeigt für den nächstgelegenen Immissionspunkt Schieberg 37a in **489 m** minimaler Entfernung Erschütterungswerte, die deutlich unterhalb der Anhaltswerte nach DIN 4150 Teil 2 und 3 liegen.

Alle anderen Immissionspunkte im Bereich Westen liegen etwas weiter entfernt, können aber immissionstechnisch dem Punkt Schieberg 37 a gleichgesetzt werden.

Erst bei einer maximalen Lademenge von ca. 90 kg je Zündzeitstufe könnte bei nächster Annäherung hier der KBFmax-Wert von 5 erreicht werden.

Wird die maximale Lademenge je Zündzeitstufe im Bezug auf den Bereich Westen auf 30 kg begrenzt, sieht der Unterzeichner einen ausreichend sicheren Abstand zu kritischen Erschütterungswerten als gegeben an.

Das gleiche gilt für den im Süden gelegenen Immissionspunkt.

Im Norden gelten die von der Abhängigkeit der Entfernung errechneten Lademengen aus den Lademengen-Abstandstabellen.

Der Unterzeichner hofft, mit dieser Stellungnahme alle anstehenden Fragen geklärt zu haben.

Mit freundlichen Grüßen



(Dipl.-Ing. Detlef Wendt)

-Sprengsachverständiger-