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
E-MAIL jwieck@arcor.de

STELLUNGNAHME ZU DEN GEÄNDERTEN ABBAUFLÄCHEN IM RAHMEN DER ERWEITERUNG DES STEINBRUCHS DER FA. BAU-UNION GMBH & CO. SCHOTTERWERKE HEINZ KG IN FROMMENHAUSEN.

Die Fa. Bau-Union GmbH & Co. Schotterwerke Heinz KG hatte zunächst angestrebt, den Steinbruch in Richtung Süden bis zur Gemarkungsgrenze innerhalb der Vorranggebiets für den Abbau oberflächennaher Rohstoffe des Regionalverbandes zu erweitern.

Für diese Fläche wurde das Gutachten vom 19.11.2020. erstellt, das mit dem Antragsentwurf vom 25.05.2020 dem Landratsamt Tübingen zur Vorprüfung vorgelegt wurde.

Während der Überarbeitung des Antragsentwurfes entschied sich die Antragstellerin aus verschiedenen Gründen, die Erweiterungsfläche auf eine kleinere als die bisherige Erweiterungsfläche zu begrenzen. Diese Fläche umfasst den westlichen Bereich (Flurstücke 241-246, 247/1 und 261/1 teilweise) der bisherigen Erweiterungsfläche.

Die Aussagen des Gutachtens vom 19.11.2020 treffen ebenfalls und ohne Einschränkung auf diese neue Fläche zu.

Neckartailfingen 5.1.2021

Von der Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart
Dr. rer. nat.
Jürgen Wieck
Sachverständiger für
Sprengimmissionen und
Erschütterungen
öffentlich bestellt und vereidigt

J. Wieck

Dr. Jürgen Wieck

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
E-MAIL jwieck@arcor.de

AUFTRAG: **SPRENG- UND ERSCHÜTTERUNGSTECHNISCHES GUTACHTEN FÜR DIE GEPLANTE ERWEITERUNG DES STEINBRUCHS DER FA. BAU UNION GMBH & CO BEI FROMMENHAUSEN.**

AUFTRAGGEBER: **FA.**
BAU UNION GMBH & CO.
SCHOTTERWERKE HEINZ KG
RATHAUSSTRASSE 14
72820 SONNENBÜHL

DATUM: **19.11.2020**

INHALTSVERZEICHNIS

1 AUFGABENSTELLUNG S. 2

2 ERWEITERUNGSFLÄCHE S. 2

3 ABBAUPLANUNG S. 2

4 SPRENGPARAMETER S. 2

5 ALLGEMEINE ZUSAMMENHÄNGE S. 7

6 SPRENGIMMISSIONEN S. 9

6.1 Steinflug S. 9

6.2 Erschütterungen S. 12

6.2.1 Erschütterungsmessungen S. 14

6.3 Beurteilungen der Erschütterungen S. 18

6.3.1 Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden S. 18

6.3.2 Einwirkungen auf Bauwerke S. 21

6.3.2.1 Einwirkungen auf “Wohngebäude“ S. 22

6.3.2.2 Einwirkungen auf “Gewerblich genutzte Bauten“ S. 24

6.3.2.3 Einwirkungen auf die Kirche St. Vitus S. 26

6.4 Lärm S. 27

6.5 Staub S. 29

7 ELEKTRISCHE ZÜNDUNG S. 29

8 ZUSAMMENFASSUNG S. 30

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Fa. Bau Union GmbH & Co, Schotterwerke Heinz KG, beantragt die Erweiterung ihres Steinbruchs bei Frommenhausen.

Das dort anstehende Gestein soll durch Sprengungen gelöst werden.

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

2 ERWEITERUNGSFLÄCHE

In der Abb. 1 ist in dem Lageplan im Maßstab 1:15.000 die Erweiterungsfläche rot eingetragen. Sie erschließt im Wesentlichen ein Gebiet im Süden und Osten des bestehenden Steinbruchs.

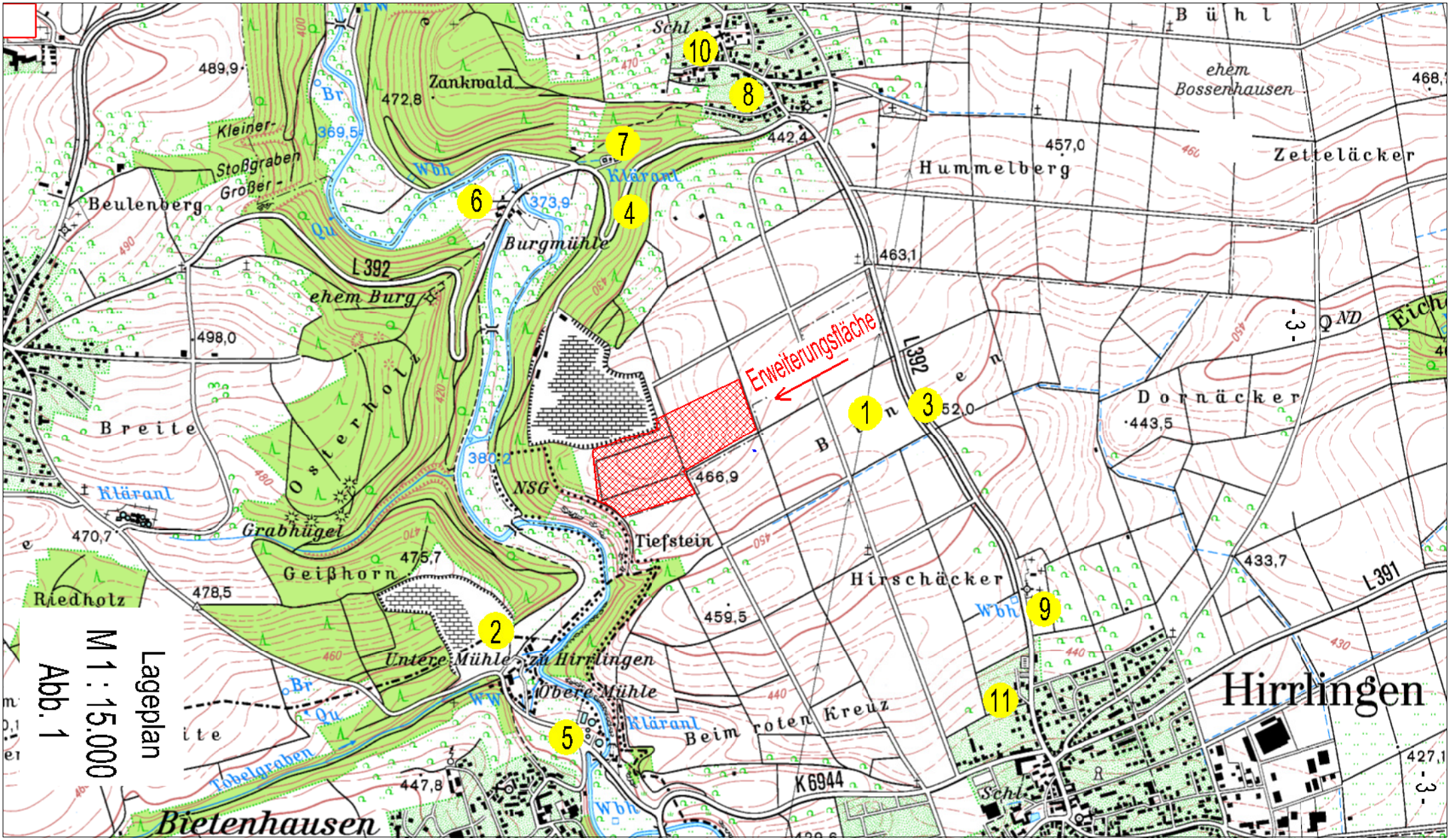
3 ABBAUPLANUNG

Das anstehende Gestein (Keuper / Trigonodusdolomit / Kalkstein) soll durch Sprengungen gelöst werden. In der Abb. 2 ist dazu das Regelprofil aufgetragen. Das abzubauende Gesteinspaket soll in mehreren Stufen mit Mächtigkeiten zwischen ca. 8 m (Keuper), 15 m (Trigonodusdolomit) und 20 m – 30 m (Kalkstein) gewonnen werden.

Der an der Oberfläche anstehende Lößlehm kann ohne Sprengungen mechanisch abgebaut werden.

4 SPRENGPARAMETER

Für den Abbau des Gesteins werden maximale Sprengparameter für

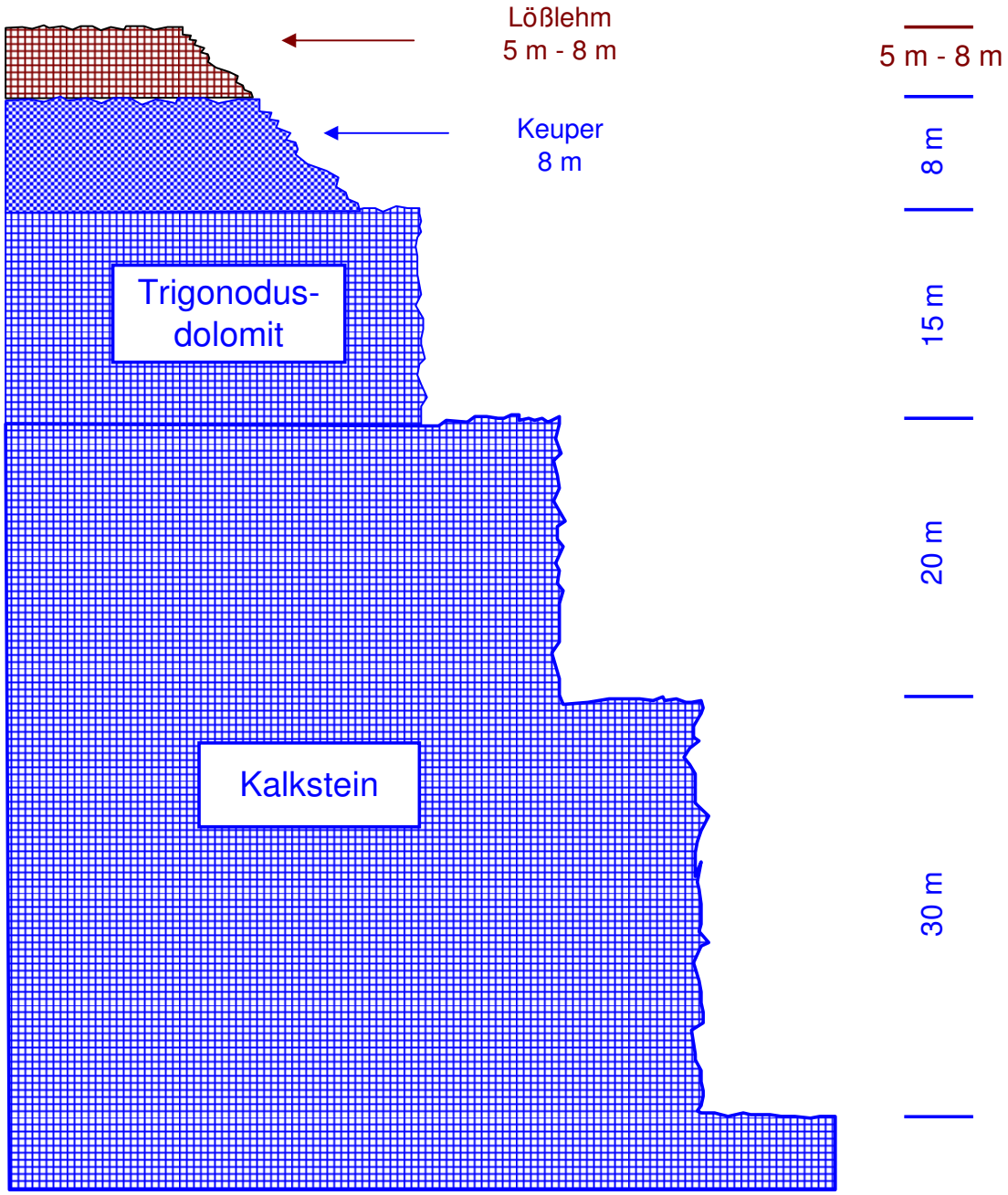


1:	Hochspannungsleitung:	r = 300 m	7:	Kläranlage Burgmühle	r = 750 m
2:	Untere Mühle:	r = 440 m	8:	Ortslage Frommenhausen	r = 760 m
3:	Landstraße L 392:	r = 460 m	9:	Wasserbehälter	r = 890 m
4:	Landstraße L 392	r = 530 m	10:	Kirche St. Vitus	r = 1000 m
5:	Kläranlage Obere Mühle	r = 590 m	11:	Ortslage Hirrlingen	r = 1050 m
6:	Ortslage Burgmühle	r = 730 m			

Top. Karte 1:25000 Baden-Württemberg, Maßstab 1:14838

© Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2007

Regelprofil



Maßstab 1 : 500

Abb. 2

den Betrieb angegeben, die sich beim Abbau im bisherigen Steinbruch bewährt haben.

Es wird jedoch immer erforderlich sein, diese jeweils an die örtlichen Gegebenheiten so anzupassen, dass auch kleinere Sprengungen (mit reduzierten Parametern) durchgeführt werden können.

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 Wandhöhe bis zu 30 m als Einreihensprengungen vorgesehen.

Die dabei einzusetzenden maximalen Sprengparameter sind in der Tabelle I angegeben.

Für die Sprengungen im Keuper ist darauf zu achten, dass im Bereich von aufgelockerten Schichten kein Sprengstoff eingebracht wird. und der Endbesatz mindestens 3,0 m beträgt.

Bei jeder Sprengung wird zusätzlich die optimale Ladungsverteilung durch eine Wandvermessung bestimmt.

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.

Bei den Sprengarbeiten sind die: "*Technische Regel zum Sprengstoffrecht Sprengarbeiten (Spreng TR310 – Sprengarbeiten v. 5.10.2016)*" zu beachten.

TABELLE I

Maximale Sprengparameter in Abhängigkeit von der Wandhöhe

Einreihensprengungen	**Regelabbau**			**Keuper**
Wandhöhe (senkrecht)	**15 m**	**20 m**	**30 m**	**8 m**
Bohrlochneigung	**ca. 85°**	**ca. 85°**	**ca. 85°**	**ca.85°**
Bohrlochvorgabe	**3,5 m**	**3,5 m**	**3,5 m**	**3,5 m**
Bohrlochabstand	**3,5 m**	**3,5 m**	**3,5 m**	**3,5 m**
Bohrlochdurchmesser	**95 mm**	**95 mm**	**95 mm**	**95 mm**
Abgesprengtes Gesteins-volumen je Bohrloch	**184 m³**	**245 m³**	**368 m³**	**98 m³**
Spezifischer Sprengstoff-aufwand	**ca. 270 g/m³**	**ca. 270 g/m³**	**ca. 270 g/m³**	**ca. 250 g/m³**
Lademenge je Bohrloch L	**50 kg**	**67,5 kg**	**100 kg**	**25 kg**
Lademenge je Zündzeit-stufe L_{ZZst}	**50 kg**	**67,5 kg**	**100 kg**	**25 kg**
Lademetergewicht L_l	**4,2 kg/m**	**4,0 kg/m**	**3,7 kg/m**	**5,0 kg/m**
Anzahl der Bohrlöcher	**20**	**20**	**20**	**20**
Gesamtlademenge	**1000 kg**	**1350 kg**	**2000 kg**	**500 kg**
Zündung: Kurzzeitzünder Klasse II (U, 25 Milli-sekunden oder gleich-wertige)	**Klasse II**	**Klasse II**	**Klasse II**	**Klasse II**
Endbesatz	**3,0 m**	**3,0 m**	**3,0 m**	**3,0 m**
Zwischenbesatz	**nach Bedarf**	**nach Bedarf**	**nach Bedarf**	**nach Bedarf**

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 Vor-loch 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. Um die Steinfluggefahr zu minimieren ist bei diesen Bohrungen auf eine hohe Richtungsgenauigkeit zu achten.

Generell ist bei Sprengungen aus dem Zwang exakt zu bestimmen, welches Volumen mit jedem Bohrloch zu lösen ist. Abhängig davon ist über den optimalen Sprengstoffaufwand je m^3 (ermittelt aus den Sprengungen in diesem Steinbruch) die Lademenge je Bohrloch zu bestimmen.

Da die Lademenge in dem Vorloch geringer als in den “normalen Bohrlöchern“ ist, ist dabei von geringeren Erschütterungen auszugehen.

Es sind auch andere Bohrlochanordnungen beim Sprengen mit nur einer freien Seite möglich.

5 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 (Tiefe, Vorgabe, Abstand) 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.

Vorhandene Immissionskennwerte werden hinsichtlich Ihrer Erschütterungswirkung geprüft und gegebenenfalls bei den folgenden Sprengungen berücksichtigt.

6 SPRENGIMMISSIONEN

6.1 Steinflug

Übermäßiger Steinflug entsteht bei Sprengungen nur durch lokale Überladung. Dabei kann man unterscheiden zwischen:

- Steinflug nach oben aus dem Bohrlochmund
- Steinflug aus der Steinbruchwand

Steinflug nach oben kann durch einen genügenden Endbesatz sicher verhindert werden. Die angegebenen 3,0 m sind dafür ausreichend.

Übermäßiger Steinflug aus der Wand tritt auch nur bei lokaler Überladung auf. Dies kommt in der Praxis dann vor, wenn durch verlaufende Bohrlöcher oder durch Ausbrüche in der Wand der eingebrachte Sprengstoff zu wenig Gestein zur Zertrümmerung vorfindet.

Der Gefahr von verlaufenden Bohrlöchern kann durch den Einsatz eines geeigneten Bohrgerätes und durch sorgfältiges Bohren vorgebeugt werden. Außerdem kann der Verlauf der Bohrung durch das Ablassen einer Taschenlampe geprüft werden.

Wenn Ausbrüche oder geschwächte (übermäßig zerrüttete) Bereiche in der Wand zu erkennen sind, so ist dort die Ladedichte durch den Einsatz von Zwischenbesatz zu verringern. Im Zweifelsfall sollte die erforderliche Sprengstoffmenge durch eine Wandvermessung ermittelt werden.

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.

[I] $\mathbf{q_s = L_{lm} / w^2}$

L_{lm}: Gewicht der Ladesäule in kg je m.

w: reale Vorgabe in m

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

Unmäßiger Steinflug wird demnach verhindert, wenn bei Lademetergewichten von bis zu L_{lm} = 7,8 kg/m der spezifische Sprengstoffaufwand q_s kleiner:

$\mathbf{q_s < 0{,}75\ kg/m^3}$ **Steinflugverhinderung**

ist.

Das Lademetergewicht berechnet sich aus der Länge der Ladesäule l (bei 15 m Wandhöhe: l = 12 m (Wandhöhe 15 m - Endbesatz 3 m)) und der Gesamtlademenge L = 50 kg zu:

$$L_{lm} = 50\ kg / 12\ m = 4{,}2\ kg\ kg/m$$

(Bei den Wandhöhen 20 m und 30 m ist das Lademetergewicht L_{lm} mit 3,7 kg/m bzw. 3,8 kg/m entsprechend geringer.)

Mit einer Vorgabe von w_V = 3,5 m und einem Endbesatz von w_E = 3,0 m (der kleinere Wert für den Endbesatz ist hier maßgebend) ergibt sich daraus ein "Spezifischer Sprengstoffaufwand q_s":

$$\mathbf{q_s = L_{lm} / w^2 = 4{,}2 / 3{,}0^2 = 0{,}47\ kg/m^3}$$

Dies liegt deutlich unterhalb des Grenzwertes (0,75 kg/m^3) zur Verhinderung von übermäßigem Steinflug, wobei der Bereich des nicht zu verhindernden Steinfluges auf etwa das 4-fache der Wandhöhe begrenzt wird.

Für den Bereich des Keupers ergibt sich maximal:

$$\mathbf{q_s = L_{lm} / w^2 = 5{,}0 / 3{,}0^2 = 0{,}56\ kg/m^3}$$

Auch dies liegt unterhalb des Grenzwertes von q_s = 0,75 kg/m³ zur Vermeidung von übermäßigem Steinflug.

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 folgende Maßnahmen verkleinert werden:

- Die Bruchwand wird lasergestützt 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.

Wenn die oben genannten Maßnahmen eingehalten werden, kann der Sprengbereich auf 200 m verkleinert werden.

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

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

6.2 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 Kalk- und Dolomitstein von folgendem Zusammenhang ausgegangen (Untersuchungen durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover):

(II) $$\hat{v}_i = k \times L_{Zzst}^{0,67} \times r^{-1,32}$$

v_i: Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Bauwerksfundament in mm/s.
k: Gebirgsfaktor
L_{Zzst} : Maximale Lademenge je Zündzeitstufe in kg.
r: Entfernung in m.

Seit 5.3.2019 ist in der Pilgerherberge, Raiffeisenstraße 16 in 71208 Rottenburg, (Ortslage Frommenhausen) ein Dauererschütterungsmessgerät aufgestellt. Es ist für jede Sprengung die maximale Einzelschwinggeschwindigkeit $\hat{v}_i$ am Messpunkt (Pilgerherberge, Fundament) und die maximale Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst} festgehalten.

In der Beobachtungszeit vom 5.3.2019 bis 5.12.2019 wurden 100 Sprengungen durchgeführt und deren Erschütterungen festgehalten. In der Abb. 3 ist die Häufigkeit dieser Messwerte für die 100 Sprengungen aufgetragen.

Darin sind alle Sprengungen mit maximalen Lademengen je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg, L_{Zzst} = 67,5 kg und L_{Zzst} = 50 kg aufgeführt.

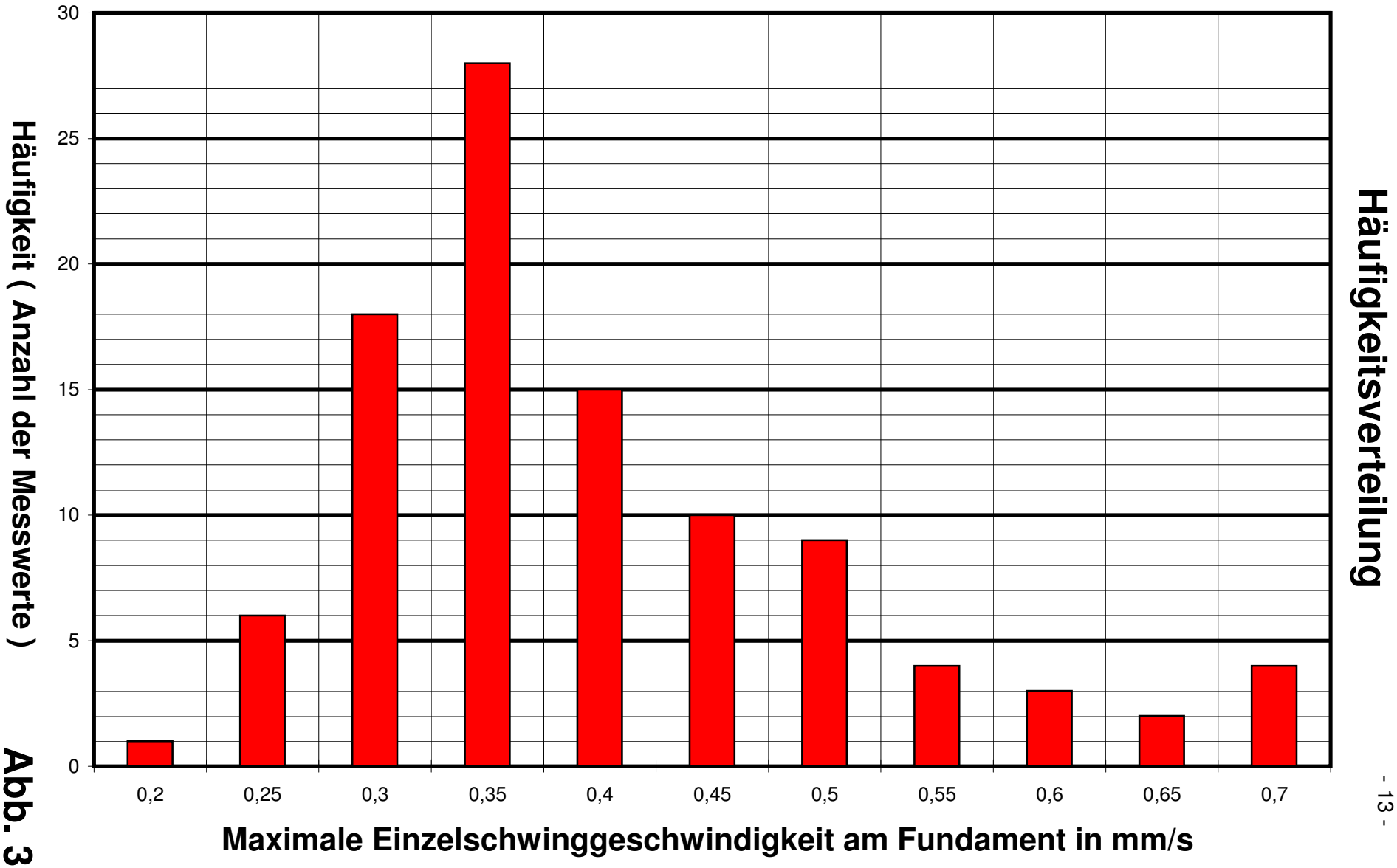

Häufigkeitsverteilung
Häufigkeit (Anzahl der Messwerte)
30
25
20
15
10
5
0
0,2
0,25
0,3
0,35
0,4
0,45
0,5
0,55
0,6
0,65
0,7
Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit am Fundament in mm/s

Abb. 3

Erfahrungsgemäß führten die Sprengungen mit der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg zu den größten Erschütterungen. Von den 100 Sprengungen hatten 34 eine maximale Lademenge je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg. Diese Sprengungen werden für die weitere Beurteilung zugrunde gelegt.

6.2.1 Erschütterungsmessungen

Unter der vereinfachten Annahme einer einheitlichen Entfernung zwischen den Sprengstellen und dem Messpunkt in der Pilgerherberge von r = 840 m kann nach Gleichung (IIa) durch die Erschütterungsmessungen ($\hat{v}_i$) der Gebirgsfaktor k bestimmt werden, der im Wesentlichen (neben Lademenge und Entfernung) die Größe der Erschütterungen bestimmt:

(IIa) $$k = \hat{v}_i \times L_{Zzst}^{-0,67} \times r^{1,32}$$

k: Gebirgsfaktor
v_i: Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Bauwerksfundament in mm/s.
L_{Zzst} : Maximale Lademenge je Zündzeitstufe in kg.
r: Entfernung in m.

Damit ist für den Steinbruch Frommenhausen eine objektbezogene Beziehung zwischen maximaler Einzelschwinggeschwindigkeit $\hat{v}_i$

an einem Gebäudefundament, maximaler Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst} und Entfernung zur Sprengstelle r möglich.

Da die größten Erschütterungen beim Einsatz von L_{Zzst} = 100 kg auftreten, wurden diese Sprengungen (insgesamt 34 Sprengungen) zur Berechnung des k-Wertes herangezogen.

Dieser k-Wert ist erfahrungsgemäß nicht konstant, sondern ordnet sich näherungsweise an eine Normalverteilung an.

In der Abb. 4 ist die Normalverteilung der k-Werte (berechnet nach der Gleichung (IIa) mit L_{ZZst} = 100 kg, r = 840 m und den jeweiligen maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten $\hat{v}_i$ aufgetragen.

Eine gute Übereinstimmung zwischen den gemessenen Werten (rote Kurve) und den theoretisch berechneten (blaue Kurve) ergibt sich mit den Größen:

Mittelwert: $k_M = 120$

Standartabweichung; $k_{SA} = 40$

für den Gebirgsfaktor in der Gleichung (II).

Der 99 %-Wert errechet sich aus den obigen Werten nach:

$$k_{99\%} = k_M + 2{,}33 \times k_{SA}$$
$$k_{99\%} = 213$$

Die 99%-Wahrscheinlichkeit ist aber sicher als oberste Grenze für die Erschütterungen anzusehen.

Das bedeutet, dass sich daraus die maximal an einem Gebäudefundament auftretenden Erschütterungen nach:

(IIb) $$\hat{v}_i = 213 \times L_{Zzst}^{0,67} \times r^{-1,32}$$

v_i: Maximale Einzelschwinggeschwindigkeit an einem Bauwerksfundament in mm/s.
k: Gebirgsfaktor
L_{Zzst}: Maximale Lademenge je Zündzeitstufe in kg.
r: Entfernung in m.

berechnen lassen.

In der Tabelle V (im Anhang, letzte Seite) sind auf der Grundlage dieses Zusammenhangs für die verschiedenen Bauwerke im Einflussbereich der Sprengungen die zu erwartenden maximalen

Steinbruch Frommenhausen 2019
Messpunkt Pilgerherberge

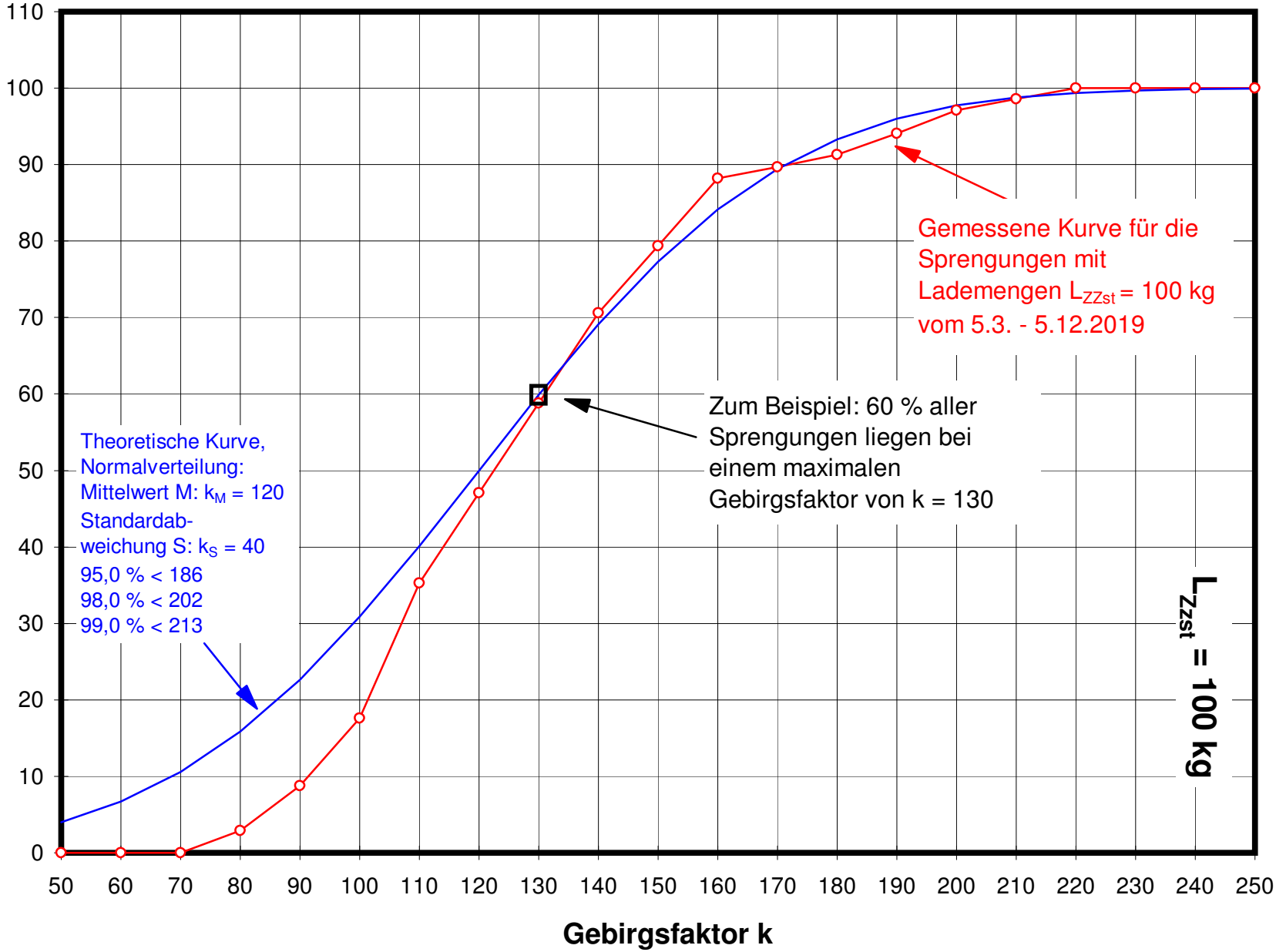


Abb. 4

Belastungen für die maximale Lademenge je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg aufgeführt.

Für die Sprengungen mit den kleineren Lademengen je Zündzeitstufe sind die Erschütterungen entsprechend geringer:

für L_{Zzst} = 67,5 kg: 77 % (von L_{Zzst} = 100 kg)
für L_{Zzst} = 50,0 kg: 63 % (von L_{Zzst} = 100 kg)

Generell gilt dies nur für eine einzige Sprengung, nämlich für die, die dem genannten Objekt am nächsten liegt. Alle anderen Sprengungen haben eine größere Entfernung zu den jeweiligen Bauwerken und führen deshalb zu geringeren Immissionen.

In der Spalte 2 der Tabelle V (im Anhang) ist der Maximalwert der zu erwartenden Einzelschwinggeschwindigkeiten nach der Gleichung (IIb) an einem Bauwerksfundament für die maximale Lademenge von L_{Zzst} = 100 kg angegeben.

Unter der Annahme einer Überhöhung der Bewegungen zwischen Obergeschoss und Fundament um den Faktor 3,0 sind in der Spalte 3 bei den relevanten Bauwerken die maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten für die Obergeschosse berechnet.

Aus diesen Bewegungen in den Obergeschossen wird dann der *"Schätzwert des gleitenden Effektivwertes KB^*_{Fmax}"* für die bewohnten Gebäude abgeleitet.

Dieser ist, bei nicht zu geringen Frequenzen und Einzelereignissen ohne Resonanzbeteiligung, das 0,42 – fache der maximalen Einzelschwinggeschwindigkeit $\hat{v}_i$ (gemessen in mm/s).

KB^*_{Fmax} selbst ist dimensionslos und als Maximalwert in der Spalte 4 angegeben.

In der letzten Spalte (5) wird die vorherrschende Frequenz dieser Erschütterungen in Abhängigkeit von der Entfernung r abgeschätzt.

6.3 Beurteilung der Erschütterungen

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..

6.3.1 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.

Diese *"Oberen Anhaltswerte* A_o*"* 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:

A_o = 3 **Sprengungen ganztägig**

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:

A_o = 6 **Sprengzeiten beschränkt**

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_o = 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:

A_o = 5 **Sprengungen ganztägig**

Die beiden anderen Anhaltswerte ("Sprengzeiten beschränkt" und "Ausnahmefälle") sind identisch mit denen für "Wohngebiete".
Für ***"Gewerbe- und Industriegebiete"*** gilt:

A_o = 6 **Sprengungen ganztägig**

Die beiden anderen Anhaltswerte ("Sprengzeiten beschränkt" und "Ausnahmefälle") entsprechen ebenfalls denen für "Wohngebiete".

Es ergeben sich damit die Beurteilungen für bewohnte Gebäude (maßgebend die höheren Werte in den Obergeschossen) beim Einsatz der maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg in der geringstmöglichen Entfernung nach Tabelle II.

TABELLE II

Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden

Maximaler KB^*_{Fmax} – Wert für L_{Zzst} = 100 kg (Größte mögliche Belästigung für die Sprengung in der geringstmöglichen Entfernung, Eintrittswahrscheinlichkeit < 1,0 %; Anhaltswert für Sprengungen ganztägig.			
	KB^*_{Fmax} OG	Anhaltswert zur Vermeidung ereblicher Belästigung	Ausschöpfungsgrad des Anhaltswertes
Ortslage Untere Mühle (2)	KB^*_{Fmax} = 1,9	A_o = 5 (Mischgebiet)	38 %
Ortslage Burgmühle (6)	KB^*_{Fmax}= 0,98	A_o = 5 (Mischgebiet)	20 %
Ortslage Frommenhausen (8)	KB^*_{Fmax}= 0,92	A_o = 3 (Wohngebiet)	31 %
Kirche St. Vitus (10)	KB^*_{Fmax}= 0,64	A_o = 3 (Wohngebiet)	21 %
Ortslage Hirrlingen (11)	KB^*_{Fmax}= 0,60	Ao = 3 (Wohngebiet)	20 %

Man erkennt, dass im ungünstigsten Fall der Anhaltswert für die Vermeidung einer erheblichen Belästigung für die “Ortslage Untere Mühle (2)“ nur zu 38 % ausgeschöpft wird.

Damit ist es auszuschließen, dass es durch diese Erschütterungen bei den Sprengungen zu erheblichen (und damit unzumutbaren) Belästigungen der Bewohner in den Gebäuden der umliegenden Ortslagen kommen kann.

Dies ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass die statistisch größtmöglichen Erschütterungen zugrunde gelegt wurden und die Ausnahmefälle (Überschreitungen bis A_o = 8 für bis zu 10 Sprengung pro Jahr) noch in Anspruch genommen werden können.

6.3.2 Einwirkungen auf Bauwerke

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

Für die Beurteilung der Einwirkungen auf Gebäude ist der Teil 3, der DIN 4150, *„Einwirkungen auf bauliche Anlagen“*, Norm Dezember 2016, heranzuziehen.

Dort sind für die maximalen Einzelschwinggeschwindigkeiten $\hat{v}_i$ (die Komponenten mit den größten Amplituden an jedem Messpunkt) an einem Bauwerksfundament frequenzabhängige Anhaltswerte angegeben.

Für die Bewegungen in den obersten Obergeschossen gibt es einen frequenzunabhängigen Anhaltswert.

Werden diese Anhaltswerte eingehalten, so ist nicht zu erwarten, dass es dadurch zu Schäden im Sinne einer Gebrauchsminderung des Bauwerkes kommt. Dies trifft auch z. B. auf Risse im Putz zu, die entsprechend dieser Norm bei Wohngebäuden als Gebrauchsminderung eingestuft werden.

6.3.2.1 Einwirkungen auf “Wohngebäude“

In der Abb. 5 ist für kurzzeitige Erschütterungen der Verlauf dieser frequenzabhängigen Anhaltswerte für die maximale Einzelschwinggeschwindigkeit $\hat{v}_i$ an einem Fundament für *"Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und Nutzung gleichartige Gebäude"* als durchgezogene, rote Linie zu sehen.

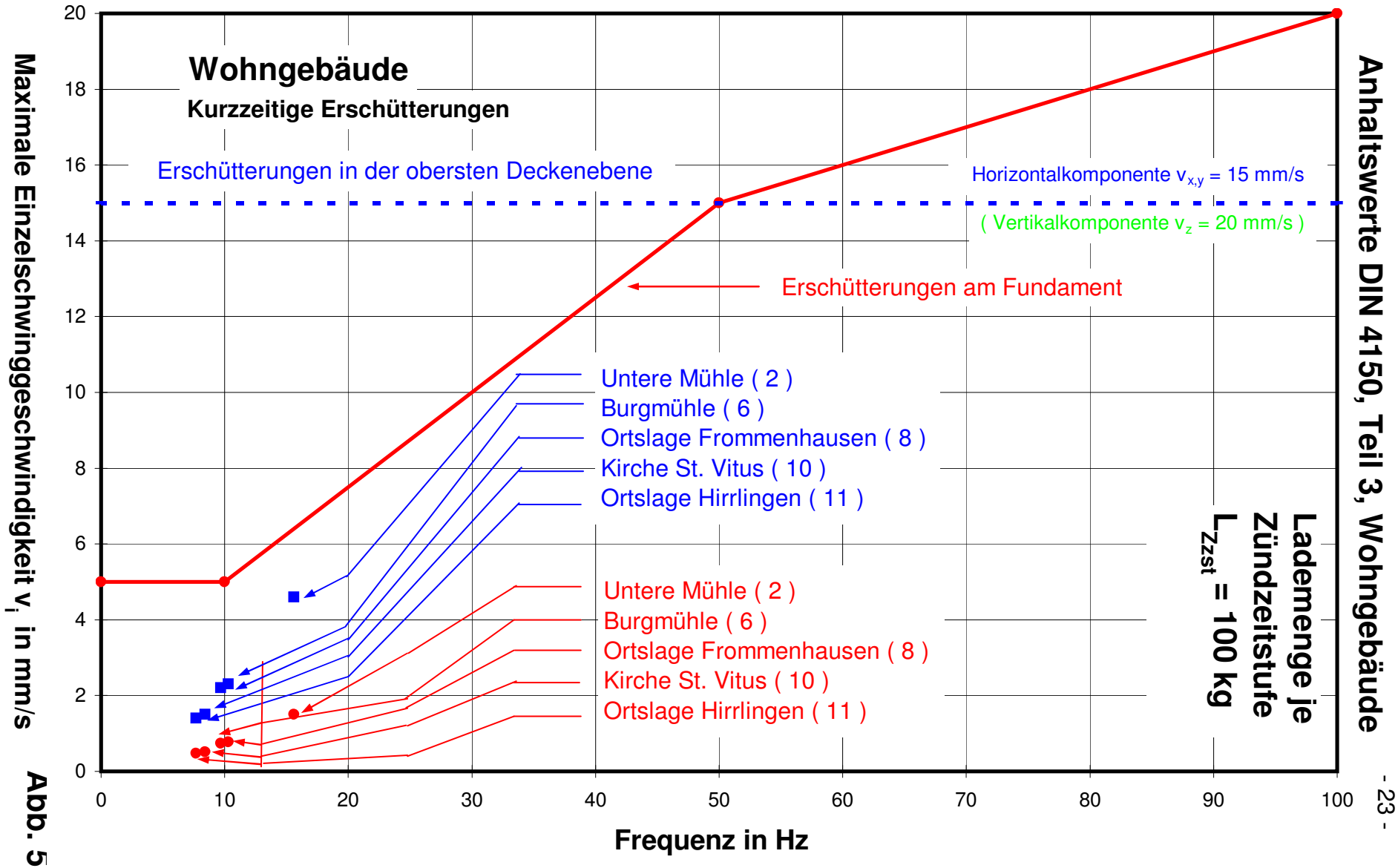
Die blaue, gestrichelte Linie gibt den (frequenzunabhängigen) Anhaltswert bei $\hat{v}_i$ = 15 mm/s für die horizontalen Bewegungen in der obersten Deckenebene wieder.

Abhängig von ihrer erwarteten vorherrschenden Frequenz (überschlägig $f = 1500 \times r^{-0,75}$; f in Hz, r in m) sind die maximal möglichen Erschütterungen an den verschiedenen Orten als rote Punkte (Fundamente) und als blaue Quadrate (Obergeschosse) für die maximale Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst} = 100 kg eingetragen.

Es sind die roten Punkte mit der durchgezogenen, roten Kurve und die blauen Quadrate mit der gestrichelten, blauen Kurve zu vergleichen. Es liegen alle roten Punkte und blauen Quadrate deutlich unterhalb der jeweiligen Anhaltswerte. Es werden maximal 30 % des Anhaltswertes ausgeschöpft (Ortslage Untere Mühle (2), OG)

Damit ist auszuschließen, dass es durch die Sprengerschütterungen zu Schäden an den Gebäuden der angrenzenden Wohngebiete kommen kann.

In der Tabelle III sind diese Ergebnisse zusammengefasst.



Anhaltswerte DIN 4150, Teil 3, Wohngebäude

Abb. 5

TABELLE III

Einwirkungen auf *"Wohngebäude"*

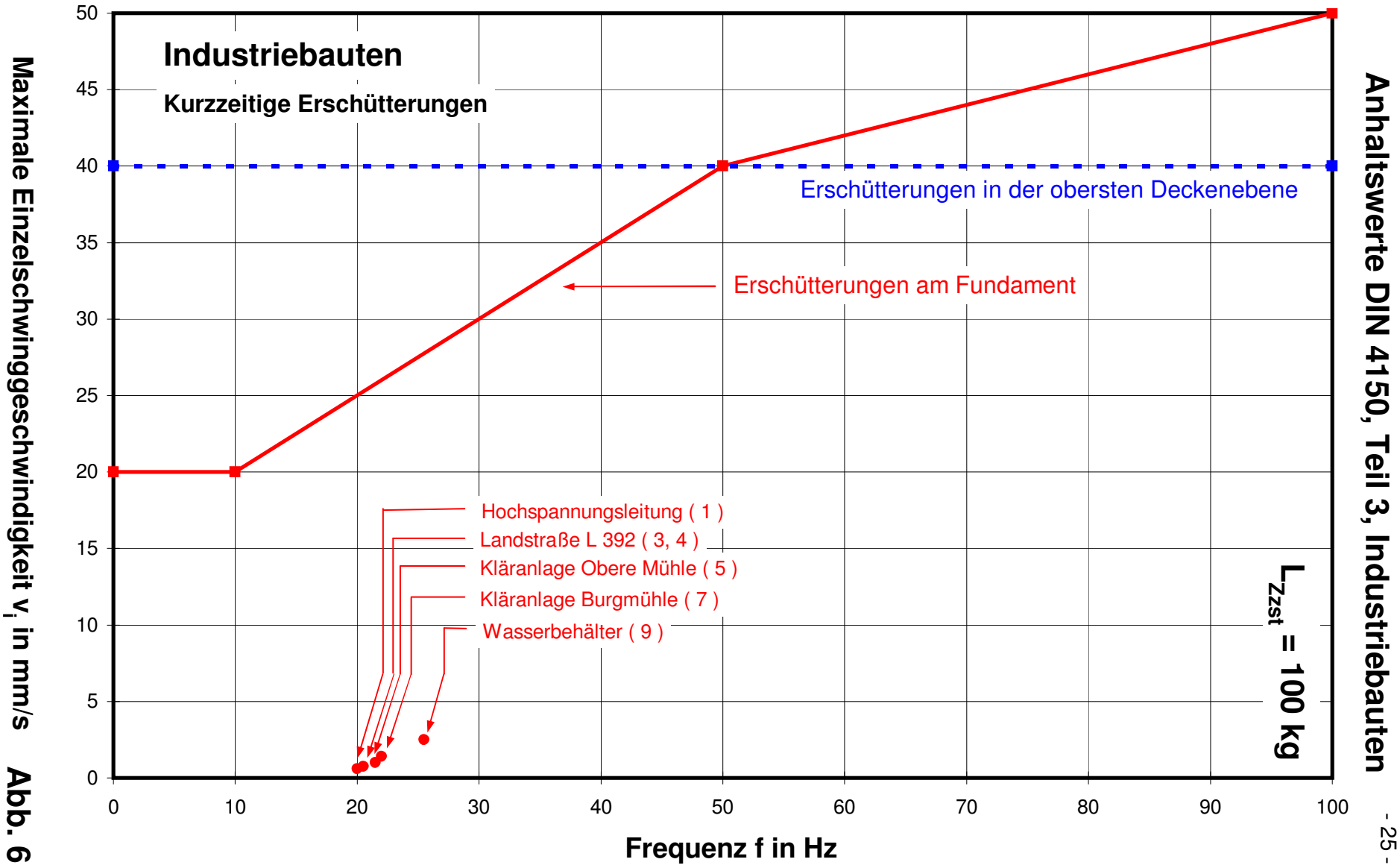
Maximale Erschütterungen für L_{Zzst} = 100 kg, (Größte mögliche Erschütterungen für die Sprengung in der geringstmöglichen Entfernung, Eintrittswahrscheinlichkeit < 1,0 %,			
	$\hat{v}_i$ Fundament $\hat{v}_i$ Obergeschoss	Anhaltswert zur Vermeidung von Gebäudeschäden	Ausschöpfungsgrad des Anhaltswertes
Ortslage Untere Mühle (2)	$\hat{v}_i$ = 1,5 mm/s $\hat{v}_i$ = 4,5 mm/s	$\hat{v}_i$ = 6,50 mm/s $\hat{v}_i$ = 15,00 mm/s	23 % 31 %
Ortslage Burgmühle (6)	$\hat{v}_i$ = 0,77 mm/s $\hat{v}_i$ = 2,3 mm/s	$\hat{v}_i$ = 5,25 mm/s $\hat{v}_i$ = 15,00 mm/s	15 % 15 %
Ortslage Frommenhausen (8)	$\hat{v}_i$ = 0,73 mm/s $\hat{v}_i$ = 2,2 mm/s	$\hat{v}_i$ = 5,00 mm/s $\hat{v}_i$ = 15,00 mm/s	14 % 15 %
Ortslage Hirrlingen (11)	$\hat{v}_i$ = 0,48 mm/s $\hat{v}_i$ = 1,4 mm/s	$\hat{v}_i$ = 5,00 mm/s $\hat{v}_i$ = 15,00 mm/s	9 % 9 %

6.3.2.2 Einwirkungen auf "Gewerblich genutzte Bauten"

Als *"Gewerblich genutzte Bauten"* sind einzuordnen:

- Hochspannungsmast (1)
- Landstraße L 392 (3, 4)
- Kläranlage Obere Mühle (5)
- Kläranlage Burgmühle (7)
- Wasserbehälter (9)

Für sie gelten die Anhaltswerte nach Abb. 6. Die prognostizierten maximalen Fundamenterschütterungen sind dort als rote Punkte eingetragen und mit der roten Kurve zu vergleichen. Obergeschosse gibt es bei diesen Bauwerken nicht.



Anhaltswerte DIN 4150, Teil 3, Industriebauten

Abb. 6

Alle Punkte liegen weit unterhalb der Anhaltswerte. Es werden maximal 10 % der Anhaltswerte (2,5 mm/s zu 25,5 mm/s (Hochspannungsmast (1) ausgeschöpft.

In der Tabelle IV sind die Werte nochmals zusammengefasst

TABELLE IV

Einwirkungen auf *"Gewerblich genutzte Bauten"*

Maximale Erschütterungen für L_{Zzst} = 100 kg, (Größte mögliche Erschütterungen für die Sprengung in der geringstmöglichen Entfernung, Eintrittswahrscheinlichkeit < 1,0 %,			
	$\hat{v}_i$ Fundament	Anhaltswert zur Vermeidung von Gebäudeschäden	Ausschöpfungs-grad des An-haltswertes
Hochspannungsmast (1)	$\hat{v}_i$ = 2,5 mm/s	$\hat{v}_i$ = 25,5 mm/s	10 %
Landstraße L 392 (3,4)	$\hat{v}_i$ = 1,4 mm/s	$\hat{v}_i$ = 22,0 mm/s	6 %
Kläranlage Obere Mühle (5)	$\hat{v}_i$ =1,0 mm/s	$\hat{v}_i$ = 21,5 mm/s	5 %
Kläranlage Burgmühle (7)	$\hat{v}_i$ = 0,75 mm/s	$\hat{v}_i$ = 20,5 mm/s	4 %
Wasserbehälter (9)	$\hat{v}_i$ = 0,60 mm/s	$\hat{v}_i$ = 20,0 mm/s	3 %

Negative Einwirkungen der Sprengerschütterungen auf diese Bauwerke sind deshalb auszuschließen.

6.3.2.3 Kirche St. Vitus

Die Kirche St. Vitus wird konservativ hier als "Besonders erschütterungsempfindlich und unter Denkmalschutz stehend" eingeordnet.

Damit sind reduzierte Anhaltswerte anzuwenden.

Die prognostizierten **maximalen Bewegungen** sind:

am Fundament: $\hat{v}_{iF}$ = **0,5 mm/s** **Prognose**
im Obergeschoß: $\hat{v}_{iO}$ = **1,5 mm/s**

(Wobei hier mit Obergeschoß höher liegende Gebäudeteile zu verstehen sind).

Die entsprechenden **Anhaltswerte** für die Schadensfreiheit sind:

am Fundament: $\hat{v}_{iF}$ = **3,0 mm/s** **Anhaltswerte DIN 4150**
im Obergeschoß: $\hat{v}_{iO}$ = **8,0 mm/s**

In der Abb. 7 ist der Verlauf dieser Anhaltswerte für die Messungen am Fundament (rote Linie, frequenzabhängig) und im Obergeschoss (blaue Linie, frequenzunabhängig) eingetragen.

Auch hier erkennt man den deutlichen Abstand der Prognose zu den Anhaltswerten. Maximal werden damit 19 % des Anhaltswertes ausgeschöpft (1,5 mm/s zu 8,0 mm/s).

Es ist deshalb davon auszugehen, dass diese maximalen Erschütterungen keinen negativen Einfluss auf das Kirchengebäude St. Vitus haben.

6.4 Lärm

Der größte Lärm geht bei Sprengungen vom so genannten "Sprengknall" aus. Dieser kann weitgehend verringert werden, wenn die für die Detonationsübertragung erforderliche Sprengschnur nicht über den Bohrlochmund herausragt. Sie sollte relativ kurz abgeschnitten werden und vor dem endgültigen Auffüllen des Endbesatzes mit dem Zünder in den oberen Teil der Bohrung eingebracht werden.

Wenn dies berücksichtigt wird, führt der Sprengknall zu keiner nennenswerten Erhöhung der Lärmbelastung. Durch die Detonation der Sprengstoffe in den Bohrungen selbst ergibt sich keine stärkere Lärmbelastung.

Anhaltswerte DIN 4150, Teil 3, Besonders erschütterungsempfindliche und besonders erhaltungswerte Gebäude

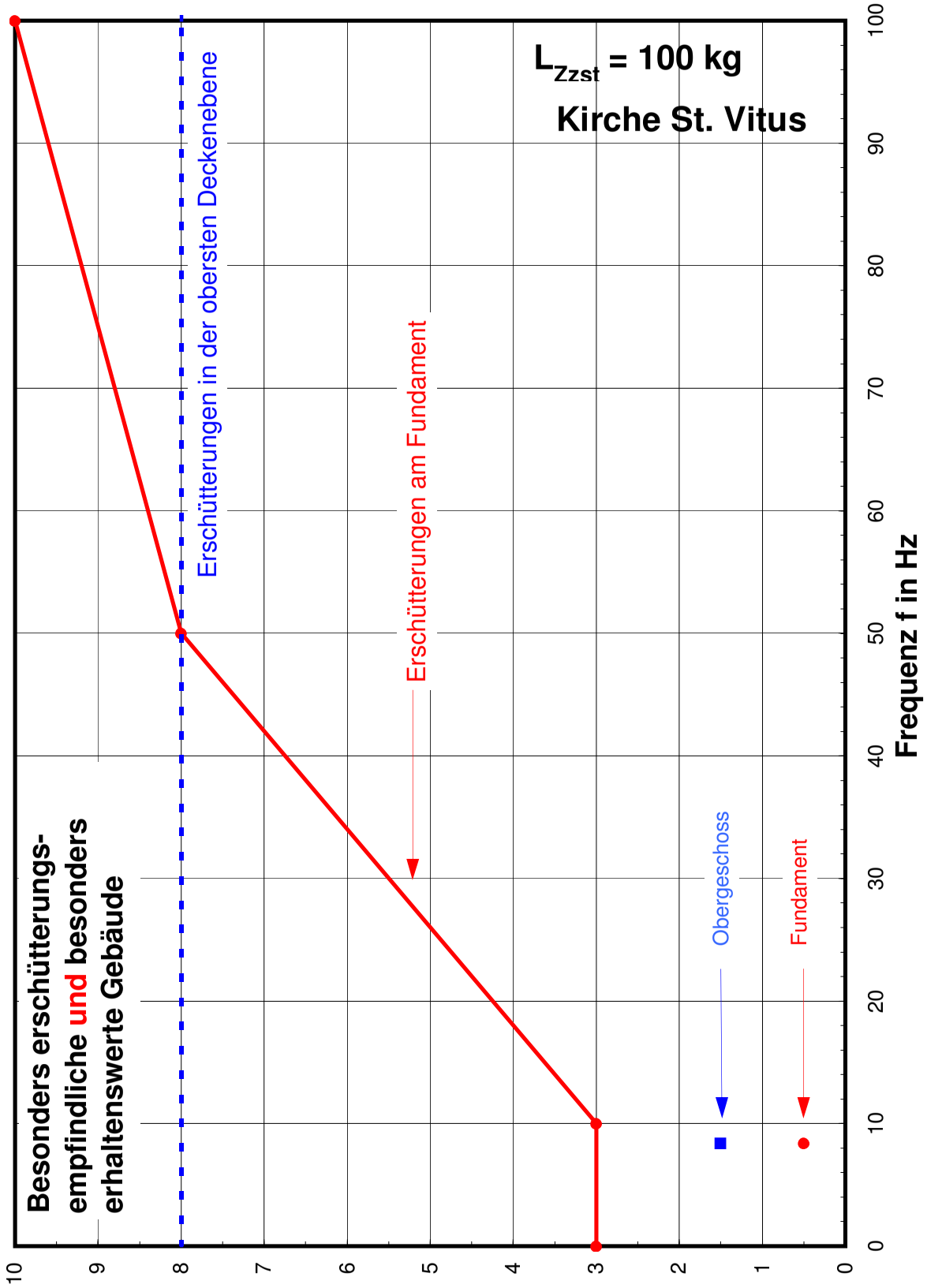


Abb. 7

Dasselbe gilt für das Aufprallen der Gesteinsmassen auf dem Boden.

6.5 Staub

Bei den Sprengungen selbst entsteht normalerweise wenig Staub. Zum einen sind in dem abgelagerten Gestein kaum größere Mengen an Staubpartikeln vorhanden. Diese entstehen auch nicht in nennenswertem Umfang durch den Sprengvorgang selbst.

Zum anderen ist das Gebirge bei fortlaufendem Abbau bergfeucht, was eine mögliche Staubentwicklung zusätzlich unterbindet.

7 ELEKTRISCHE ZÜNDUNG

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

Die Hochspannungsleitung hat mit einer Entfernung von r = 300 m einen deutlich höheren Abstand als der für den Einsatz von Zündern der Klasse II erforderliche Sicherheitsabstand von r = 50 m für Starkstrom - Freileitungen mit Stahlmasten.

Für nichtelektrische und elektronische Zünder gibt es ebenfalls keine Einschränkungen.

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 = 100 kg und je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg durchgeführt (eine Zeitstufe je Bohrloch).

Für Sprengungen im Keuper sind maximale Lademengen je Zündzeitstufe von L_{ZZst} = 25 kg vorgesehen.

Im Jahr 2019 wurden bei 34 Sprengungen mit maximalen Lademengen je Bohrloch und Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg in einem Gebäude in Frommenhausen (Pilgerherberge) die Erschütterungen gemessen.

Daraus konnte ein Zusammenhang für diesen Steinbruch zwischen maximaler Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst}, der Entfernung r einer Sprengstelle von einem Bauwerk und der einwirkenden maximalen Erschütterung $\hat{v}_i$ abgeleitet werden.

Damit ergab sich für die Erweiterung in diesem Steinbruch für den Einsatz einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe L_{Zzst} = 100 kg folgende Beurteilung:

Bezüglich der Auswirkungen auf Menschen in Gebäuden gilt folgendes:

- Es können im gesamten Gebiet die Sprengungen mit einer maximalen Lademenge je Zündzeitstufe von L_{Zzst} = 100 kg durchgeführt werden, ohne dass es in den benachbarten Wohngebieten zu einer erheblichen Belästigung der Menschen in Gebäuden durch die Sprengerschütterungen kommen kann.

Bezüglich der Schadensfreiheit von Bauwerken gilt folgendes:

- Für die Wohn- oder ähnlich strukturierten Gebäude sind keine Schäden durch die Sprengerschütterungen zu erwarten.

- Dasselbe gilt für die gewerblich genutzten Bauten.

- Die Einwirkungen auf die Kirche St. Vitus sind so gering, dass durch die Sprengerschütterungen negativen Einflüsse auf das Bauwerk sicher auszuschließen sind.

Beim Einsatz von L_{Zzst} = 67,5 kg bzw. L_{Zzst} = 50 kg sind die Erschütterungen entsprechend geringer.

Neckartailfingen 19.11.2020

Von der Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart
Dr. rer. nat.
Jürgen Wieck
Sachverständiger für
Sprengimmissionen und
Erschütterungen
öffentlich bestellt und vereidigt

J. Wieck

Dr. Jürgen Wieck

L = 100 kg

Maximale Sprengparameter und Erschütterungen

Geometrische Sprengparameter: Tiefe x Vorgabe x Abstand = 30 m x 3,5 m x 3,5 m = 368 m³

Spezifischer Sprengstoffaufwand: 270 g/m³

Maximale Lademenge je Bohrloch und Zündzeitstufe: L = 100 kg

Einzelschwinggeschwindigkeit am Fundament: $\hat{v}_i = 213 \times L^{0,67} \times r^{-1,32}$ ($\hat{v}_i$ in mm/s, L in kg, Entfernung r in m);
OG = 3,0 x Fundament; KB = 0,42 x $\hat{v}_i$

Spalte		1	2	3	4	5
		Minimale Entfernung	Fundament $\hat{V}_i$	Obergeschoss $\hat{V}_i$	Obergeschoß KB^*_{Fmax}	Vorherrschende Frequenz ($f=1500xr^{-0,75}$)
(1)	Hochspannungsleitungsmast	300 m	2,5 mm/s			21 Hz
(2)	Ortslage Untere Mühle	440 m	1,5 mm/s	4,5 mm/s	1,9	16 Hz
(3)	Landstraße L 392	460 m	1,4 mm/s			15 Hz
(4)	Landstraße L 392	530 m	1,2 mm/s			14 Hz
(5)	Kläranlage Obere Mühle	590 m	1,0 mm/s			13 Hz
(6)	Ortslage Burgmühle	730 m	0,77 mm/s	2,3 mm/s	0,98	11 Hz
(7)	Kläranlage Burgmühle	750 m	0,75 mm/s			11 Hz
(8)	Ortslage Frommenhausen	760 m	0,73 mm/s	2,2 mm/s	0,92	10 Hz
(9)	Wasserbehälter	890 m	0,60 mm/s			9 Hz
(10)	Kirche St.Vitus	1000 m	0,51 mm/s	1,5 mm/s	0,64	8 Hz
(11)	Ortslage Hirrlingen	1050 m	0,48 mm/s	1,4 mm/s	0,60	8 Hz

Anhaltswerte DIN 4150, Teil 2: **Vermeidung erheblicher Belästigungen für Bewohner in Gebäuden (A_o zu vergleichen mit KB^*_{Fmax})**

Sprengungen (tagsüber) ohne Vorwarnung bis zu 3 x täglich):

Reines oder allgemeines Wohngebiet	Mischgebiet	Gewerbe-/Industriegebiet
$A_o = 3$	$A_o = 5$	$A_o = 6$

Sprengungen werktags zwischen 7 – 13 und 15 – 19 Uhr, mit Vorwarnung (1 Sprengung/Tag):

Reines oder allgemeines Wohngebiet	Mischgebiet	Gewerbe-/Industriegebiet
$A_o = 6$	$A_o = 6$	$A_o = 6$

Bis zu 10 mal pro Jahr (Ausnahmefälle):

Reines oder allgemeines Wohngebiet	Mischgebiet	Gewerbe-/Industriegebiet
$A_o = 8$	$A_o = 8$	$A_o = 8$

Anhaltswerte DIN 4150, Teil 3:

Schadensfreiheit von Wohngebäuden:	Fundament::	$\hat{v}_i$ = 5 – 20 mm/s	(frequenzabhängig)
	Obergeschoß	$\hat{v}_i$ = 15 mm/s	(frequenzunabhängig)
Schadensfreiheit von Industriebauten:	Fundament::	$\hat{v}_i$ = 20 – 50 mm/s	(frequenzabhängig)
	Obergeschoß	$\hat{v}_i$ = 40 mm/s	(frequenzunabhängig)