



**Anlage 7a** zum Fakultativen Rahmenbetriebsplan  
mit integriertem 1. Hauptbetriebsplan und integrierter Raumverträglichkeitsprüfung

WBI GmbH, Im Technologiepark 3, 69469 Weinheim, Deutschland

**Knauf Gips KG**  
Jakob Herrmann  
Am Bahnhof 7

97346 Iphofen

Geschäftsführung / Management  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. Walter Wittke  
Dr.-Ing. Martin Wittke  
Bauass. Dr.-Ing. Bettina Wittke-Schmitt  
Dr.-Ing. Patricia Wittke-Gattermann

Registergericht Mannheim, HRB 716012  
USt-IdNr. DE121687772

Commerzbank Aachen  
Konto: 02 07 84 91 00, BLZ 390 800 05  
IBAN: DE95 3908 0005 0207 8491 00  
BIC: DRESDEFF390

Deutsche Bank Aachen  
Konto: 1 05 84 45, BLZ 390 700 20  
IBAN: DE13 3907 0020 0105 8445 00  
BIC: DEUTDE330390

17.08.2023, Wi-MWi-Dru

## **Erschließung Gipslagerstätte Altertheim, Stellungnahme Nr. 012, Sprengtechnik und Erschütterungen**

Sehr geehrter Herr Herrmann,  
sehr geehrte Damen und Herren,

in den Festgesteinen des oberen und mittleren Muschelkalks ist ein Sprengvortrieb für das Auffahren des Tunnels und für das Abteufen des Schachtes vorgesehen. Im vorliegenden Dokument wird auf die Erschütterungen als Auswirkungen der Sprengungen auf die nächstgelegenen Gebäude und deren Bewohner sowie auf die Sprengtechnik eingegangen.

Die Gebäude am östlichen Ortsrand von Oberaltertheim liegen ca. 1.100 m von der Rampe und ca. 1.200 m vom Schacht entfernt (Anlage 1).

Der Tunnel und der Schacht durchörteren die Schichten des oberen und des mittleren Muschelkalks. Dabei handelt es sich um die Verwitterungszone des Muschelkalks, Kalksteine mit Tonsteinzwischenlagen, Mergelkalksteine, Residualgesteine, Dolomite und Sulfatgestein (Anlage 2).

Der für das Lösen der Gesteine erforderliche spezifische Sprengstoffbedarf kann nach den Angaben in der Literatur in Abhängigkeit von der Querschnittsgröße abgeschätzt werden. Unter der Annahme eines Vollausbruchs werden nach diesen Angaben für den Regelquerschnitt der Rampe 1,05 bis 1,4 kg/m<sup>3</sup> und für die Ausweichstelle 0,95 bis 1,1 kg/m<sup>3</sup>

Sprengstoff benötigt. Damit beträgt die erforderliche Sprengstoffmenge für einen Abschlag mit einer maximalen Länge von 1,5 m für den Regelquerschnitt ca. 90 bis 120 kg und für die Ausweichstelle ca. 140 bis 160 kg (Anlagen 3 bis 5).

Für die Größe von Sprengerschütterungen stellt die Lademenge je Zündzeitstufe den entscheidenden Einflußfaktor dar.

Infolge von Sprengungen werden die einzelnen Teile eines Gebäudes zu Schwingungen angeregt. Für die Beurteilung kurzzeitiger Schwingungen sind die Maximalamplituden der Schwinggeschwindigkeit  $\max v$  und die Frequenz  $f$  maßgebend. Die maximale Schwinggeschwindigkeit nimmt mit dem Abstand zur Erschütterungsquelle infolge Dämpfung ab. Die Dämpfung hängt von der Struktur des Materials (z. B. Trennflächen im Fels) ab und ist frequenzabhängig.

Zur Beschreibung der Dämpfung der Maximalamplituden wird die in DIN 4150, Teil 1 angegebene Abstands-Lademengen-Beziehung für sprengbedingte Erschütterungen mit den Anpassungsparametern  $k$ ,  $b$  und  $m$  verwendet. Danach sind die Maximalamplituden der Schwinggeschwindigkeit ( $\max v$ ) vom Abstand zur Sprengstelle ( $R$ ) und von der Lademenge ( $L$ ) abhängig (Anlage 6). Die Parameter  $k$ ,  $b$  und  $m$  können aus Sprengerschüttungsmessungen abgeleitet werden. In der Anlage 6 sind diese Parameter für unterschiedliche Boden- und Felsschichten aus von WBI durchgeführten Auswertungen und aus der Literatur zusammengestellt.

In den Anlagen 7 und 8 ist die Dämpfung der Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit für Lademengen von 200 kg und für 50 kg dargestellt. Dabei wurde zum einen von einem Untergrund aus Sedimentgestein und zum anderen von einem Untergrund aus Dolomit ausgegangen. Für ein Sedimentgestein ist die Dämpfung geringer. In einem Abstand von 1.100 m vom Sprengort, der dem geringsten Abstand der Gebäude von der Rampe entspricht (s. oben), ergeben sich maximale Schwinggeschwindigkeiten von 0,64 mm/s bei einer Lademenge von 200 kg (Anlage 7) und von 0,28 mm/s bei einer Lademenge von 50 kg (Anlage 8).

Bei der Beurteilung der Erschütterungen an Gebäuden wird unterschieden in:

- Einwirkungen auf bauliche Anlagen (DIN 4150, Teil 3) und
- Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (DIN 4150, Teil 2).

Für die Einwirkung auf bauliche Anlagen enthält die DIN 4150, Teil 3 Anhaltswerte zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf unterschiedliche Gebäudearten. Die Anhaltswerte beziehen sich auf Fundamente und die oberste Deckenebene von

Gebäuden. Für Wohngebäude werden in Abhängigkeit von der Frequenz Anhaltswerte für die Fundamente von 5 bis 20 mm/s angegeben (Anlage 9). Die für die in der Nähe der Rampe liegenden Gebäude abgeschätzten maximalen Schwinggeschwindigkeiten überschreiten diese Grenzwerte auch bei einer Lademenge von 200 kg nicht ( $0,64 \text{ mm/s} < 5 \text{ mm/s}$ , Anlagen 7 und 9).

Zur Beurteilung der Einwirkung von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden wird in der DIN 4150, Teil 2 als Beurteilungsgröße die maximale, frequenzbewertete Schwingstärke  $KB_{F_{\max}}$  verwendet (Anlage 10). In die Berechnung geht neben der Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit  $\max v$  auch die Hauptstörfrequenz  $f$  ein. Diese entspricht der Frequenz mit der größten Amplitude im Amplitudenspektrum. Um diese zu ermitteln ist i. a. eine Frequenzanalyse erforderlich. Für die vorliegenden Betrachtungen wird die Frequenz  $f$  vereinfachend mit 10 Hz angenommen. Für die Bezugsfrequenz ist ein Wert  $f_0 = 5,6 \text{ Hz}$  vorgegeben, der Wert  $c_f$  wird für Einzelereignisse kurzer Dauer mit 0,6 angesetzt (Anlage 10).

Für selten auftretende, kurzzeitige Einwirkungen, wie z. B. Sprengungen, ist  $KB_{F_{\max}}$  mit Anhaltswerten  $A_0$  zu vergleichen, die für verschiedene Einwirkungsorte sowie auch für Tag und Nacht unterschiedlich sind. Wenn diese unterschritten werden, sind die Anforderungen der Norm eingehalten. Für durch Baumaßnahmen verursachte Erschütterungen gilt für Industrie-, Gewerbe-, Misch- und Wohngebiete ein Anhaltswert  $A_0$  von maximal 8. Dieser Wert entspricht einer zulässigen Schwinggeschwindigkeit von 21,6 mm/s in der Deckenebene und grob abgeschätzt einer zulässigen Schwinggeschwindigkeit von 7 mm/s am Fundament (Anlage 11, oben). Damit liegt dieser Grenzwert in der Größenordnung der Anhaltswerte zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke (s. oben) und wird auf der Grundlage der vorliegenden Abschätzungen für die an den Gebäuden auftretenden Schwinggeschwindigkeiten auch bei einer Lademenge von 200 kg nicht überschritten ( $0,64 \text{ mm/s} < 7 \text{ mm/s}$ , Anlagen 7 und 11).

Geht man dagegen von den deutlich strengeren Anhaltswerten für Erschütterungsimmissionen aus, die nach DIN 4150, Teil 2 im Allgemeinen (ohne die Ausnahme Baustellen-sprengungen) einzuhalten sind, so gilt zur Nachtzeit ein  $A_0$  von 0,3 für Mischgebiete. Dieser Wert entspricht einer zulässigen Schwinggeschwindigkeit von 0,81 mm/s in der Deckenebene und grob abgeschätzt einer zulässigen Schwinggeschwindigkeit von 0,3 mm/s am Fundament (Anlage 11, unten). Entsprechend der Abschätzung der Schwinggeschwindigkeiten an den Gebäuden wird dieser Grenzwert bei einer Lademenge von 50 kg nicht überschritten ( $0,28 \text{ mm/s} < 0,3 \text{ mm/s}$ , Anlagen 8 und 11).

Auch wenn die zuvor erläuterten Abschätzungen ergeben, dass die Grenzwerte für die Erschütterungen an den nächstliegenden Gebäuden auch mit vergleichsmäßig großen Lademengen eingehalten werden, wird empfohlen die maximalen Lademengen je Zündzeitstufe zunächst zu begrenzen. Mit einem konventionellen nichtelektrischen Zündsystem können beispielweise 18 Zündzeitstufen vorgesehen werden, die in Millisekundenabständen gezündet werden. Bei einer insgesamt erforderlichen Lademenge von zum Beispiel ca. 160 kg (s. oben) werden sich somit Lademengen von ca. 9 kg pro Zündzeitstufe ergeben.

Mit Beginn der Sprengarbeiten sind Schwingungsmessungen in oder an den jeweils betroffenen Gebäuden gemäß DIN 4150, Teil 3 durchzuführen und auszuwerten. Mit den Schwingungsmessgeräten (Geophone) werden die Schwinggeschwindigkeiten in den drei unterschiedlichen Richtungen über die Zeit gemessen. Die Ergebnisse der Messungen sind mit den Grenzwerten zu vergleichen. In Abhängigkeit von den Messwerten können die maximalen Lademengen je Zündzeitstufe für die weiteren Sprengungen angepasst werden.

Die Sprengungen sind gebirgsschonend und profilgenau durchzuführen, um Rissbildungen im Gebirge über das vorgesehene Profil hinaus möglichst zu vermeiden. Dafür sollten Kranzbohrlöcher mit einem Abstand von ca. 0,3 m hergestellt werden. Die Lademengen im Profilbereich sind zu begrenzen.

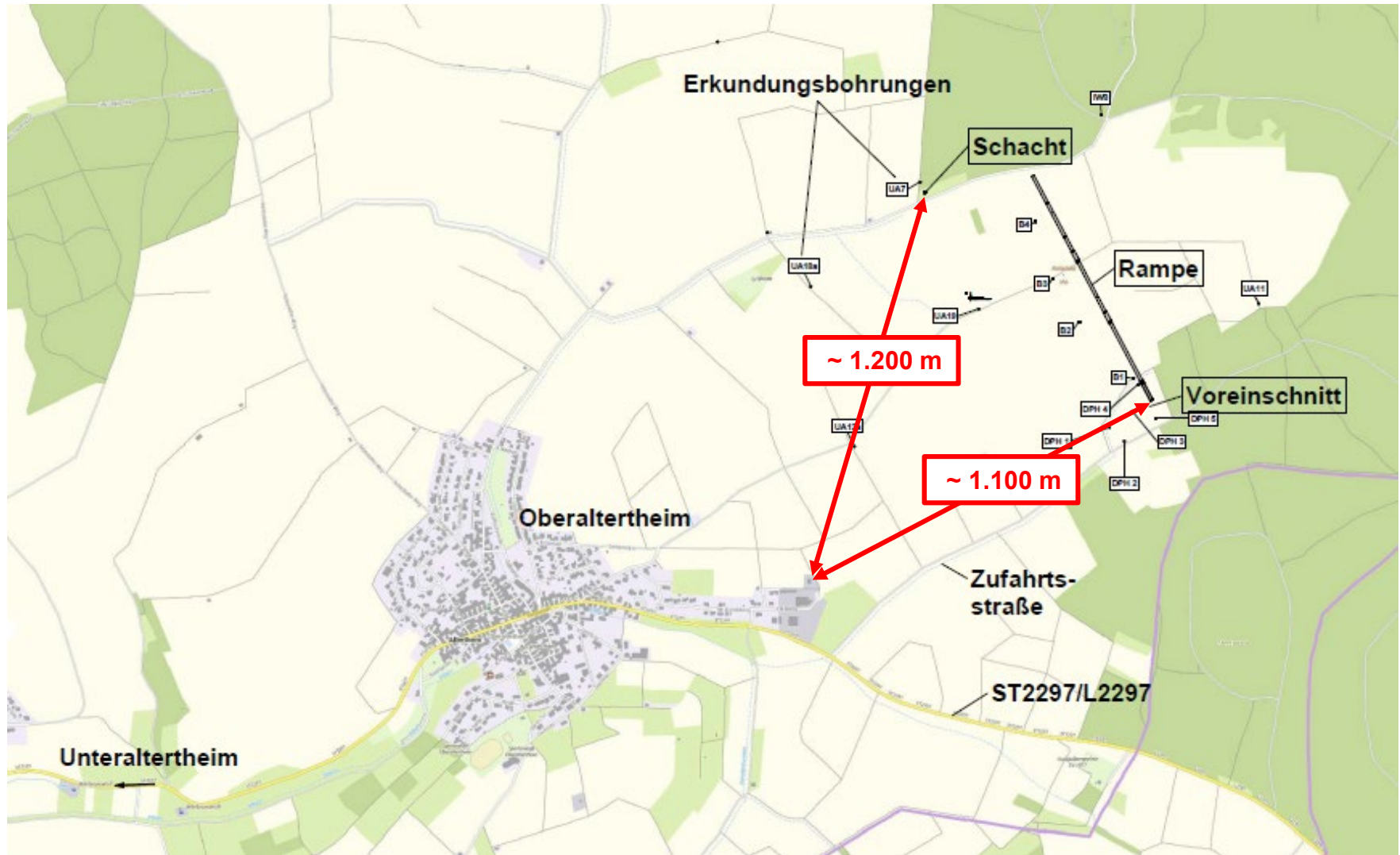
Für Rückfragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Prof. Dr.-Ing. Walter Wittke

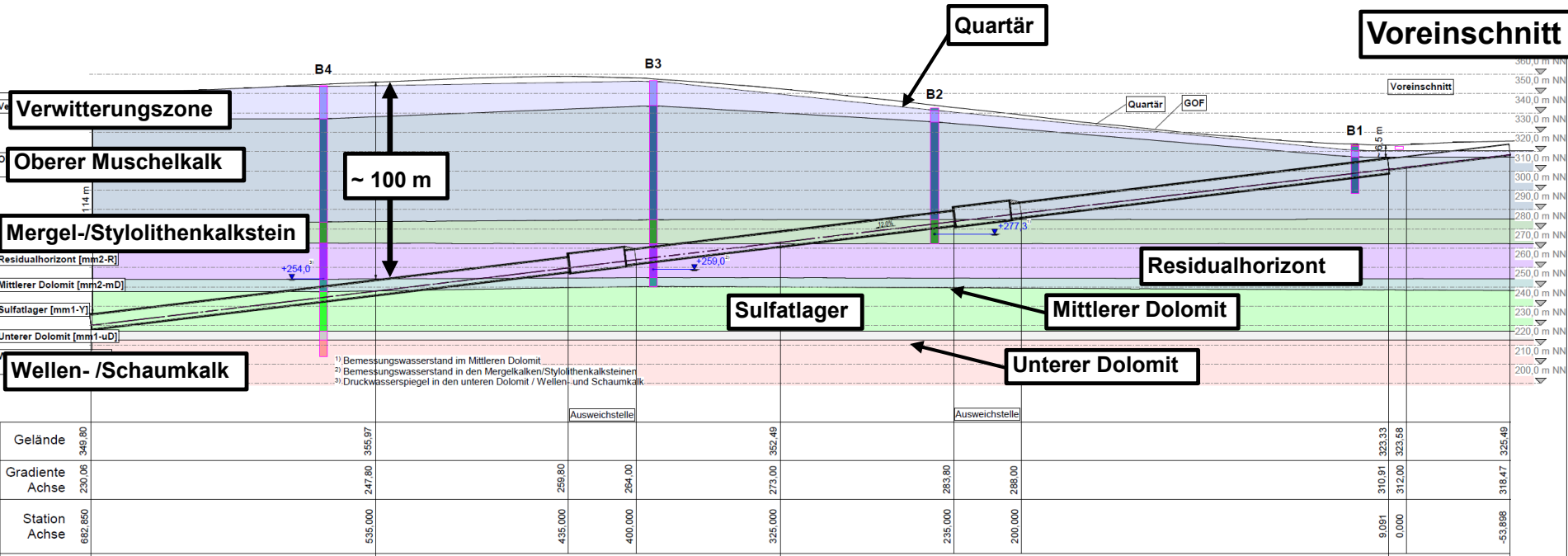
Dr.-Ing. Martin Wittke

Dipl.-Ing. Ralf Druffel

11 Anlagen



## Lageplan mit Entfernungen zu den nächsten Gebäuden



# Geotechnischer Längsschnitt Rampe

- Langefors + Kihlström:  $q = 14 / A + 0,8$

Bauwerk	Querschnittsfläche (Vollausbruch)	q (Langefors & Kihlström)
	[m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
Rampe Regelquerschnitt	~55	1,05
Rampe Ausweichstelle	~95	0,95

## Spezifischer Sprengstoffverbrauch (nach Langefors & Kihlström)

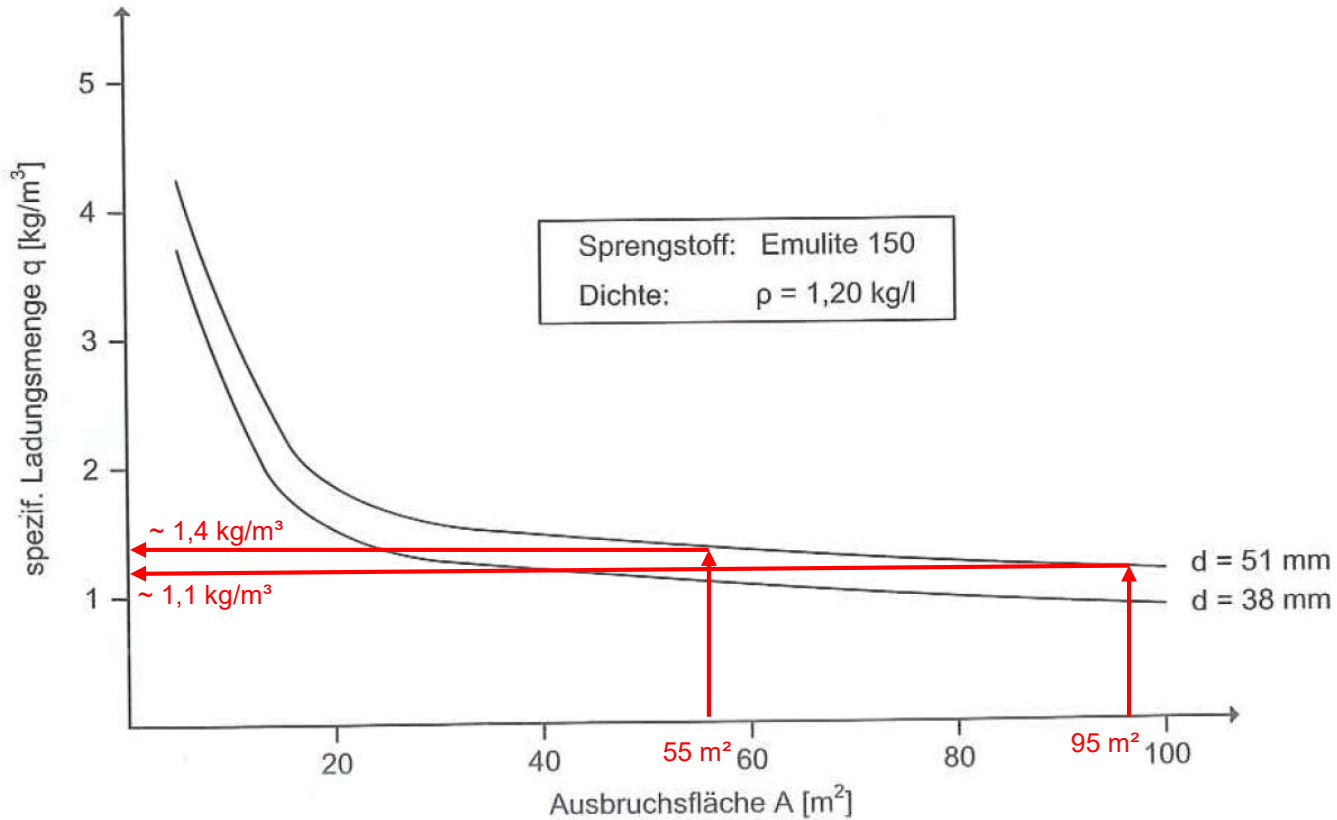


Bild 6.3-31 Spezifische Ladungsmenge in Abhängigkeit von der Ausbruchfläche [6-7, S. 134]

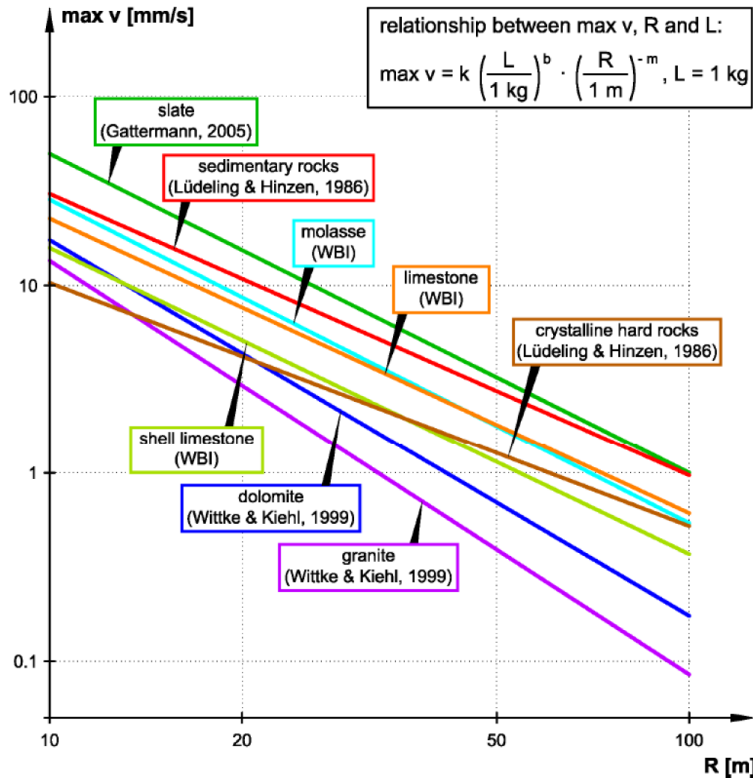
## Spezifischer Sprengstoffverbrauch (nach Girmscheid)



- $Q = q * V = q * A * \max a$

Bauwerk	Querschnittsfläche (Vollausbruch)	Abschlaglänge	Spezifischer Sprengstoffverbrauch	Erforderliche Sprengstoffmenge je Abschlag
	A [m <sup>2</sup> ]	max a [m]	q [kg/m <sup>3</sup> ]	Q [kg]
Rampe Regelquerschnitt	~55	1,5	1,05 - 1,4	~90 - 120
Rampe Ausweichstelle	~95	1,5	0,95 - 1,1	~140 - 160

## Erforderliche Sprengstoffmenge je Abschlag (Annahme Vollausbruch)



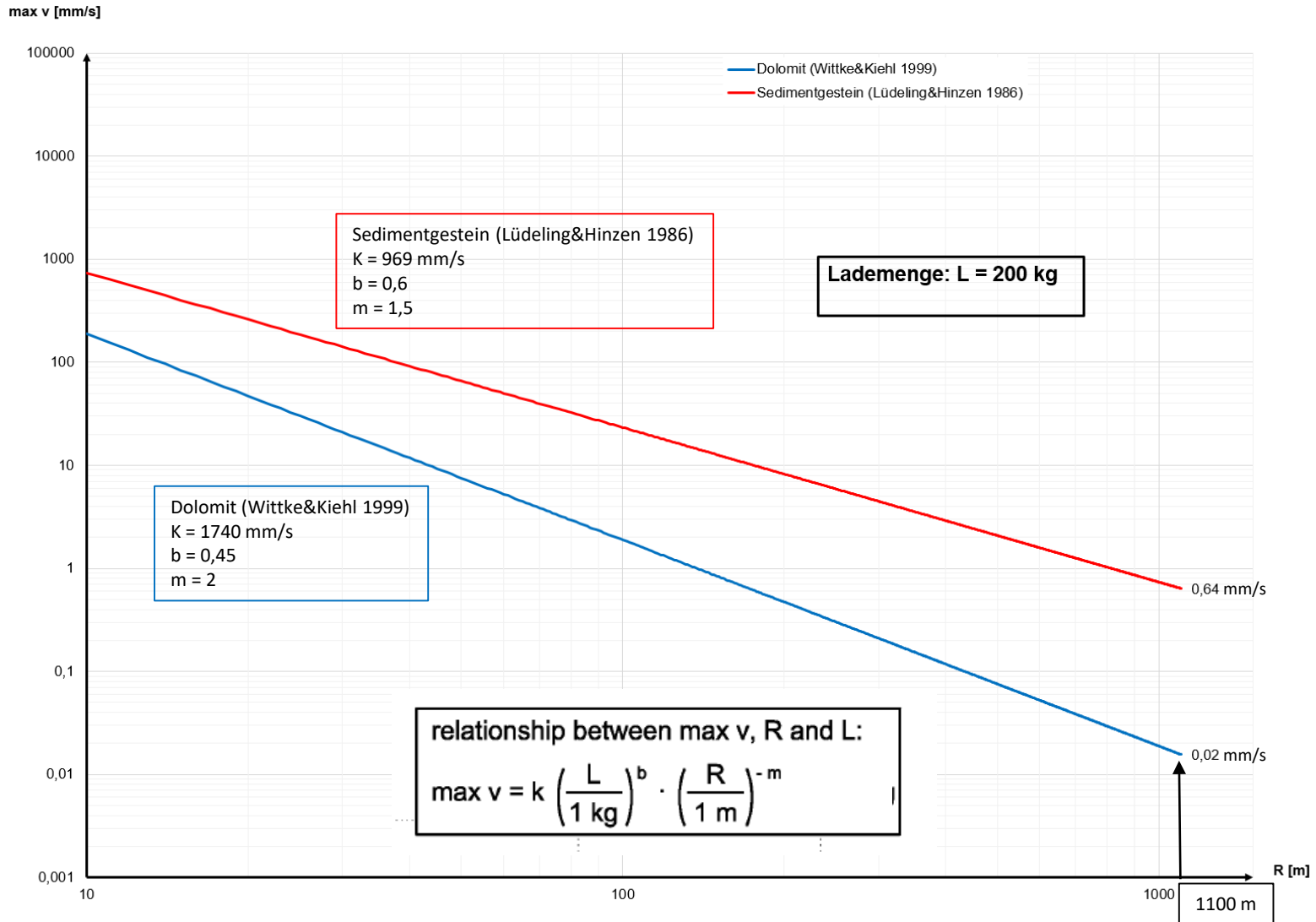
rock	k [mm/s]	b	m	references
granite	2133	0.4	2.2	Wittke and Kiehl (1999)
dolomite	1740	0.45	2.0	Wittke and Kiehl (1999)
molasse	1497	0.6 *)	1.72	WBI
slate	2500	0.65	1.7	Gattermann (2005)
shell limestone	676	1.14	1.63	WBI
limestone	840	0.6 *)	1.57	WBI
sedimentary rocks	969	0.6	1.5	Lüdeling and Hinzen (1986)
crystalline hard rocks	206	0.8	1.3	Lüdeling and Hinzen (1986)

\*) estimated

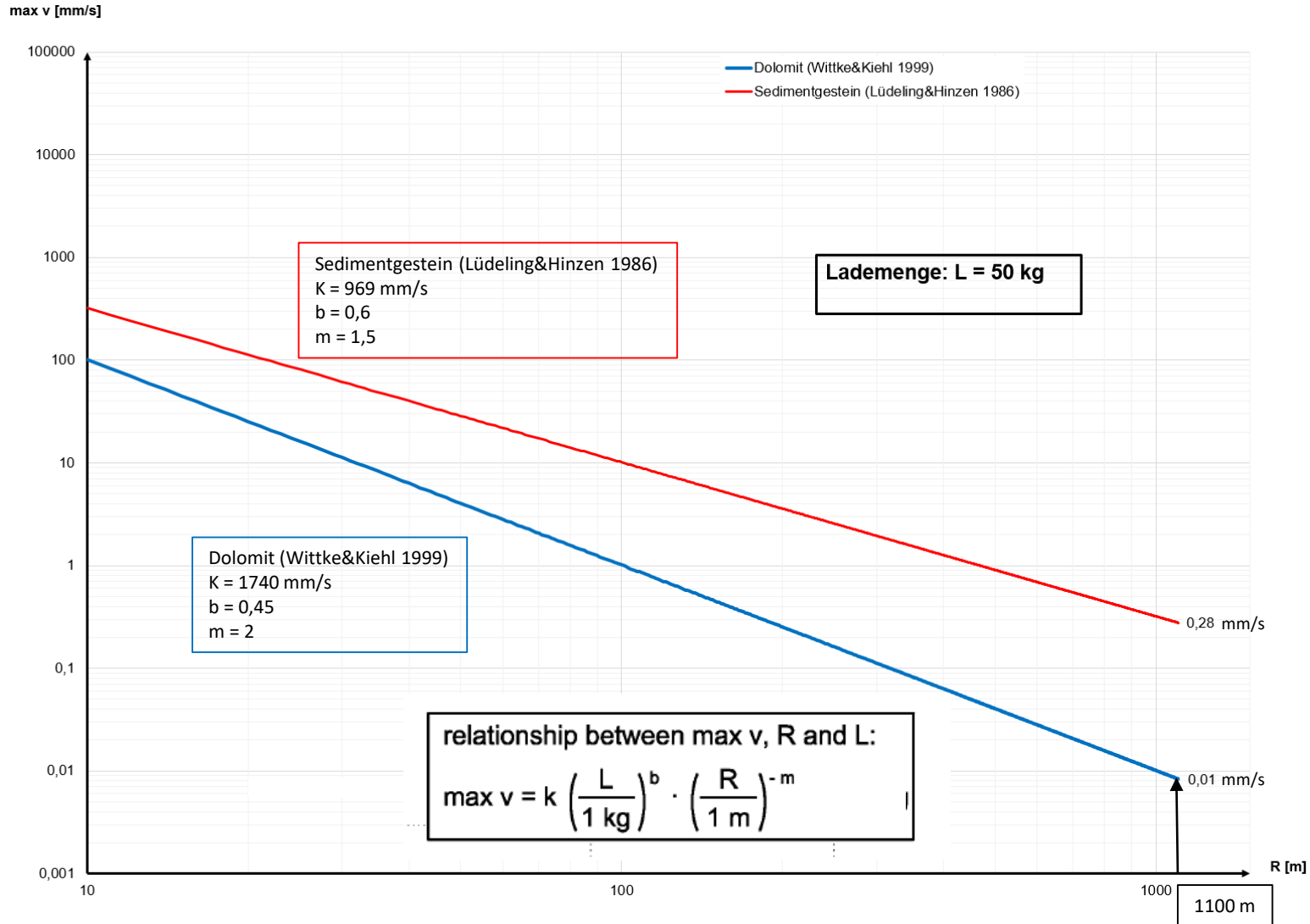
Fig. 7.8: Damping of the peak particle velocity due to blasting in different rocks, standardized to a blast load of L = 1 kg

Table 7.1: Adjustment parameters for the relationship between max v, R and L for different types of rock, derived from vibrations due to blasting

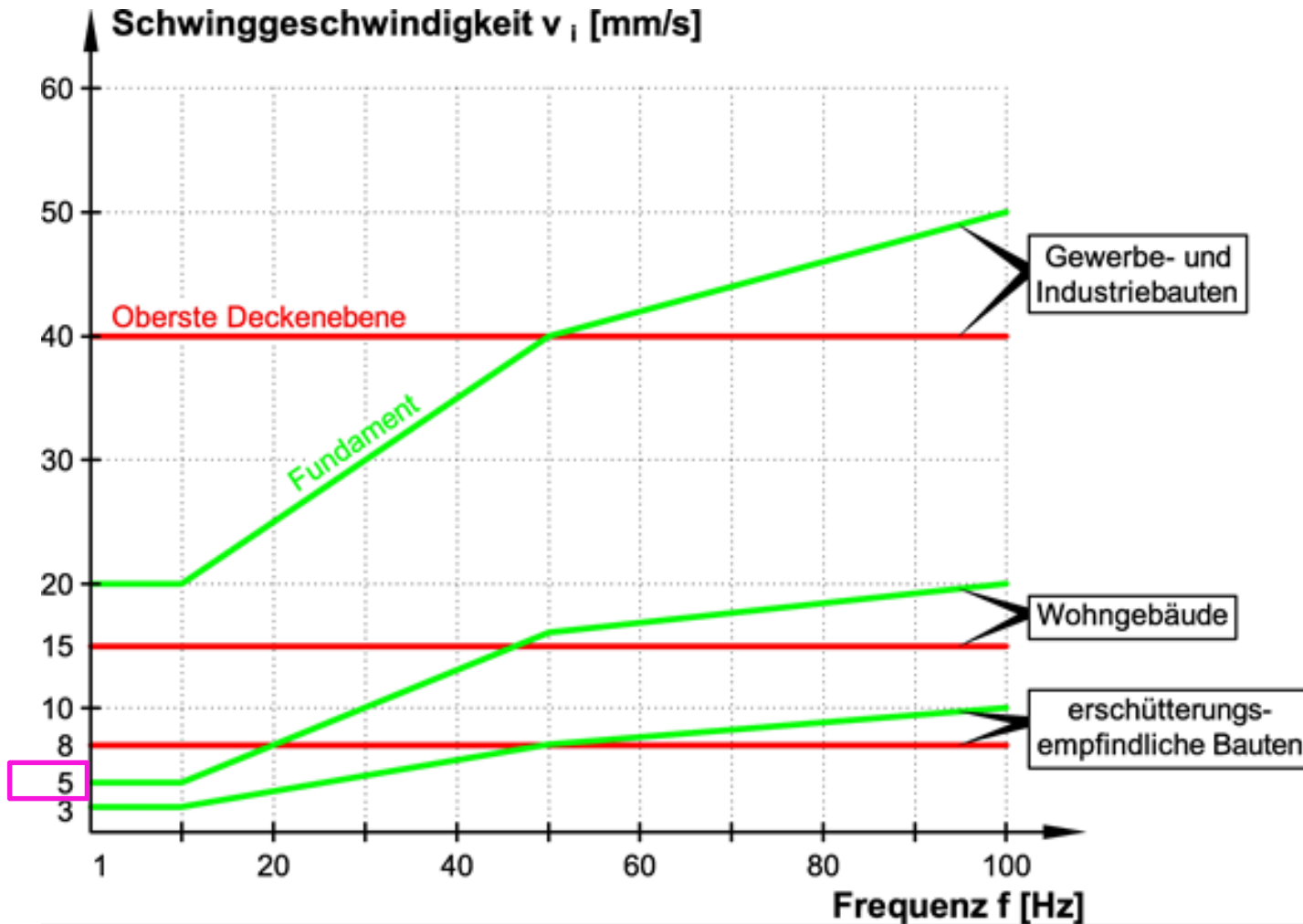
## Dämpfung der Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit Abstands-Lademengen-Beziehung



## Dämpfung der Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit, Lademenge L = 200 kg



## Dämpfung der Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit, Lademenge L = 50 kg



## Erschütterungen, Einwirkungen auf bauliche Anlagen, zulässige Schwinggeschwindigkeiten, DIN 4150, Teil 3

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

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

max v = höchste Schwinggeschwindigkeit auf der Deckenebene (mm/s)

f<sub>0</sub> = Bezugsfrequenz 5,6 Hz

f = Schwingfrequenz (geschätzt mit ca. 10 Hz)

c<sub>F</sub> = Konstante (c<sub>F</sub> = 0,6 für Einzelereignis von kurzer Dauer, ohne Resonanzbeteiligung)

A<sub>0</sub> = Immissionswert (IW)

→ max v in Abhängigkeit von dem zugelassenen Immissionswert

## Erschütterungen, Einwirkungen auf Menschen im Gebäude nach DIN 4150, Teil 2

# 1. Baustellensprengungen

Für Baustellensprengungen gilt allein das  $A_o$ -Kriterium unabhängig von der Anzahl der Sprengungen je Tag. Werte bis  $A_o = 8$  sind zugelassen, niedrigere Werte sind anzustreben.

→ max v = 21,6 mm/s (in Deckenebene) ≈ 7 mm/s (Fundament)

# 2. Strengerer Wert für Erschütterungsimmissionen nachts

Tabelle 1: Inhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

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

→ max v = 0,81 mm/s (in Deckenebene)

≈ 0,3 mm/s (Fundament)

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

# Erschütterungen, Einwirkungen auf Menschen im Gebäude Zulässige Schwinggeschwindigkeiten, DIN 4150, Teil 2