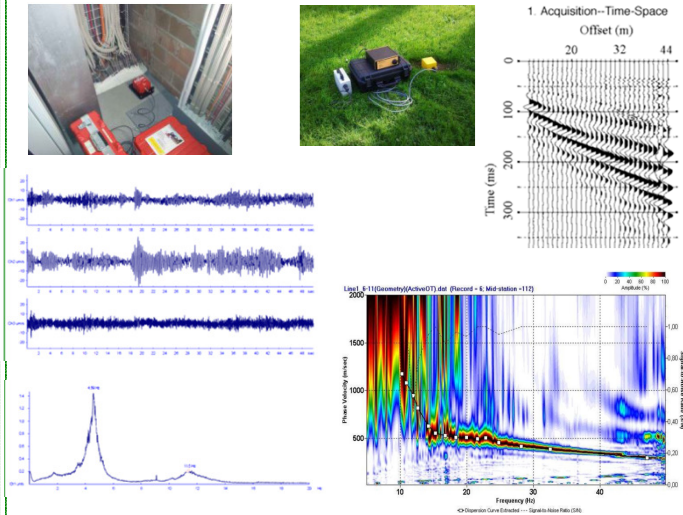
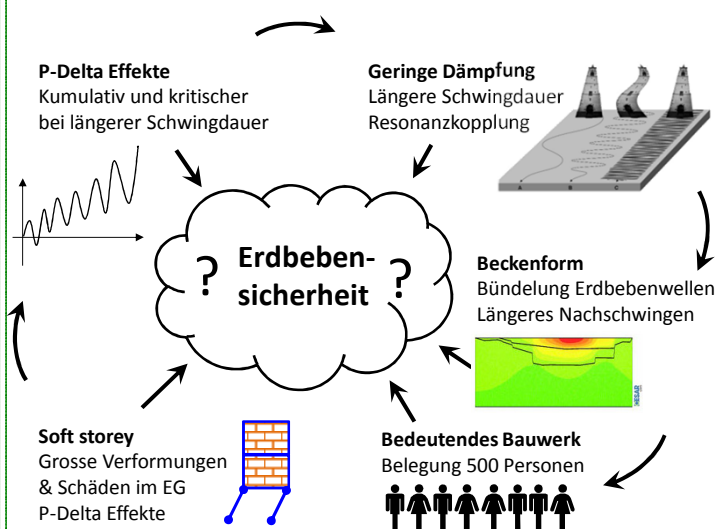


Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

Unabhängige Messmethoden

Aktiv: MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves

Seismische Anregung mit Hammerschlag
Scherwellenprofil über die Tiefe $\Rightarrow V_{s,30}$
Grundschwingzeit T_0

Passiv: H/V Messungen gem. Nakamura

Natürliche Bodenunruhe H/V, «Ambient Vibration»
Grundschwingzeit T_0

Baugrund

Aktiv: Ausschwingversuch nach impulsartiger Anregung

Impulsartige Anregung
Viskose Dämpfung ξ
Grundschwingzeit T_0

Tragwerk

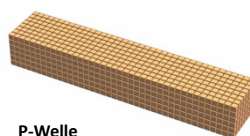
Passiv: «Ambient Vibration» Messungen

Spektralauswertung, «Ambient Vibration»
Grundschwingzeit T_0

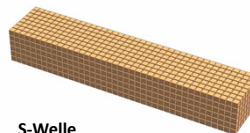
Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

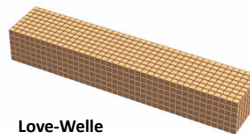
Wellenausbreitung im Baugrund



P-Welle

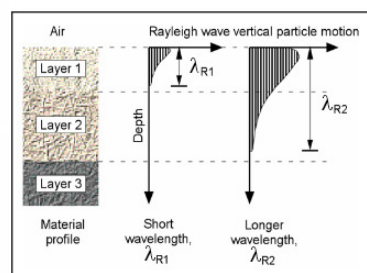
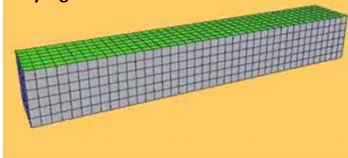


S-Welle



Love-Welle

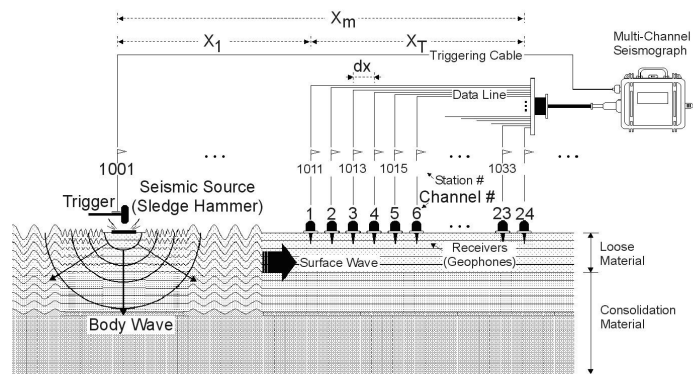
Rayleigh-Welle



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

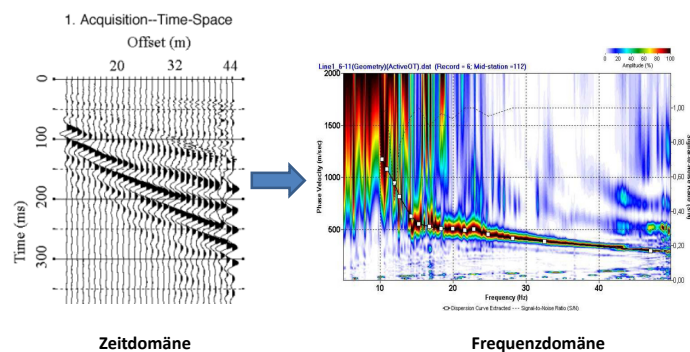
Aktiv: MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

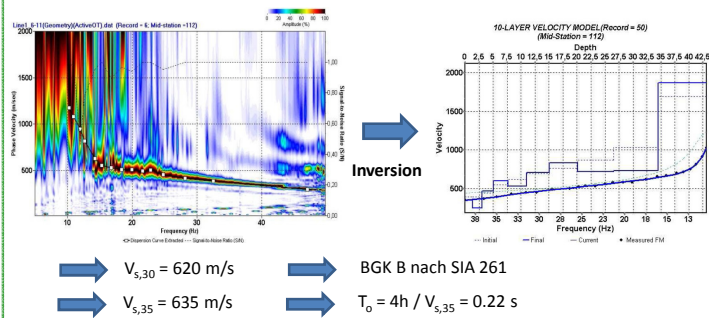
Aktiv: MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

Aktiv: MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves



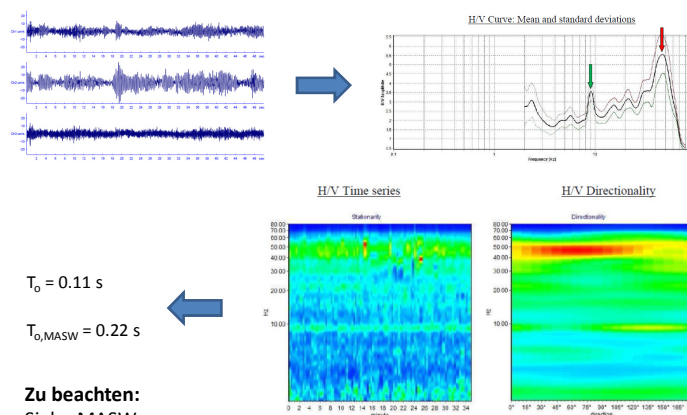
Zu beachten:

Lösung der geophysikalischen Inversion nicht einzigartig!
 Keine Aussage über Bodenart und -eigenschaften ausser v_s !
 Saisonale Schwankungen der Messwerte (Frost, Grundwasser etc.)!
 Antropogene Einflüsse beachten (Baustellen, Generatoren etc.)!
 Verifizierung durch geotechnische Aufschlüsse IMMER erforderlich!

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

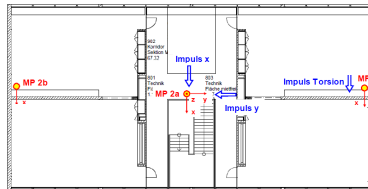
Passiv: H/V Messungen gem. Nakamura



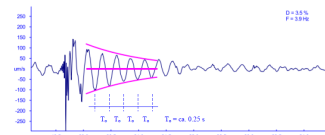
Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. **Tragwerksmessungen**
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

Aktiv: Ausschwingversuch



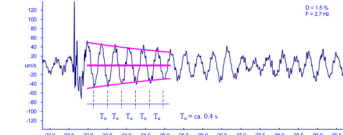
2- Geschossig



$$\xi = 3.5\%$$

$$T_0 = \text{ca. } 0.25 \text{ s}$$

4- Geschossig



$$\xi = 1.5\%$$

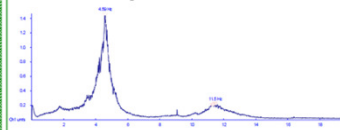
$$T_0 = \text{ca. } 0.40 \text{ s}$$

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. **Tragwerksmessungen**
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

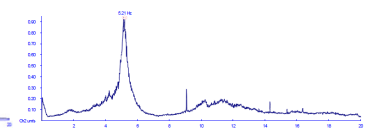
Passiv: Spektralauswertung «Ambient Vibration»

2- Geschossig



$$\text{Torsion: } T = \text{ca. } 0.19 \text{ s}$$

$$\text{Signal 1} - \text{Signal 2}$$



$$\text{Translation: } T = \text{ca. } 0.22 \text{ s}$$

$$(\text{Signal 1} + \text{Signal 2}) / 2$$

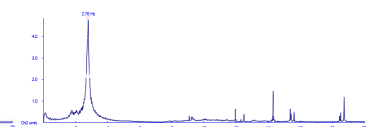
$$T_{\text{aktiv}} = 0.25 \text{ s}$$

4- Geschossig



$$\text{Torsion: } T = \text{ca. } 0.56 \text{ s}$$

$$\text{Signal 1} - \text{Signal 2}$$



$$\text{Translation: } T = \text{ca. } 0.36 \text{ s}$$

$$(\text{Signal 1} + \text{Signal 2}) / 2$$

$$T_{\text{aktiv}} = 0.40 \text{ s}$$

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
- 4. Erdbebenamplifikation**
5. Schlussfolgerungen

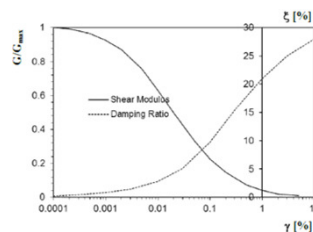
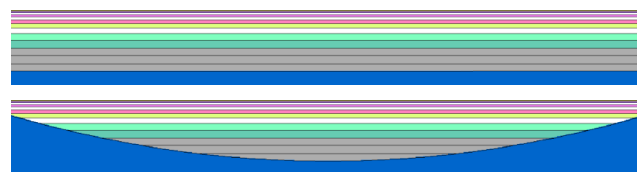
2D-Amplifikationsberechnung

1. Definition der Baugrundgeometrie
 - horizontal geschichtet
 - mit Beckenform
2. Ermittlung der dynamischen Bodenkennziffern für die jeweilige Schicht
3. Erzeugung von 7 standortspezifischen Zeitverläufen
4. Berechnung der Amplifikationsspektren FOK - GOK
5. Vergleich der Amplifikationsspektren «horizontal / gekrümmt»

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
- 4. Erdbebenamplifikation**
5. Schlussfolgerungen

2D-Amplifikationsberechnung



2D Linear-äquivalent
S-Kurven aus der Literatur

V_s aus MASW-Messungen
«Absorbent Boundaries»
Netzweite: $V_s/5f = 1.5 - 3.5$ m
Abmessungen: ca. 40 x 400 m
Elemente: ca. 10'000 Stk.
Zeitschritt: 0.005 s

⇒ 5 GB Daten je Zeitverlauf!

Düßendorf, 13.06.2014

Wessam Rinawi
Dott. Ing., Dipl. Ing. SIA
zert. Erdbebening. CAS

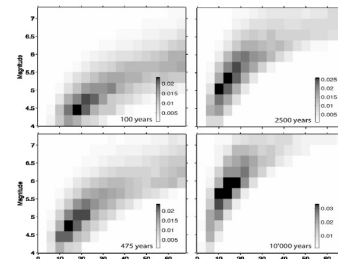
13 / 17



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
- 4. Erdbebenamplifikation**
5. Schlussfolgerungen

2D-Amplifikationsberechnung



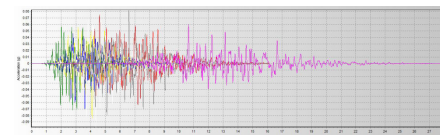
PSHA – Probabilistic Seismic Hazard Assessment

Magnituden-Distanz-Paare

Attenuation Law

Beitrag zur Erdbebengefährdung am Standort auf sehr hartem Fels im Untergrund

Deaggregation der Erdbebengefährdung am Standort



Zeitverläufe nach Sabetta-Pugliese, 1996

Realistische Zeitverläufe für mittlere Seismizität

Nicht-stationäre Charakteristik

Realistischer Energieeintrag (Housner-Intensität)

© BDS AG

Düßendorf, 13.06.2014

Wessam Rinawi
Dott. Ing., Dipl. Ing. SIA
zert. Erdbebening. CAS

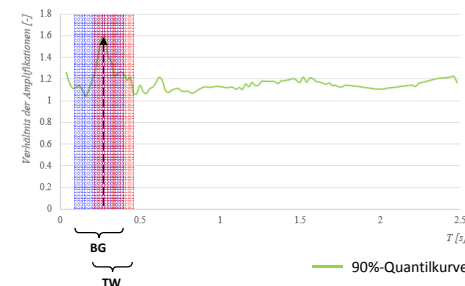
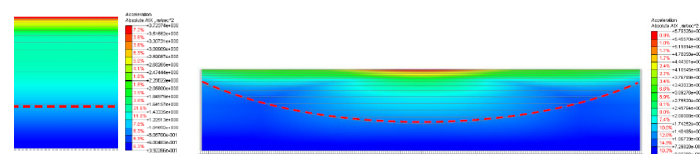
14 / 17



Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
- 4. Erdbebenamplifikation**
5. Schlussfolgerungen

2D-Amplifikationsberechnung



$T_{0, \text{Baugrund}} = 0.1 - 0.3 \text{ s}$

$T_{0, \text{2D-Amp}} = \text{ca. } 0.25 \text{ s}$

$T_{0, \text{Tragwerk, 2G}} = \text{ca. } 0.2 \text{ s}$

$T_{0, \text{Tragwerk, 4G}} = \text{ca. } 0.4 \text{ s}$

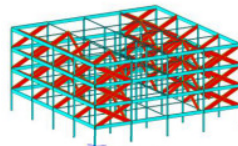
⇒ Resonanz?

© BDS AG

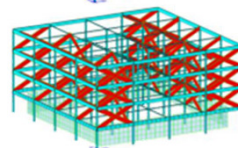
Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

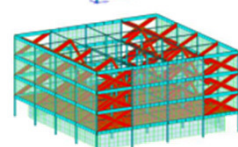
Einfluss sekundärer Bauteile signifikant!



Tragwerk
 $T_0 = \text{ca. } 2.0 \text{ s}$



Tragwerk + Verglasung EG
2m-Panels, monolithisch
 $T_0 = \text{ca. } 0.9 \text{ s}$

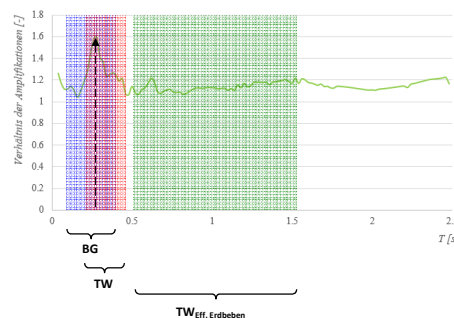


Tragwerk + Verglasung EG+OGs
2m-Panels, monolithisch
 $T_0 = \text{ca. } 0.3 \text{ s}$

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

1. Ausgangslage
2. Baugrundmessungen
3. Tragwerksmessungen
4. Erdbebenamplifikation
5. Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen



$T_{0, \text{Baugrund}} = 0.1 - 0.3 \text{ s}$

$T_{0, \text{2D-Amp}} = \text{ca. } 0.25 \text{ s}$

$T_{0, \text{Tragwerk, eff}} = 0.5 - 1.5 \text{ s}$

- ⇒ Keine Resonanzkopplung im Erdbebenfall
- ⇒ Beckeneffekte unkritisch
- ⇒ Viskose Dämpfung: $\xi = 3\%$ anstelle 5% gem. SIA 261
- ⇒ Erhöhung der Beanspruchungen um $\eta = (10/(5+\xi))^{0.5} = \text{ca. } 10\%$
- ⇒ Empfehlung: Aussteifung EG, Schadensverhütung auch bei Schwachbeben

Dynamische Untersuchungen an Baugrund und Tragwerk

Weiterführende Literatur

- [1] Kramer S.L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey 1996
- [2] Y. Nakamura, On the H/V Spectrum, 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- [3] Seed, H. B. and Idriss, I. M., Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Report No. UCB/EERC 70/10, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1970
- [4] Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Sesame European Research Project, WP12 – Deliverable D23.12, 2004
- [5] F. Sabetta and A. Pugliese, Estimation of Response Spectra and Simulation of Nonstationary Earthquake Ground Motions, Bull. Seism. Soc. Am., 1996, Vol. 86, No. 2, 337-352
- [6] Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW), C.B.Park, Kansas Geological Survey, 1997
- [7] Active and Passive Surface Wave Techniques, GeoVision, Corona CA, 2010
- [8] Verfahren zur Erstellung und Verwendung von Mikrozonierungsstudien in der Schweiz, BAFU, Bern 2004
- [9] R. Paolucci, L. Morstabilini, Non-Dimensional Site Amplification Functions for Basin Edge Effects on Seismic Ground Motion, Bull. Seism. Soc. Am., 1996, Vol. 86, No. 2, 337-352