

Erschütterungsmessungen

Andreas Steiger, dipl. Bauingenieur ETH SIA USIC
Steiger Baucontrol AG
6000 Luzern 7
www.baucontrol.ch





Gliederung

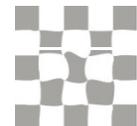
- **Zielsetzung**
- **Grundlagen**
- **Erschütterungen: Messgeräte**
- **Beispiele**
- **Erschütterungseinwirkungen, Beurteilung**
- **Zusammenfassung**





Zielsetzungen

- ⇒ **Information zur Ursache von Erschütterungen auf Baustellen**
- ⇒ **Kennt die Instrumente zur Messung der Erschütterungen**
- ⇒ **Kennt die Grundlagen für die Beurteilung der registrierten Erschütterungen**
- ⇒ **Versteht die grundlegenden Einflüsse auf die Wahrscheinlichkeit von durch Erschütterungen verursachten Schäden**





Grundlagen: Ursachen von Erschütterungen

Abbrucharbeiten durch:

- Sprengen
- Spitzen
-

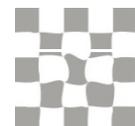
Rammarbeiten:

- Spundwandrammen
- Pfahlrammungen
-

Transporte:

- LKW
- Baumaschinen
- Materialumschlag generell

und weitere





Grundlagen: Warum Erschütterungsmessungen

Überwachung Bauarbeiten:

- Steuerung der Arbeiten
- Vermeiden von Schäden

Vertrauen schaffen durch Proaktives Handeln

Beweissicherung:

- Nachweis, dass keine übermässigen Erschütterungen verursacht wurden
- Nachweis einer sorgfältigen Arbeit





Grundlagen

Wahrnehmung

Spitzenwert (V_{max}) [mm/sec]	Stufe	Wahrnehmung
bis 0.1	A	nicht spürbar (unter Wahrnehmungsschwelle)
bis 0.4	B	gerade spürbar
0.4 bis 1	C	spürbar
1 bis 2	D	gut spürbar
2 bis 6	E	stark spürbar
6 bis 15	F	sehr stark spürbar
15 bis 25	G	keine differenzierte Beschreibung möglich
25 bis 90	H	
über 90	I	

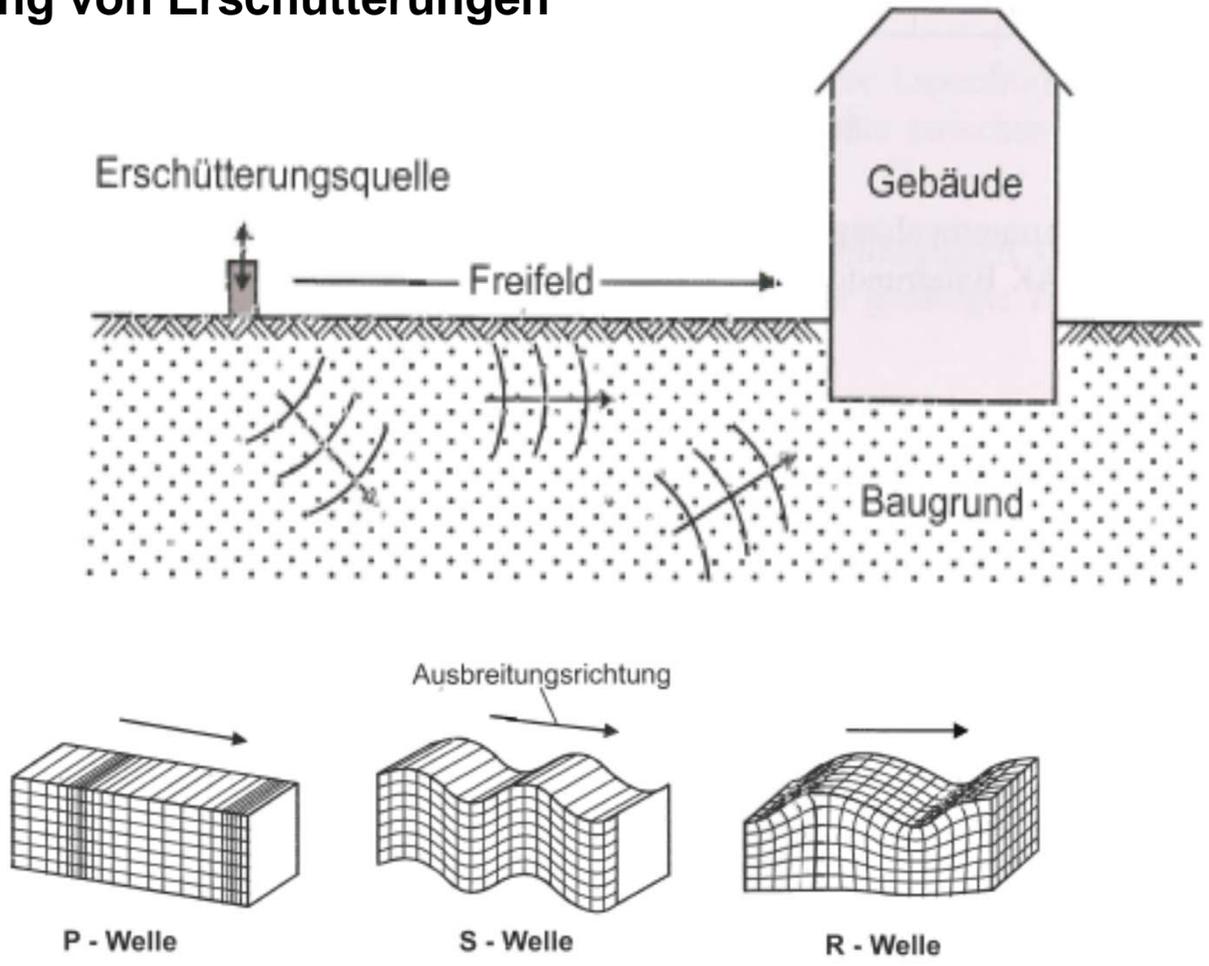
Wahrnehmung ist nicht gleich Schaden!!!
(Schäden ab ca. 5-10 mm/sec)





Grundlagen

Ausbreitung von Erschütterungen

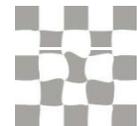
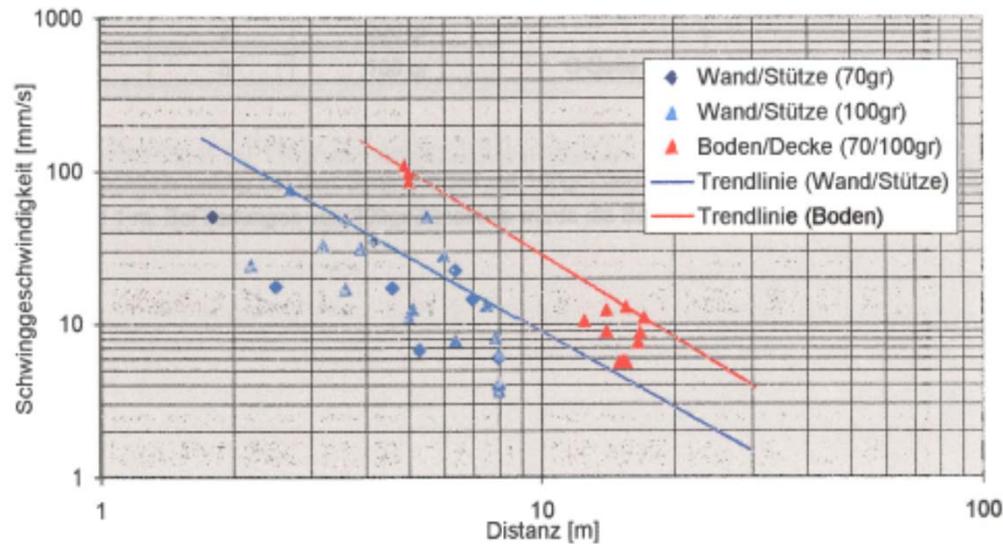


Grundlagen

Ausbreitung von Erschütterungen

$V \approx \alpha \cdot r^\beta$ (1)

V Betrag des Geschwindigkeitsvektors [mm/sec]
 r Distanz
 α, β Konstanten abhängig von der Geologie und den lokalen Verhältnissen

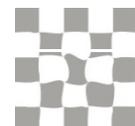




Grundlagen

SN 640 312 (2013-2), Erschütterungen, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke

- Anforderungen an Geräte
- Anforderungen an die Durchführung von Erschütterungsmessungen
- Hinweise zur Auswertung von Erschütterungsmessungen
- Einstufung der Bauwerke
- Richtwerte für die Beurteilung der Schadenswirkung
- Hinweise für die Beurteilung der Schadenswirkung

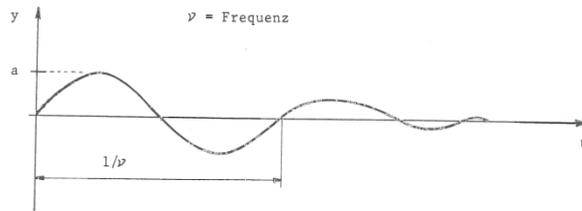




Erschütterungsmessungen

Was wird gemessen?

- Massgebend ist die maximale Schwinggeschwindigkeit



$$V_{\max} = 2 \pi f a$$

- Gemessen werden die Teilvektoren v_x , v_y und v_z

$$V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$



Erschütterungsmessungen: Gerätschaften

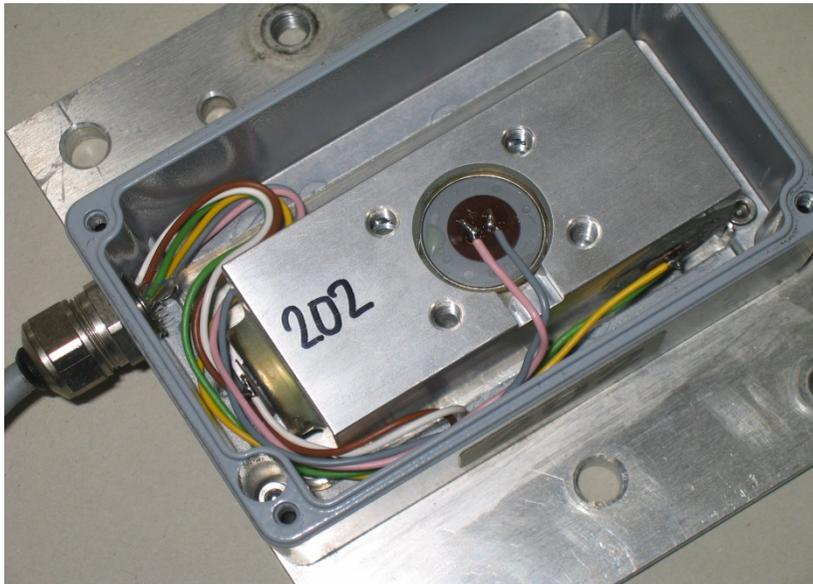
- Messinstallation bestehend aus Sensoren (Geofonen) und Mess-computer



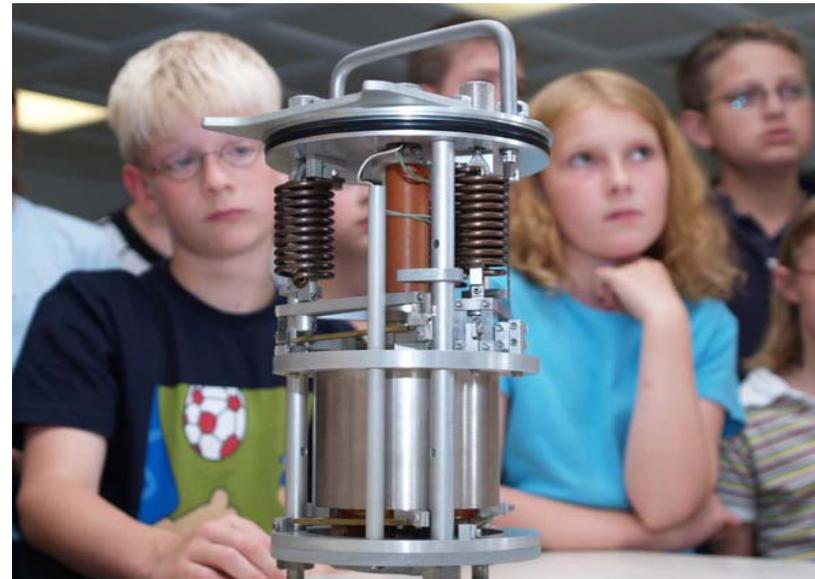
- Messinstallation wird durch Kommunikation (GSM-Netz) ergänzt



Erschütterungsmessungen: Geofone



Das Geofon misst die auftretenden Erschütterungen mittels drei Spulen (oben), die je in einem Magnetfeld platziert sind und mittels Federn gehalten werden. (Innenleben eines Seismografen vgl. oben rechts), periodische Kalibrierung erforderlich



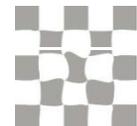
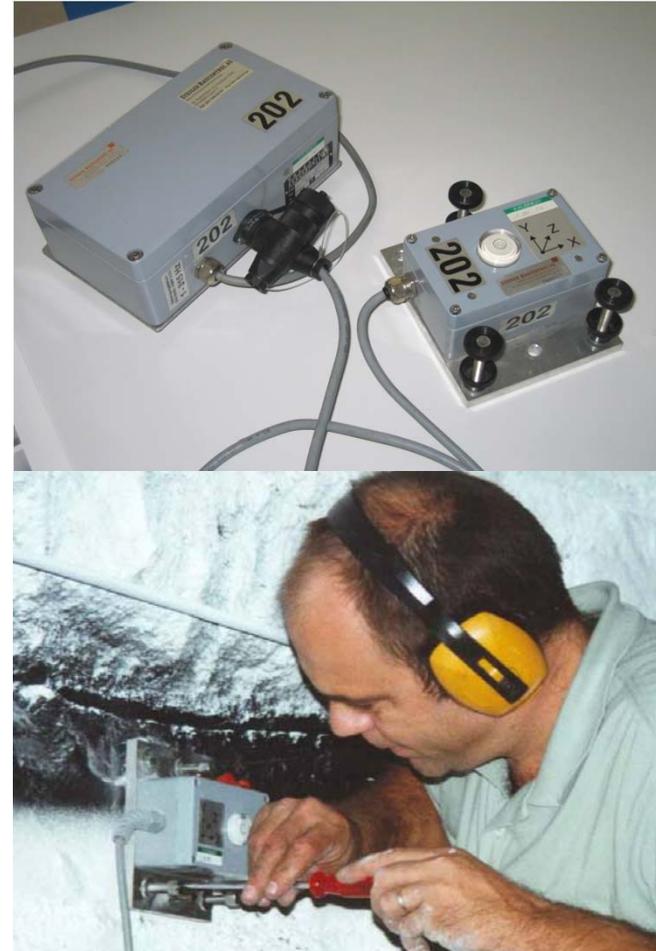
Die Messung hält damit nicht die Gesamtschwingung fest, sondern die drei Teilschwingungen mit zwei horizontalen und einer vertikalen Richtung.



Erschütterungsmessungen: Geofone

Aufstellung Geofone

- Bei Gebäuden sind die Geofone in der Regel an den Fundamentmauern zu platzieren.
- Geofone dürfen nicht auf delaminierten Überzügen oder Verputzen, losen Fenstersimsen, schwimmenden Unterlagsböden, Teppiche etc. platziert werden.
- Da bei Sprengungen in der Regel hochfrequente Erschütterungen auftreten, müssen Geofone in der Regel fest mit dem Untergrund verbunden werden



Erschütterungsmessungen: Kommunikation

Die Verbindung zwischen Geofonen und dem Aufzeichnungsgerät erfolgen mittels Kabel (zuverlässigste Methode mit gewisser Verletzungsgefahr) oder Funk (rechts Bild von zwei Funkstationen).



Erschütterungsmessungen: Aufzeichnungsgerät

- registriert Messsignale (Signale werden aufgezeichnet, wenn Schwellwert überschritten wird)
- Fernzugriff via GSM
- sendet SMS-Alarm
- Zeitgeber für Messstellen
- benötigt Stromanschluss
- Aufstellung in geschütztem Raum
- Kontrolle Funktion (täglich)
- Resultate zu Handen Polier



Erschütterungsmessungen: Alarmierung



Drehleuchte für optische und Horn für akustische Alarmierung bei Überschreitung eines festlegten Alarmwertes

Mehrstufige Anzeige für Anzeige mehrstufiger «Alarm»werte





Erschütterungsmessungen

Beispiel Registrierung 1

Probesprengung aus Tunnelbau

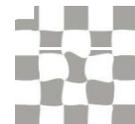
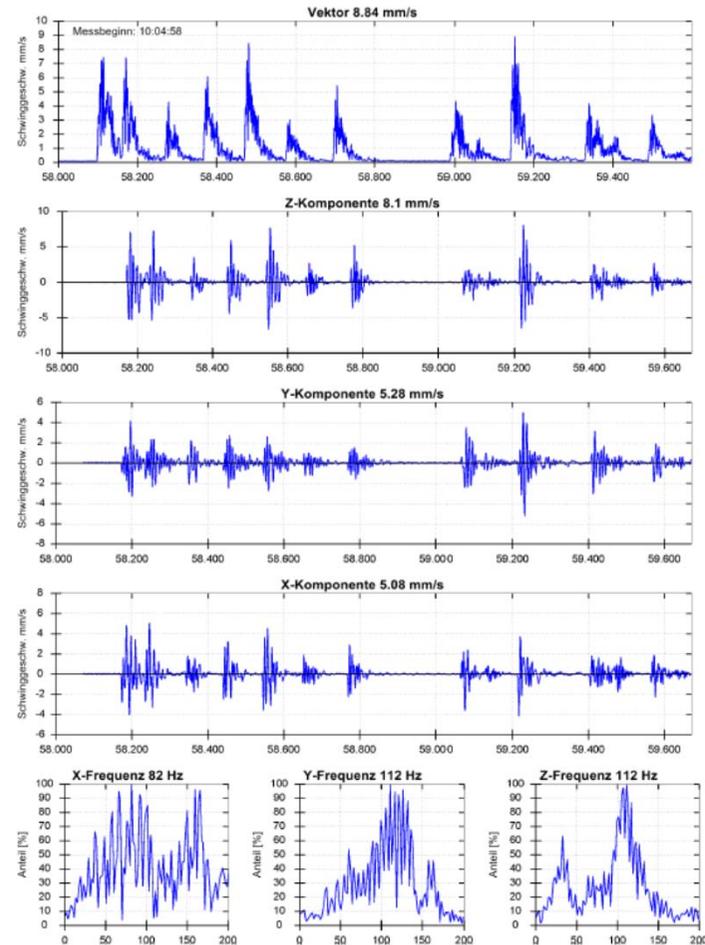
STEIGER BAUCONTROL AG

Auftrags Nr. 2107.048

Erschütterungsdiagramm

Beilage Nr. 5.16.1

Donnerstag, 15.01.09

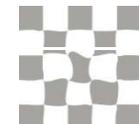
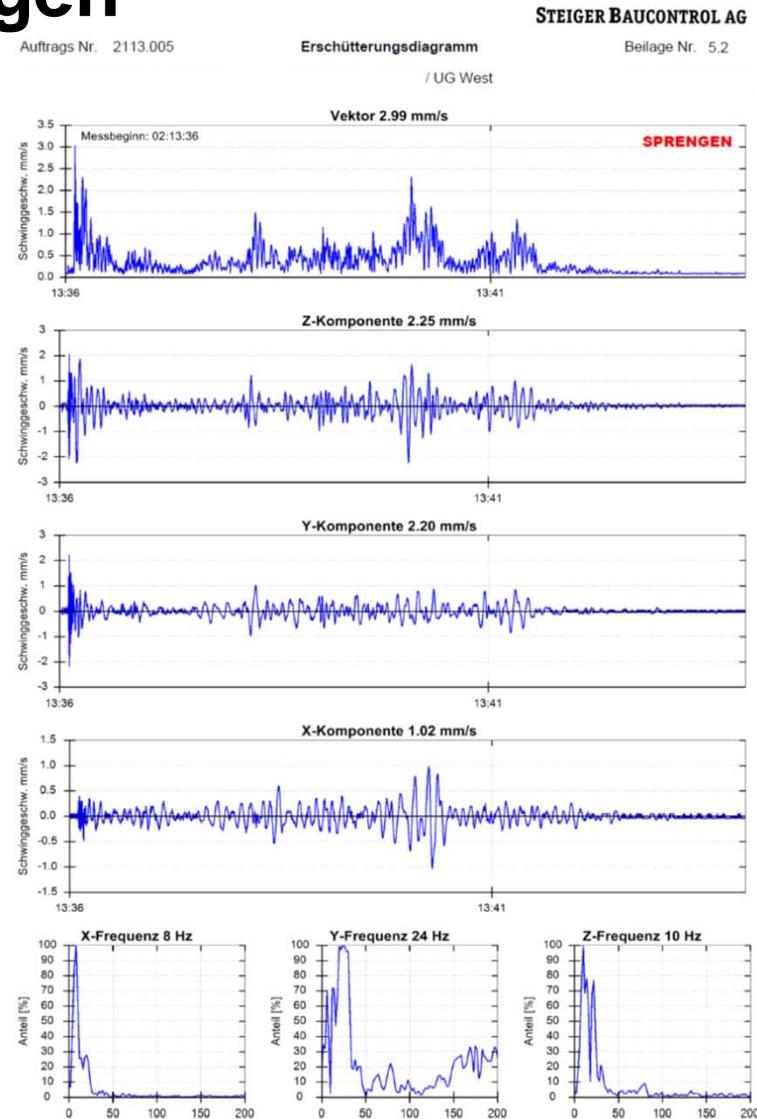




Erschütterungsmessungen

Beispiel Registrierung 2

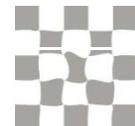
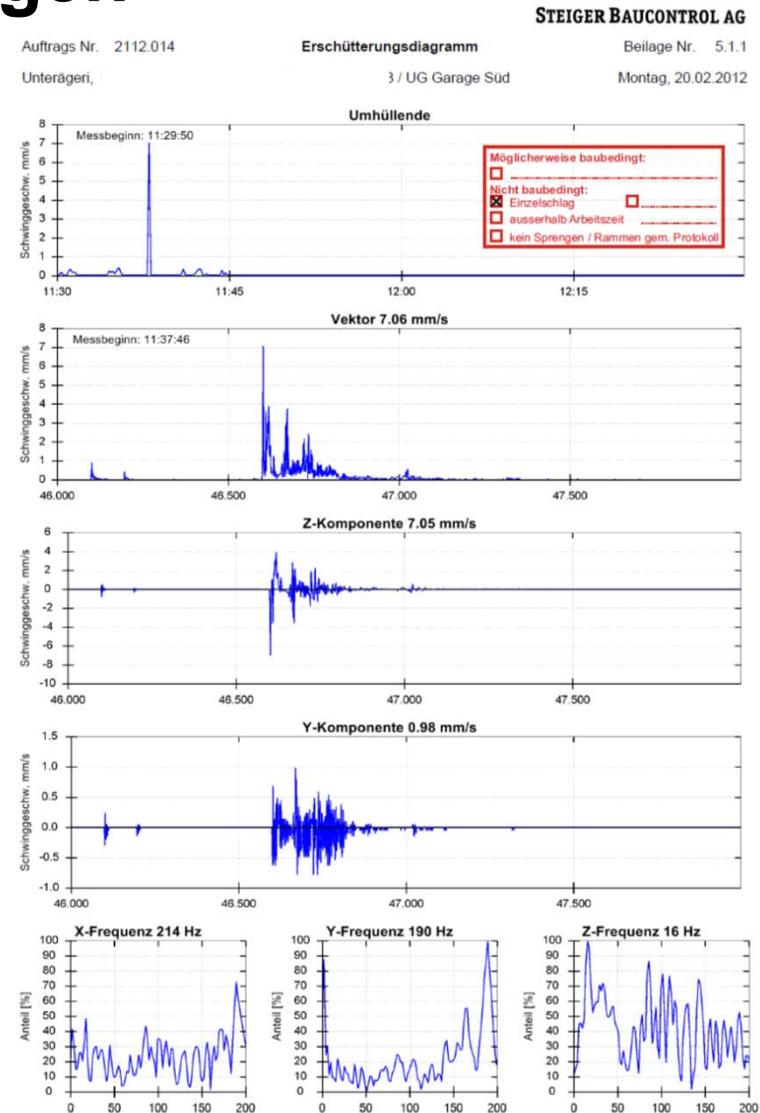
Sprengung Hochbau



Erschütterungsmessungen

Beispiel Registrierung 3

Einzelschlag (Dritteinfluss)





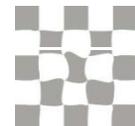
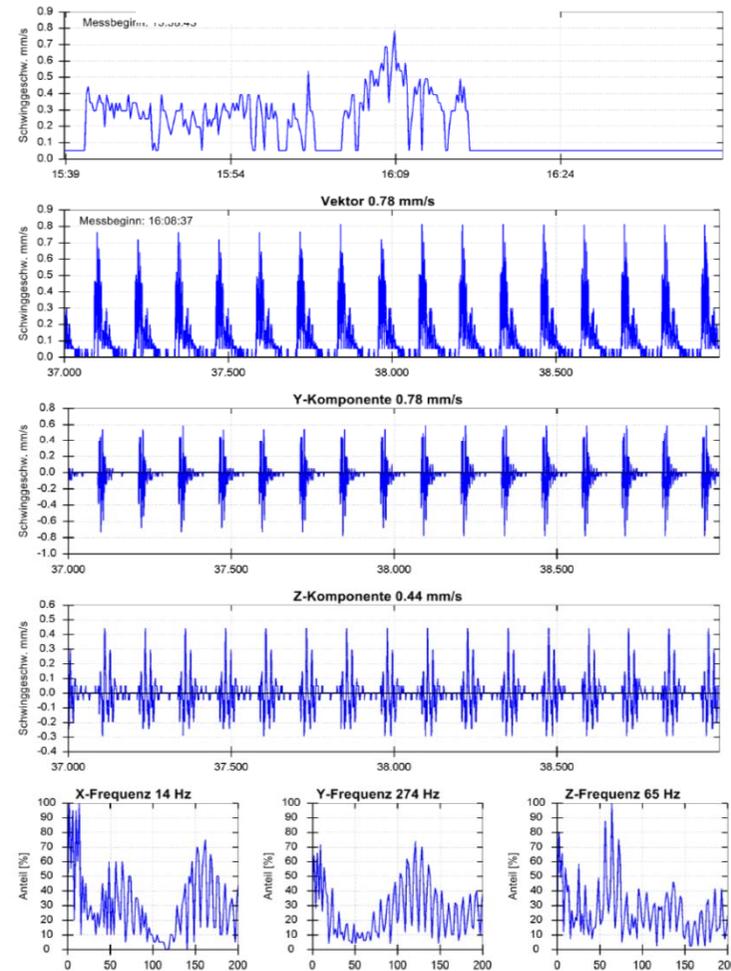
Erschütterungsmessungen

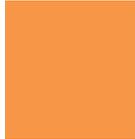
Beispiel Registrierung 4

Felsabbau mit Spitzhammer

STEIGER BAUCONTROL AG

Auftrags Nr. 2112.014 Erschütterungsdiagramm Beilage Nr. 5.1.3
Unterägeri, Erlibergstr. 15 G1 Erlibergstr. 13 / UG Garage Süd Mittwoch, 14.03.2012

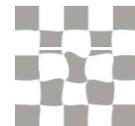
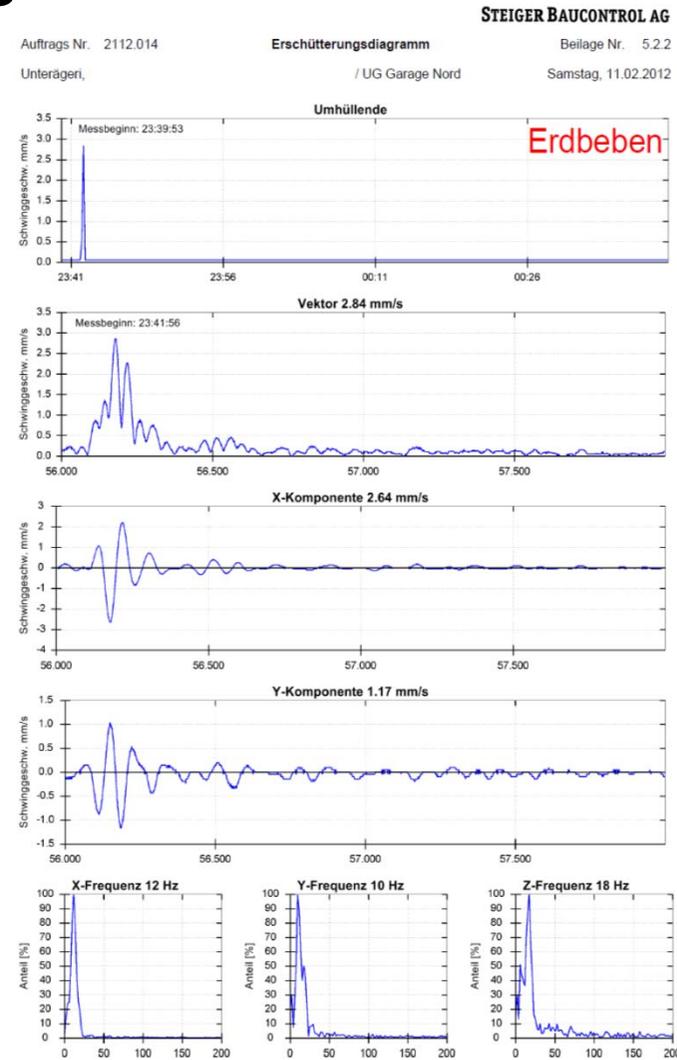




Erschütterungsmessungen

Beispiel Registrierung 5

Erdbeben





Erschütterungseinwirkungen: Beurteilung

Schadenswahrscheinlichkeit ist abhängig von

- Empfindlichkeit des betroffenen Gebäudes
- Häufigkeit der Erschütterung
- Frequenz der Einwirkung





Erschütterungseinwirkungen: Beurteilung

Bauwerke, Empfindlichkeitsklassen

(3) Normal empfindliche Bauwerke

z.B. Wohnbauten mit Mauerwerk in Beton, Stahlbeton oder künstlichen Bausteinen, empfindliche Kabel

(4) Erhöht empfindliche Bauwerke

z.B. Häuser mit Gips- oder Hourdisdecken, Riegelbauten, neuerstellte und frisch renovierte Bauten der Klasse 3, historische und geschützte Bauten, alte Bleikabel, alte Gussleitungen

(2) Wenig empfindliche Bauwerke

z.B. Industrie- und Gewerbebauten in Stahlbeton oder Stahlkonstruktion in der Regel ohne Mörtelverputz, Werkleitungen, Trockenmauern

(1) Sehr wenig empfindliche Bauwerke

z.B. Brücken in Stahlbeton oder Stahl, Stützbauwerke aus Beton, Stahlbeton oder massivem Mauerwerk



Beispiele



Oben:

**Historisches Gebäude
Empfindlichkeitsklasse 4**

oben rechts:

**Industriehalle
Empfindlichkeitsklasse 2**

unten rechts:

**Wohngebäude,
Empfindlichkeitsklasse 3**





Erschütterungseinwirkungen: Beurteilung

Erschütterungen, Häufigkeit

Gelegentlich $\leq 1'000$
z.B. Sprengungen

Häufig dazwischen
z.B. häufige Sprengungen, Schlag- und Vibrationsrammen,
Abbauhämmer bei gelegentlichem Einsatz

Permanent $> 100'000$
z.B. Verkehr, festinstallierte Maschinen, Abbauhämmer bei
längerem Einsatz





Erschütterungseinwirkungen: Beurteilung

Richtwerte in [mm/sec]

(3) normal empfindlich	gelegentlich häufig permanent	<30 Hz*	30-60 Hz	>60 Hz**
		15	20	30
6	8	12		
3	4	6		

- (1) bis dreifache Richtwerte der Klasse (3)
- (2) bis doppelte Richtwerte der Klasse (3)
- (4) bis halbe Richtwerte der Klasse (3)





Erschütterungseinwirkungen: Beurteilung

Schadenswahrscheinlichkeit

Unterhalb Richtwert

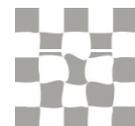
kleinere Schäden kaum
wahrscheinlich

Überschreitung vereinzelt bis 30 %

Schadenwahrscheinlichkeit
geringfügig vergrößert

Ab doppeltem Richtwert

Schäden sind wahrscheinlich





Sprengarbeiten (30 Sprengungen)

$V_{max} = 8.3 \text{ mm/sec}$
 $v_x = 7.5 \text{ mm/sec} / f_x = 25 \text{ Hz}$
 $v_y = 3.5 \text{ mm/sec} // f_y = 18 \text{ Hz}$
 $v_z = 1.8 \text{ mm/sec} / f_z = 25 \text{ Hz}$

Empfindlichkeitsklasse: 4
Häufigkeit: gelegentlich
massgebender Richtwert:
7.5 mm/sec (0.5 * 15 mm/s für < 30 Hz)
Richtwert um ca. 10 % überschritten



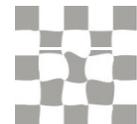
Empfindlichkeitsklasse: 2
Häufigkeit: häufig
massgebender Richtwert:
12.0 mm/sec (2 * 6.0 mm/s für < 30 Hz)
Richtwert unterschritten

Pfahlrammarbeiten

$V_{max} = 3.7 \text{ mm/sec}$
 $v_x = 0.2 \text{ mm/sec} / f_x = 10 \text{ Hz}$
 $v_y = 1.5 \text{ mm/sec} // f_y = 15 \text{ Hz}$
 $v_z = 3.6 \text{ mm/sec} / f_z = 12 \text{ Hz}$

Empfindlichkeitsklasse: 3
Häufigkeit: häufig
massgebender Richtwert:
12.0 mm/sec (für > 60 Hz)
Richtwert ist deutlich unterschritten

Felsabbau mit Spitzhammer
 $V_{max} = 2.8 \text{ mm/sec}$
 $v_x = 0.35 \text{ mm/sec} / f_x = 18 \text{ Hz}$
 $v_y = 2.8 \text{ mm/sec} // f_y = 180 \text{ Hz}$
 $v_z = 0.15 \text{ mm/sec} / f_z = 12 \text{ Hz}$





Zusammenfassung

- **Bauarbeiten sind oft mit Erschütterungsemissionen verbunden.**
- **Verschiedene Bauverfahren können unbeabsichtigt zu erhöhten Erschütterungsemissionen und damit auch zu Schäden an Nachbargebäuden führen.**
- **Die Wahrnehmung von Erschütterungsimmissionen ist sehr subjektiv, deutlich wahrnehmbare (lästige) Erschütterungen können Aufruhr verursachen, müssen aber noch nicht zu Schäden an Gebäuden führen.**
- **Im bebauten Gebiet kann sich eine Erschütterungsüberwachung als Überwachungsmaßnahme und/oder zur Beweissicherung aufdrängen.**
- **Erschütterungsmessungen erfolgen nach Norm SN EN 640 312 (2013-12)**
- **Die Durchführung von Erschütterungsmessungen erfordert Erfahrung und eine spezielle Ausrüstung.**

