

Erschütterungen, Sicht des Ausführenden



Andreas Steiger, dipl. Bauing. ETH
Steiger Baucontrol AG, Luzern
Roland Arnet, dipl. Baumeister
Grund- und Tiefbau AG, Solothurn

Inhalt

1. Einleitung, Zielsetzung
2. Grundlagen, gesetzliche Anforderungen
3. Ziele des Ausführenden
4. Baugrund, Einschätzung der Ramm- und Abbaubarkeit
5. Erschütterungen durch Rammen, Rütteln, Reißen, Schlagen u. Sprengen
6. Erschütterungen aus Verdichtungsarbeiten
7. Zusammenfassung

1. Einleitung und Zielsetzung (1/2)

- **Erschütterungen** sind zusammen mit **Lärm** und **Staub** im Zusammenhang mit Bauarbeiten typische Emissionen
- **Erschütterungsemissionen** sind i.d.R. abhängig von den vorhandenen **Baugrundverhältnissen** und den eingesetzten **Bauverfahren**

1. Einleitung und Zielsetzung (2/2)

- Baugrund, eine wichtige Randbedingung
 - Hinweis auf wichtige Merkmale in Zusammenhang mit Erschütterungsemissionen

- Bautechnische Verfahren mit Erschütterungsemissionen
 - Übersicht, aufzeigen der gängigsten Verfahren
 - Information zum Stand der Technik bez. Erschütterungsemissionen
 - Hinweise auf Massnahmen zur Reduktion der Erschütterungsemissionen

2. Grundlagen, gesetzliche Anforderungen (1/2)

- Bundesgesetze
 - Nachbarrecht
(z.B. ZGB 684 (keine übermässigen Einwirkungen), 679 (Überschreitung Eigentumsrechte))
 - Haftpflichtrecht (u.a. OR, Kausalität, Schaden, Verjährung etc.)

- Umweltgesetzgebung
 - Baulärm-Richtlinie (Stand 2011), Richtlinie über bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms gemäss Artikel 6 der Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986

2. Grundlagen, gesetzliche Anforderungen (2/2)

- Bautechnische Normen
 - VSS 40 312:2019, Erschütterungen, Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke
 - DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden
 - DIN 4150, Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen

> Grundlagen: bezüglich zulässiger Immissionen
Haftung bei Schäden

3. Ziele des Ausführenden

- Mängelfreies Werk

- Kostenoptimierte Ausführung
 - Ökonomischer Mitteleinsatz
 - Planungssicherheit (keine Unterbrüche)

- Haftung für Schäden ist zu vermeiden
 - Risse infolge Erschütterungen vermeiden
 - Setzungen infolge Erschütterungen vermeiden

4. Baugrund, Einschätzung Ramm- u. Abbaubarkeit (1/5)

- Die in der Schweiz verbreitet auftretenden und für die Diskussion von Erschütterungsemissionen relevanten Baugrundverhältnisse lassen sich grob in folgende Klassen einteilen
 - Kiesig-sandige Böden mit geringem Feinkornanteil (Flussablagerungen)
 - Feinkörnige siltig- bis leicht tonige (See-)ablagerungen
 - Gemischtkörnige Moränenablagerungen (Gletscher)
 - Gehängeschutt

4. Baugrund, Einschätzung Ramm- u. Abbaubarkeit (2/5)

- Kiesig-sandige Böden mit wenig Feinkornanteil (Flussablagerungen)
 - Lagerungsdichte mittel bis hoch
 - Auftreten von verkitteten Schichten ist möglich
 - Rammhindernisse eher wenig wahrscheinlich
- > Rammbarkeit i.d.R. gegeben
- > Risiko von dicht gelagerten und/oder verkitteten Schichten
- > Setzungsrisiko i.d.R. gering

4. Baugrund, Einschätzung Ramm- u. Abbaubarkeit (3/5)

- Feinkörnige siltig- bis leicht tonige (See-)ablagerungen
 - Lagerungsdichte gering bis mittel, mit Vorbelastung hoch
 - Rammhindernisse, Holz oder andre Einschlüsse, möglich

- > Rammbarkeit in der Regel gegeben
- > Risiko von Rammhindernissen ist zu beachten
- > Setzungsrisiko durch Nachverdichtung und Materialaustrag beim Rückzug von SPW!

4. Baugrund, Einschätzung Ramm- u. Abbaubarkeit (4/5)

- Gemischtkörnige Moränenablagerungen (Gletscher)
 - Lagerungsdichte mittel bis hoch
 - mit Rammhindernissen, speziell Blöcken, ist zu rechnen
 - für Füsseinbindung geeignet
- > Rammbarkeit in der Regel fraglich (ohne Zusatzmassnahmen)
- > Risiko von dicht gelagerten Schichten u. Rammhindernissen hoch
- > Setzungsrisiko i.d.R. nicht vorhanden

4. Baugrund, Einschätzung Ramm- u. Abbaubarkeit (5/5)

- Gehängeschutt
 - Variable Lagerungsdichte
 - Rammhindernisse, speziell Blöcke, jederzeit möglich

- > Rammbarkeit i.d.R. Regel fraglich (je nach Grösse der R-hindernisse)
- > Risiko von dicht gelagerten und/oder verkitteten Schichten und Rammhindernissen
- > Setzungsrisiko als Folge der unterschiedlichen Lagerungsdichte

5. Erschütterungen durch Rammen, Rütteln/Pressen, Reissen, Schlagen u. Sprengen

- 5.1 Erschütterungen infolge Rammen
- 5.2 Erschütterungen durch Rütteln/Pressen
- 5.3 Erschütterungen durch Reissen (Rippen/Fräsen)
- 5.4 Erschütterungen durch Schlagen (Hydraulikhammer)
- 5.5 Erschütterungen durch Sprengen

5.1 Erschütterungen infolge Rammen

- **Einbringen von Pfählen**
 - Pfahlrammen mit mäklergeführtem hydraulischen Hammer
 - Schlagfrequenz zwischen 30-150 Schlägen/Minute (0.5-2.5 Hz)
 - (leichte) Schnellschlaghammer bis 600 Schläge/Minute (bis 10 Hz)

- **Einbringen von Spundwänden**
 - Nur noch untergeordnet im Einsatz

5.1 Rammen von Pfählen



Bild: Grund- und Tiefbau AG

■ Einbringen von Pfählen

- z.B. Fertigbeton- Stahl-, Holzpfähle
- mäklergeführter Hydraulikhammer
- Schlagfrequenz zwischen 30-120 Schlägen/Minute, d.h. 0.5-2.0 Hz

5.2 Erschütterungen durch Rütteln

- Rütteldruckverdichtung
- Einbringen von Spundwänden
 - Rüttler freireitend oder mäklergeführt
 - Einpressen mäklergeführt oder freireitend
- Zusatzmassnahmen zur Reduktion der Emissionen
 - Lockerungsbohrungen
 - Bodenaustausch
 - Nieder- bis Hochdruckinjektionen mit Spülbohle
 - Weitere Hinweise (Stabilität Rammgut, Lärm)

5.2 a Rütteldruckverdichtung

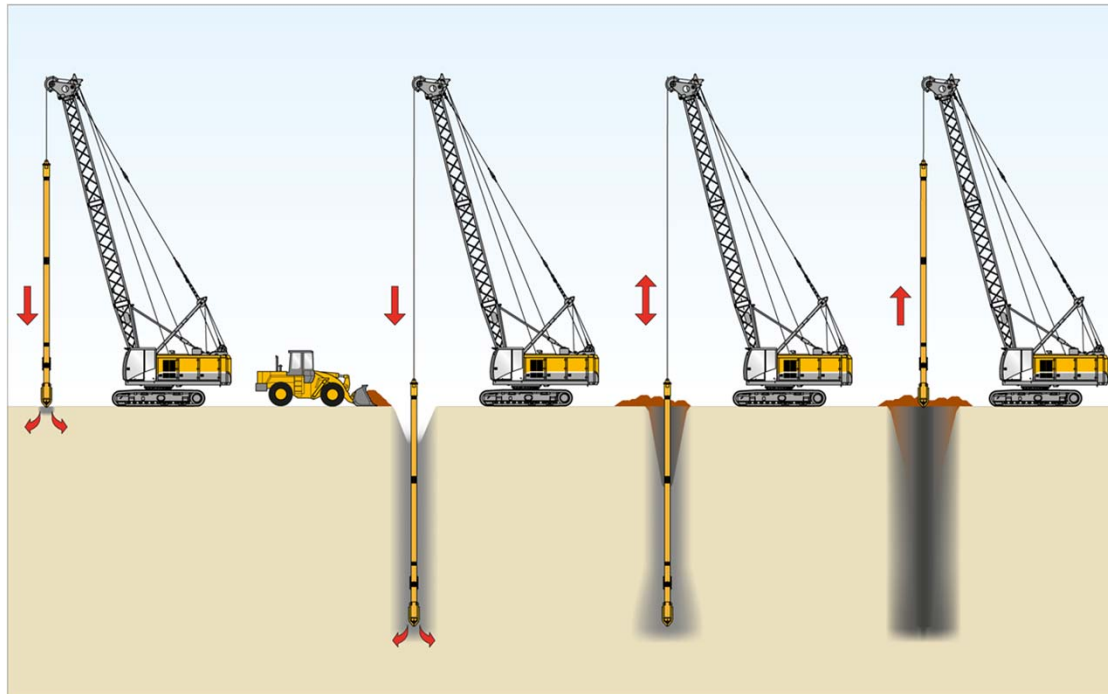


Bild: www.bauer.de

- Verdichtung durch Umlagerung nicht bindiger Böden mittels Vibration
- Rüttelfrequenz 2'000-3'000 U/min bzw. 30-50 Hz

5.2 b Einrütteln von Spundwänden (freireitend)



Bilder: Grund- und Tiefbau AG

- Einbringen mit freireitendem Rüttler
- Rüttlergewicht 3-9 to
- hochfrequent $\geq 1'800-2'300$ U/min bzw. ≥ 30 Hz
- resonanzfrei (variables Moment)

5.2 b Einrütteln von Spundwänden (mäklergeführt)



Bilder: Grund- und Tiefbau AG

- Hochkantrüttler mäklergeführt
- Rüttlergewicht 3.5-5.5 to
- Zusätzlich Druckkraft bis 33 to
- hochfrequent
 $\geq 1'800-2'200$ U/min /
 ≥ 30 Hz
- resonanzfrei
 (variables Moment)
- Geringere Erschütterungen bei Hindernissen speziell Holz bei Einsatz mit «Vorspannung»

5.2 c Einpressen von Spundwänden (freireitend)



Bilder: Grund- und Tiefbau AG

- freireitende Presse
- Gewicht 13 (- 20) to
- Keine Erschütterungen
- Eingeschränkt, nur bei bindigen Böden (ohne Kieslagen)
- Geringer Platzbedarf

5.2 c Einpressen von Spundwänden (mäklergeführt)



- Mäklergeführte Presse
- Gewicht 8.5 to
- Keine Erschütterungen (ausser Verschiebung Trägergerät)
- Eingeschränkt, nur bei bindigen Böden (ohne Kieslagen)

Bilder: Grund- und Tiefbau AG

5.2 d Lockerungsbohrungen



Bild: Grund- und Tiefbau AG

- Einsetzbar bei kiesigen und bindigen Bodenarten ohne Hindernisse
- Lockerungsbohrungen mit Endlosschnecke (d=30-60 cm) Tiefen bis 18 m
- Bohrungen aufgelöst

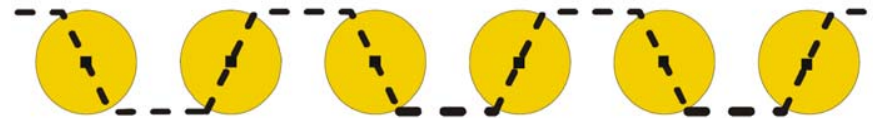


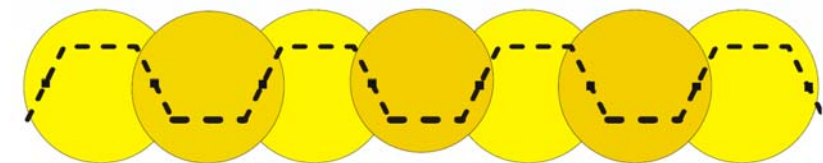
Bild: Bilfinger+Berger

5.2 d Bodenaustausch



Bilder: Zueblin / Bilfinger+Berger

- Einsetzbar bei allen Bodenarten und Hindernissen
- Bodenaustausch mittels verrohrter Pfahlbohrung (d=90-120 cm), Tiefe bis 30 m
- Verfüllung mit rüttelfähigem oder pressbaren Material
- Verdichtung der Füllung beim Einbringen des Rammgutes



5.2 d Nieder- bzw. Hochdruckspülung mit Spülbohle

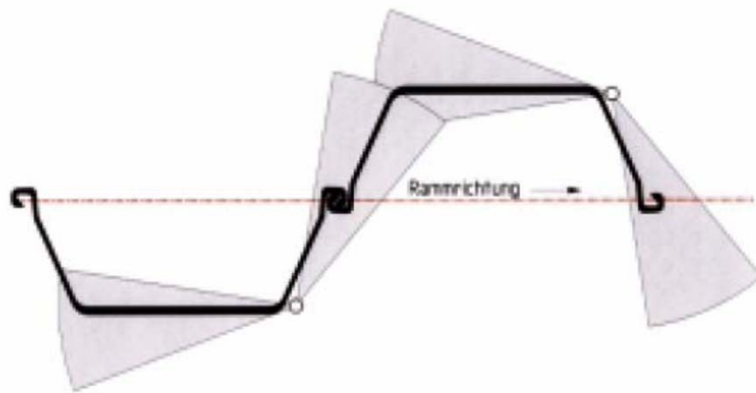


Bild: Doppelbohle mit Spüllanzen (Bilfinger + Berger)

- Einsetzbar bei sandig-bindigen Bodenarten ohne Hindernisse
- Einbringen mittels Unterstützung durch Nieder- bis Hochdruckspülung (verschiedene Verfahren)
- G+T: Hochdruckspülung mit Spüldruck bis 555 bar und Wassermenge bis 163 l/min

5.2 e Weitere Hinweise zu Minderung der Emissionen

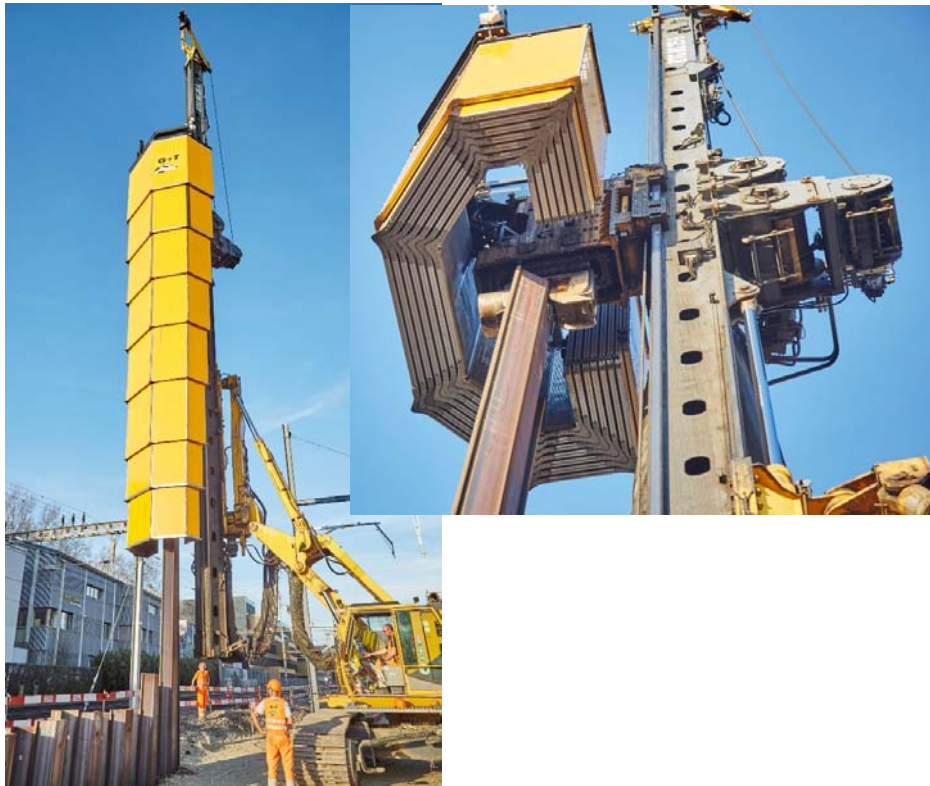


Bild: Schallschutz Grund-und Tiefbau AG

- Zusatzmassnahmen zur Lärmdämmung (vgl. links teleskopierbarer Schallschutz)
- Nicht zu schwache Bohlen verwenden (Schwingung der Bohlen beim Rammen reduzieren!)

5.3 Erschütterungen infolge Reissen (Rippen und Fräsen)



Bild: Vibrripper (Daedong Engineering)

- Ripper werden zum Abtrag von verkittenden Böden und Fels eingesetzt
- Als neueste Entwicklung ist ein Vibrripper verfügbar, Arbeitsfrequenz: 1'700 U/min, d.h. ca. 28 Hz

5.3 Erschütterungen infolge Reissen (Rippen und Fräsen)



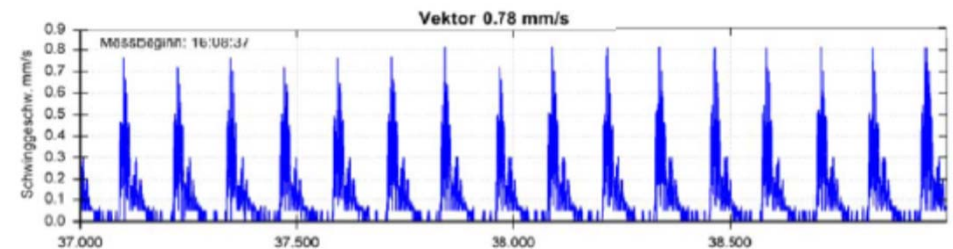
Bild: Gebr. Egli (www.gebr-egli.ch)

- Fräsköpfe werden zum Abtrag von verkittenden Böden und Fels eingesetzt

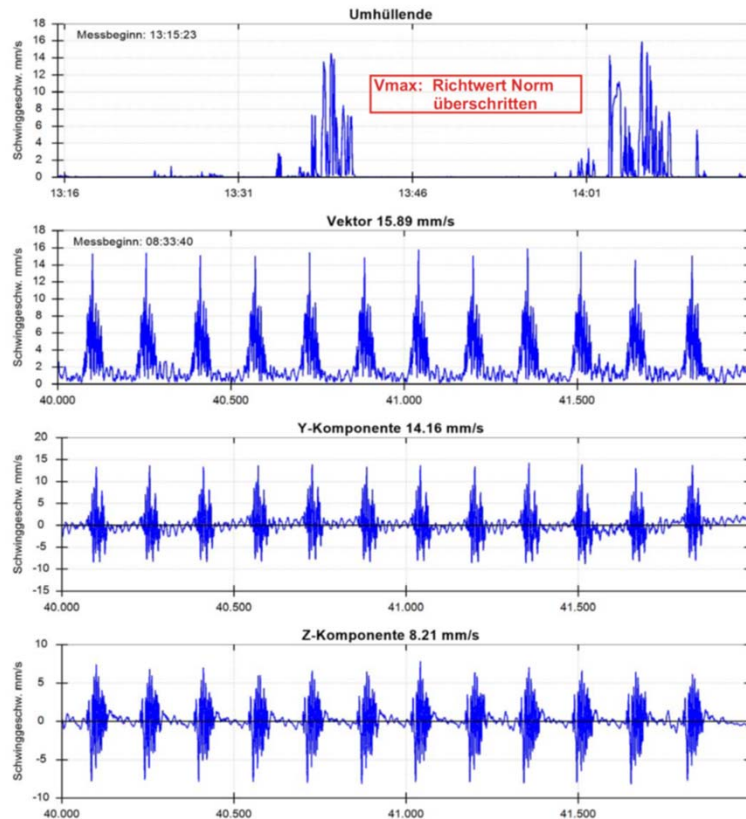
5.4 Erschütterungen durch Schlagen (Hydraulikhammer) (z.B. Betonabbruch oder Felsabbau)



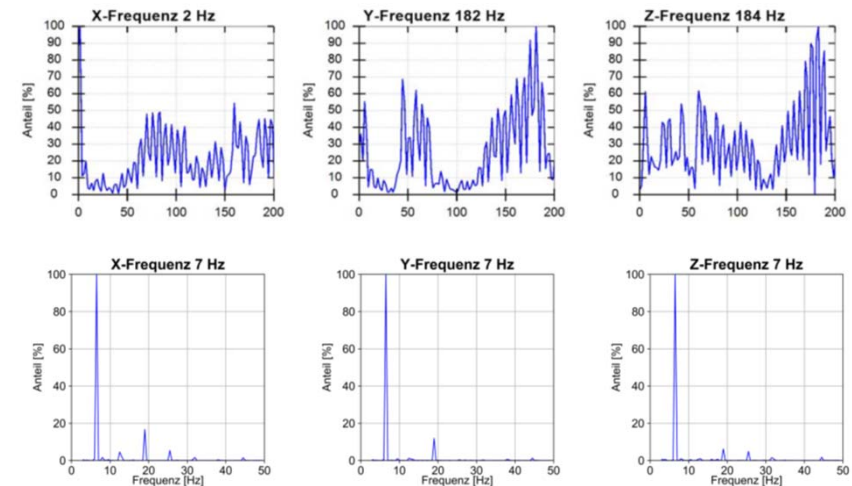
- Hydraulikhämmer mit Gewicht: von 60 bis 5'000 kg,
- Arbeitsfrequenz: 300-1'000 U/min, d.h. 5-16 Hz
- Erhebliche Lärmemissionen
- Typisches Erschütterungsmuster vgl. unten



5.4 Erschütterungen durch Schlagen (Hydraulikhammer)



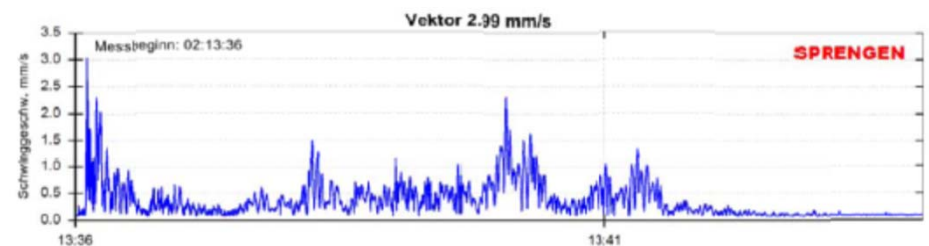
- Beispiel: Felsabbau mit Hydraulikhammer
- Frequenzanalyse (Fourieranalyse):
 - . Standardanalyse (oben): \Rightarrow 183 Hz
 - . Analyse mit Fokus auf tieffrequente Anteile (unten): \Rightarrow 7 Hz!



5.5 Erschütterungen durch Sprengen (z.B. Gebäudeabbruch oder Felsabbau)



- Sprengtechnischer Abbruch oder Aushub,
- Sorgfältige Planung erforderlich
- Sicherheitsmassnahmen
- Typisches Erschütterungsmuster vgl. unten



6. Erschütterungen aus Verdichtungsarbeiten



Grosse Variation
von Walzen und
Einsatzgebieten

Bilder: www.bomag.com

6. Erschütterungen aus Verdichtungsarbeiten

- Walzen werden zum Verdichten des Bodens eingesetzt
 - Energieeintrag in den Boden ist nicht zu vermeiden

- Bei Walzeneinsatz beachten
 - Walzen sollen dem Stand der Technik entsprechen
 - Mit Gebäuden verbundene Bauteile (z.B. Werkleitungsblöcke) nicht direkt überfahren
 - Spezielle Optionen (z.B. oszillierende Verdichtung) reduzieren Schwingungsübertragung

7. Zusammenfassung (1/4)

- Pressen von Spundwänden
 - Erschütterungen weitgehend vermeidbar
 - Eingeschränkt einsetzbar (Arbeitsfortschritt, Baugrund pressbar, Vorversuche evtl. zweckmässig etc.)

- Rütteln von Spundwänden
 - Resonanzfreie hochfrequente Rüttler entsprechend Stand der Technik tragen wesentlich zur Vermeidung von Schäden bei
 - Mäklergeführt (dank Pressunterstützung) sind Rammhindernisse besser beherrschbar

7. Zusammenfassung (2/4)

- Zusätzliche Massnahmen beim Einbringen von Spundwänden zur Verminderung der Erschütterungsemissionen
 - Lockerungsbohrung (keine Rammhindernisse)
 - Überschnittenes Vorbohren (evtl. Bodenaustausch)
 - Nieder-/Hochdruckspülung mit Spülbohle

7. Zusammenfassung (3/4)

- Reissen
 - Einzelimpulse, geringes Resonanzrisiko
- Schlagen
 - Erschütterungen und Lärm sind relevant
- Sprengen
 - Effiziente, aber anspruchsvolle Technik
 - Erschütterungen beherrschbar

7. Zusammenfassung (4/4)

- Verdichten
 - Vibration mit erheblichem Energieeintrag ist unvermeidbar
 - Geräte mit Einzelschlägen wenig kritisch (ausser in Direktkontakt)
 - Schwere Walzenzüge können kritisch sein, evtl. Vorversuche angezeigt

- Beweissicherung
 - Massnahmen auf Risiken abstimmen

Literatur

Literaturverzeichnis >>> bitte unten im Notizenfeld eingeben

- Schnell mit "Ansicht > Notizen" klicken oder
- Umfassend mit Formatierung Fett Aufzählung und dergleichen
"Ansicht > Notizenseite"

Kurz-CV

Titel Vorname Name

Kurz-CV bitte unten auf Notizenseite eingeben

- **Schnell mit "Ansicht > Notizen" klicken oder**
 - **Umfassend mit Formatierung Fett Aufzählung und dergleichen**
- "Ansicht > Notizenseite"**