



# Erschütterungsmessungen

Andreas Steiger, dipl. Bauingenieur ETH SIA USIC  
Steiger Baucontrol AG  
6000 Luzern 7  
[www.baucontrol.ch](http://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	

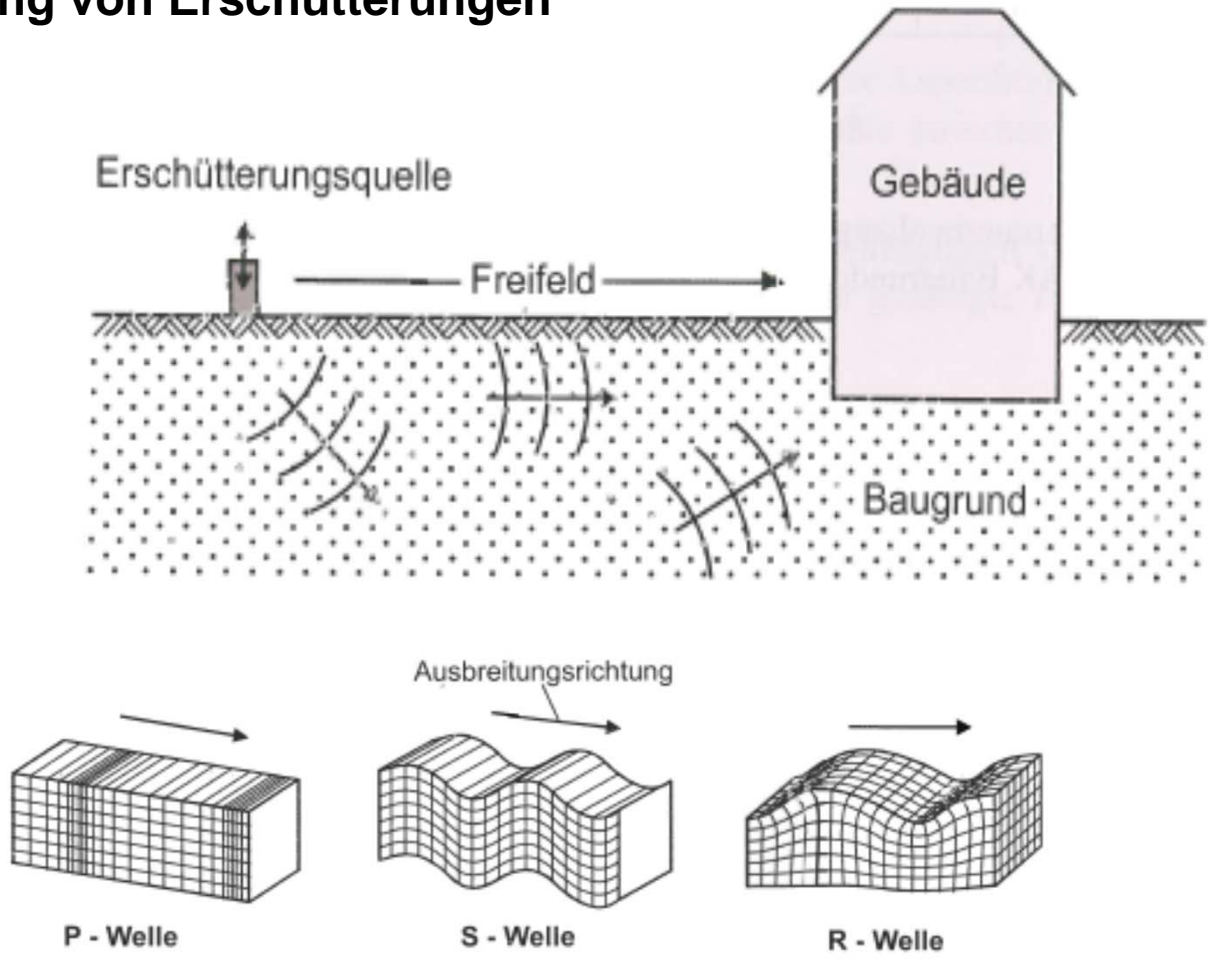
**Wahrnehmung ist nicht gleich Schaden!!!**  
(Schäden ab ca. 5-10 mm/sec)





# Grundlagen

## Ausbreitung von Erschütterungen

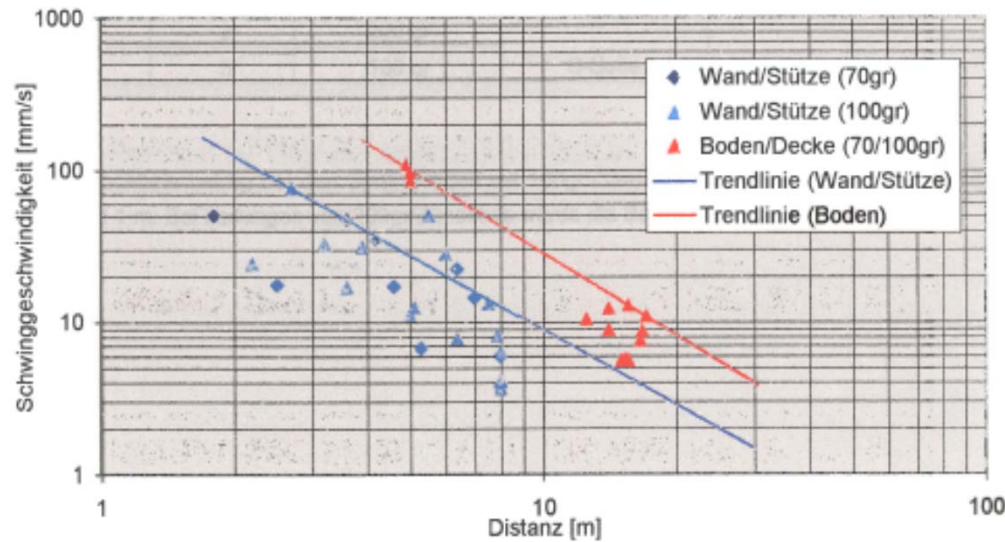


# Grundlagen

## Ausbreitung von Erschütterungen

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

$V$  Betrag des Geschwindigkeitsvektors [mm/sec]  
 $r$  Distanz  
 $\alpha, \beta$  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

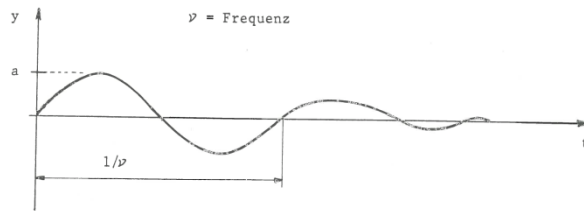




# Erschütterungsmessungen

## 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

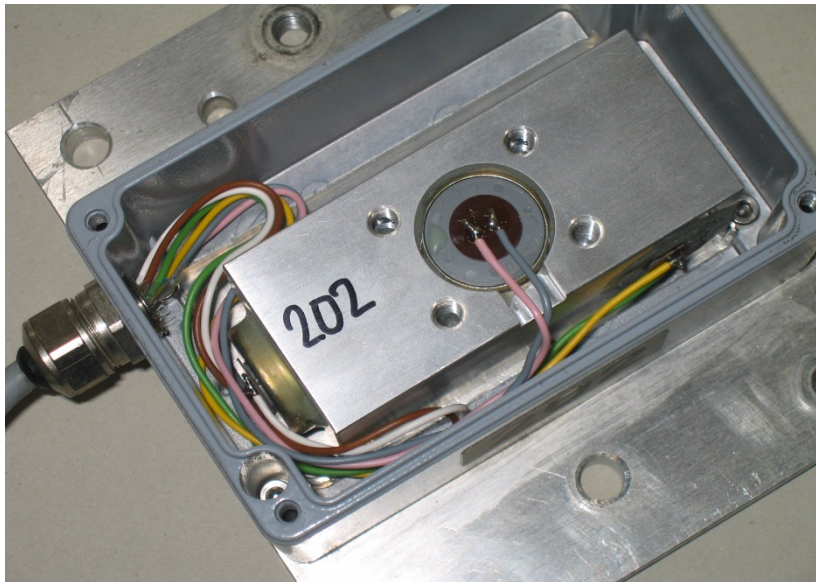
- Messinstallation bestehend aus Sensoren (Geofonen) und Mess-computer



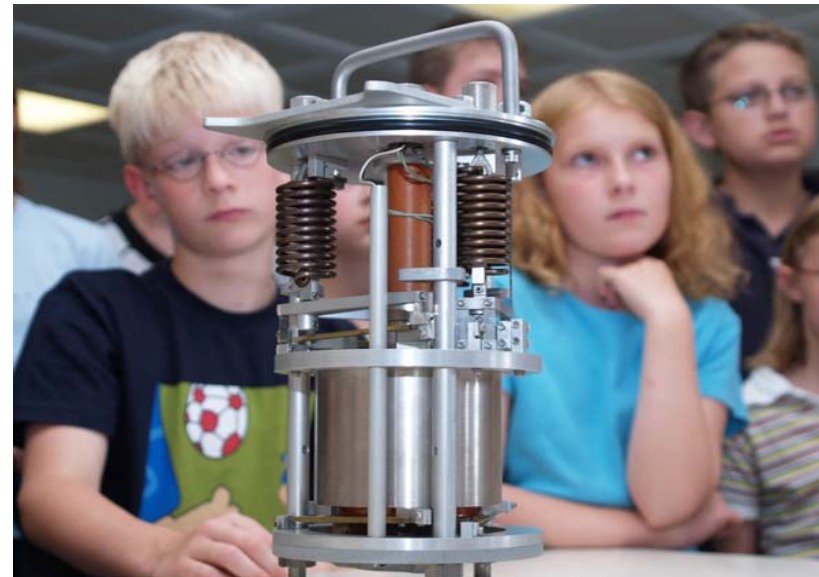
- Messinstallation wird durch Kommunikation (GSM-Netz) ergänzt



## 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



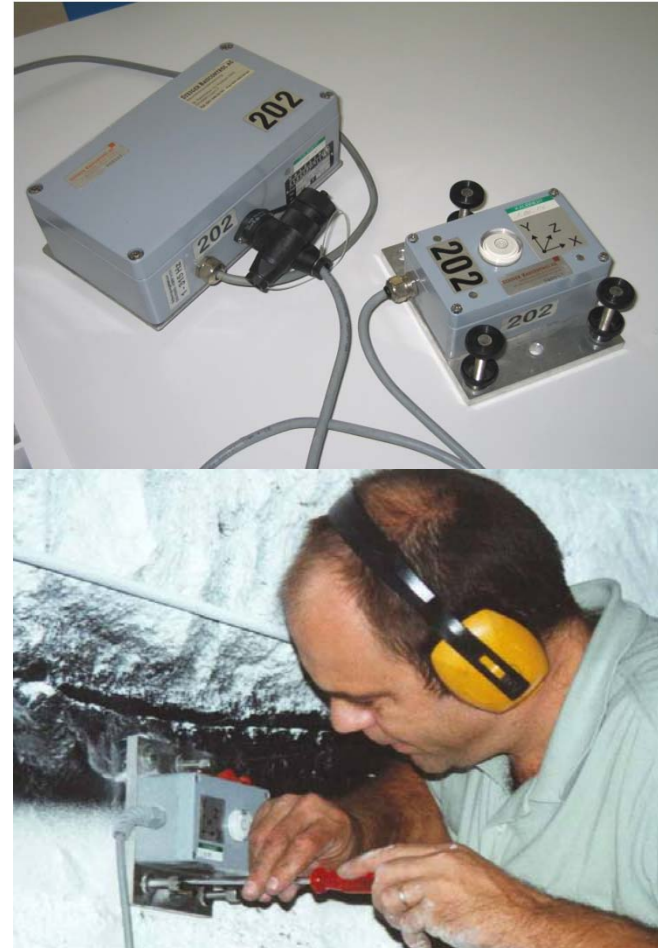
Die Messung hält damit nicht die Gesamtschwingung fest, sondern die drei Teilschwingungen mit zwei horizontalen und einer vertikalen Richtung.



# 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

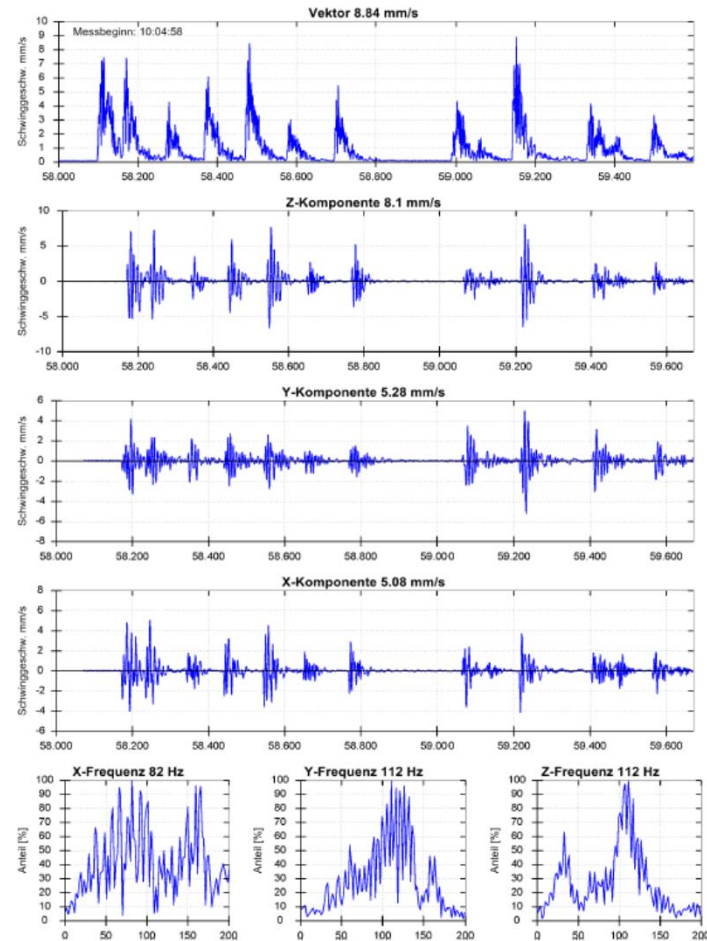
STEIGER BAUCONTROL AG

Auftrags Nr. 2107.048

Erschütterungsdiagramm

Beilage Nr. 5.16.1

Donnerstag, 15.01.09

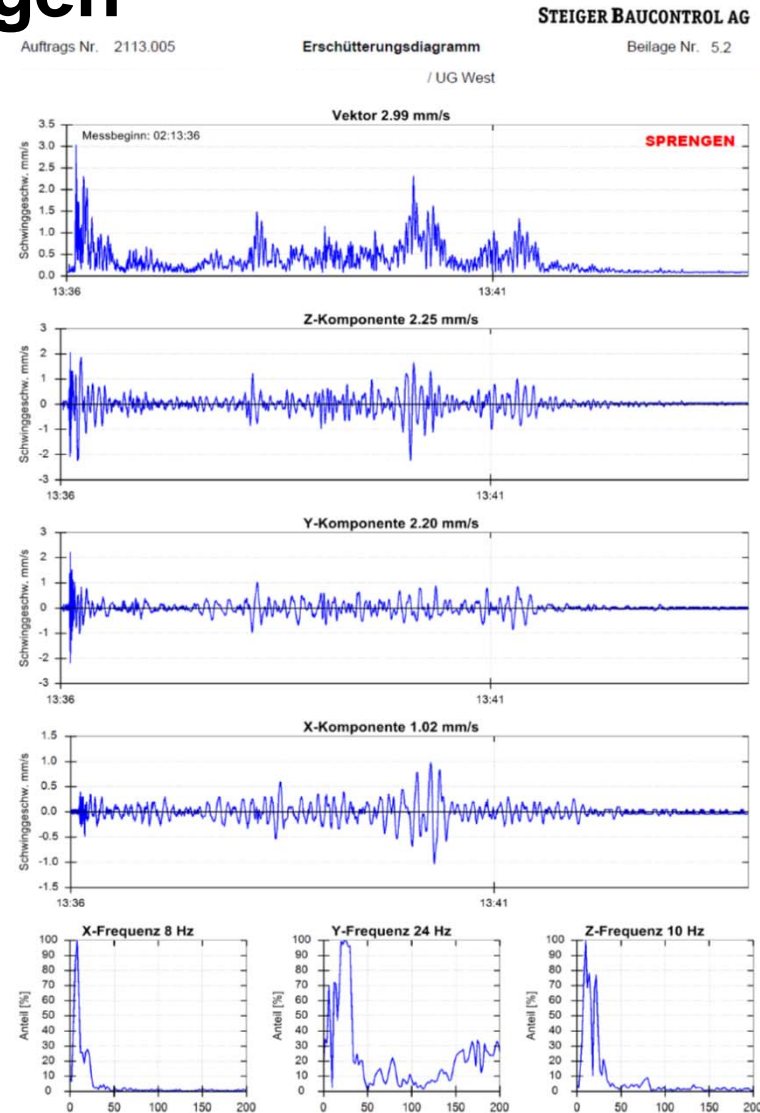




# Erschütterungsmessungen

## Beispiel Registrierung 2

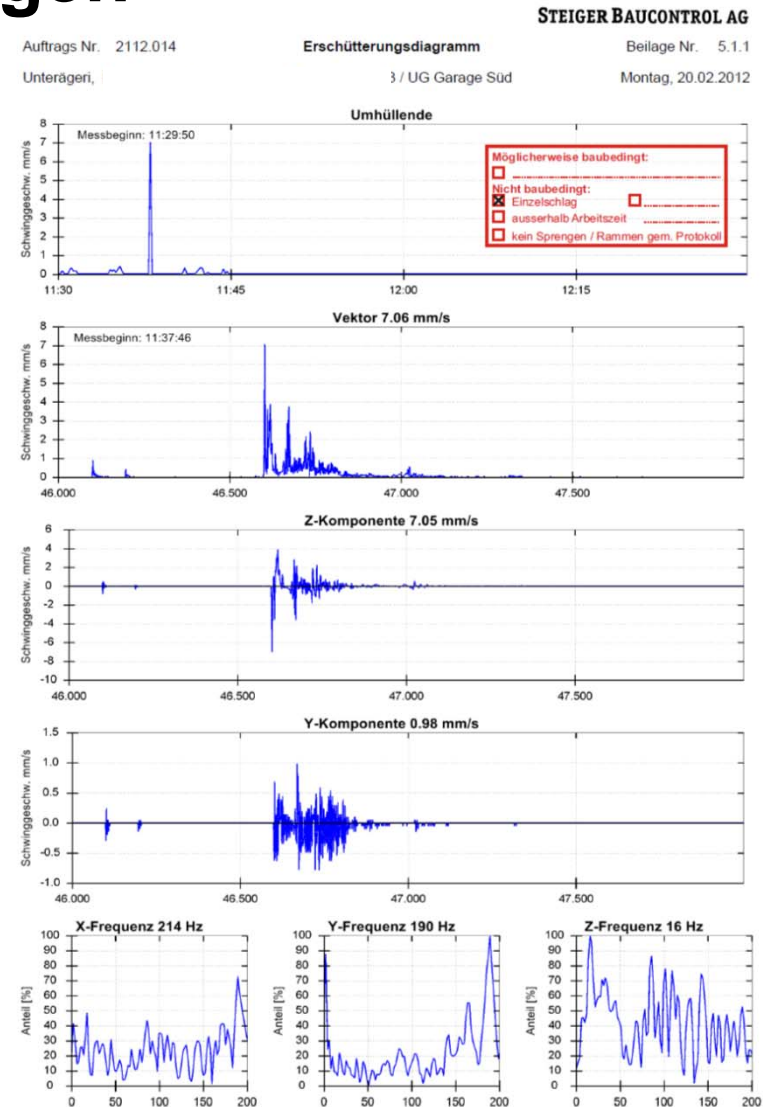
Sprengung Hochbau



# Erschütterungsmessungen

## Beispiel Registrierung 3

Einzelschlag (Dritteinfluss)



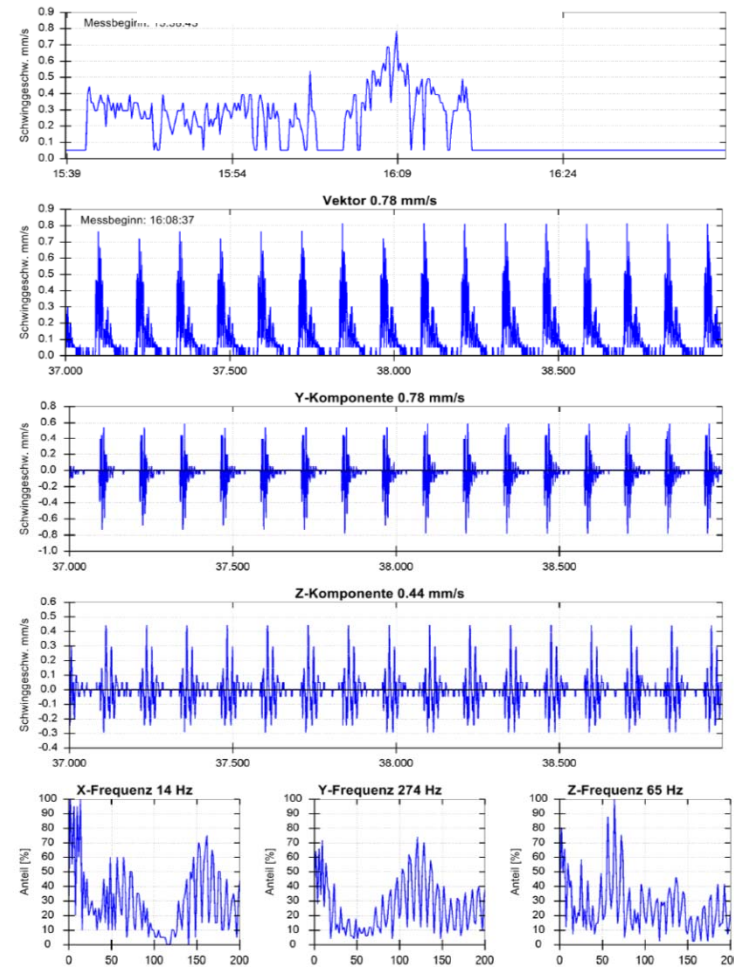
# Erschütterungsmessungen

## 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

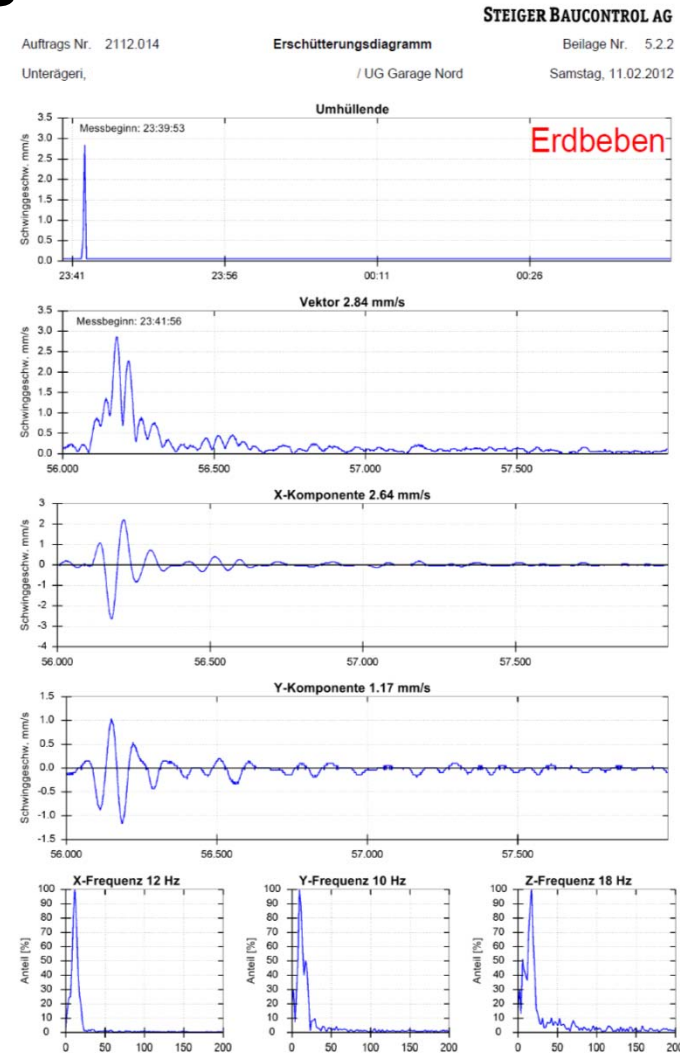




# Erschütterungsmessungen

## 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.**

