
Geophysikalische und geotechnische Feldversuche und deren Interpretation

**zur Ermittlung der Bebenverstärkung und des
Bodenverflüssigungspotentials infolge Erdbeben**

Dr. J. Studer
Studer Engineering
8038 Zürich

Inhalt

- **Mikrozonierung**
 - Was ist Mikrozonierung?
 - Welche geotechnische Grössen werden benötigt?
- **Laborversuche vs. Feldversuche**
- **Seismische Versuche**
 - Cross-hole
 - SASW
- **Penetrationsversuche**
 - SPT
 - CPT
- **Auswertung bezüglich Erdbebenverstärkung**
- **Auswertung bezüglich Bodenverflüssigung**

Mikrozonierung

- **Zweck:** Grundlage für erdbebengerechte Raumplanung
- **Typ:** Gefahrenkarte und spezifische Bauvorschriften
- **Teile:**
 - lokale Erdbebenverstärkung → Dimensionierung/Bauvorschriften
 - Nahzone einer Verwerfung → Bauverbote
 - Bodenverflüssigung, exzessive Setzungen → Foundation
 - Gebäudeinstabilitäten → Bauverbote
 - Überschwemmungszonen → Bauverbote
(Seiches, Tsunamis, Dambruch etc.)

Mikrozonierung



- **Erdbebenverstärkung**
- **Bodenverflüssigung**
- **Rutschungen**

Erdbebenverstärkung, geotechnische Parameter

→ $G = f(\gamma)$

In der Praxis: **äquivalente Bodenkennziffern**

G_{\max} aus v_s	<ul style="list-style-type: none">- Feldversuche (Cross-hole, SASW etc.)- Laborversuche (RC-Test)- Literatur
G / G_{\max}	<ul style="list-style-type: none">- Literatur- zykl. Triaxialversuche etc.

Bodenverflüssigung, geotechnische Parameter

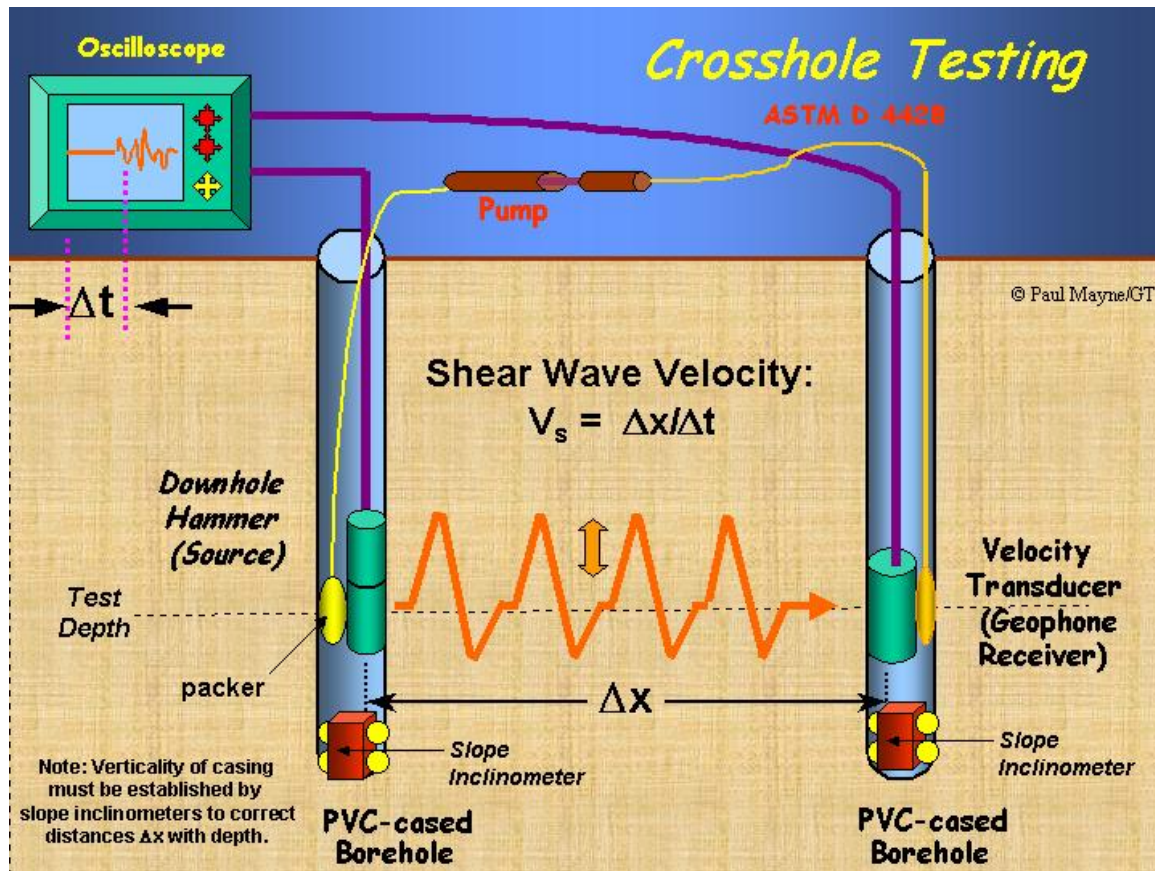
Materialeigenschaften + Korrelationen

- SPT Standard Penetration Test
- CPT Cone Penetration Test
- v_s SCPT, SASW, Cross-hole
- Literatur (Geologie, USGS)

Geländeinstabilitäten, geotechnische Parameter

- Geologie, USGS
- Festigkeitseigenschaften φ' , c'

Cross-hole Versuche



Cross-hole Versuche: Probleme

1. Lochabstand:

- So gross, dass v messbar (zeitliche Auflösung)
- So kurz, dass nur eine Schicht erfasst wird

Typisch: geschichtete Böden 6-12 m
homogene Böden bis 30m

2. Lochverrohrung: PVC

3. Quelle: Problem v_s

- Quelle unpolarisierbar
- Signal enhancement

Cross-hole Versuche: Probleme (2)

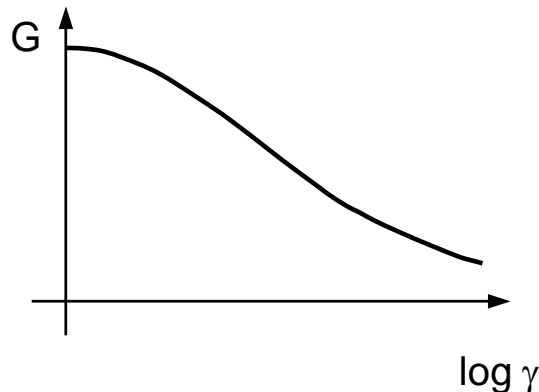
4. Genauigkeit:

- zeitlich
- vertikal und horizontal vermessen!

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad G = v_s^2 \cdot \rho$$

$$v_s = x \pm 10\% \Rightarrow G = x^2 \pm 20\%$$

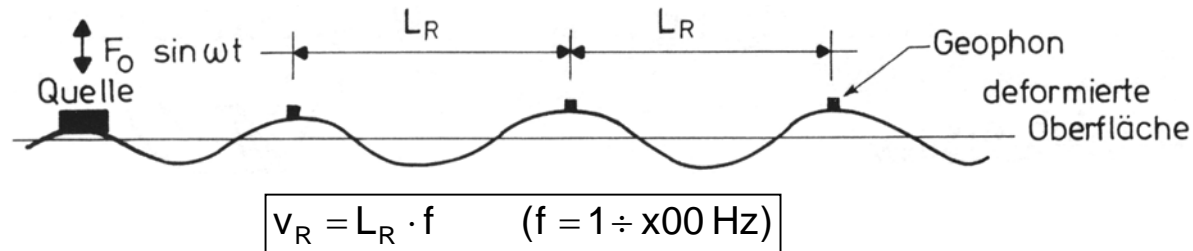
5.



➔ nur G, keine Dämpfung !

Schwinger auf Oberfläche

- **Prinzip:**



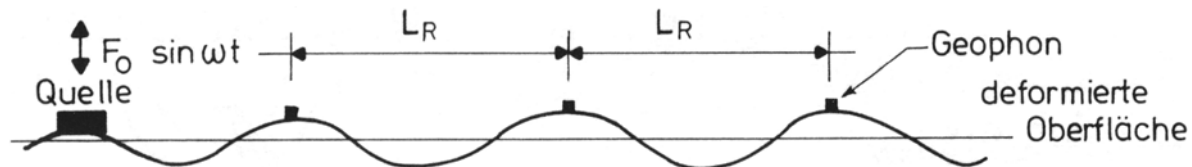
- **Auswertung:** $G = \rho \cdot v_R^2 = \rho \cdot f^2 \cdot L_R^2$

- **Ausführung:**

- Spezialfirmen
- grosse Schwinger für grössere Tiefen

Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)

Versuch:



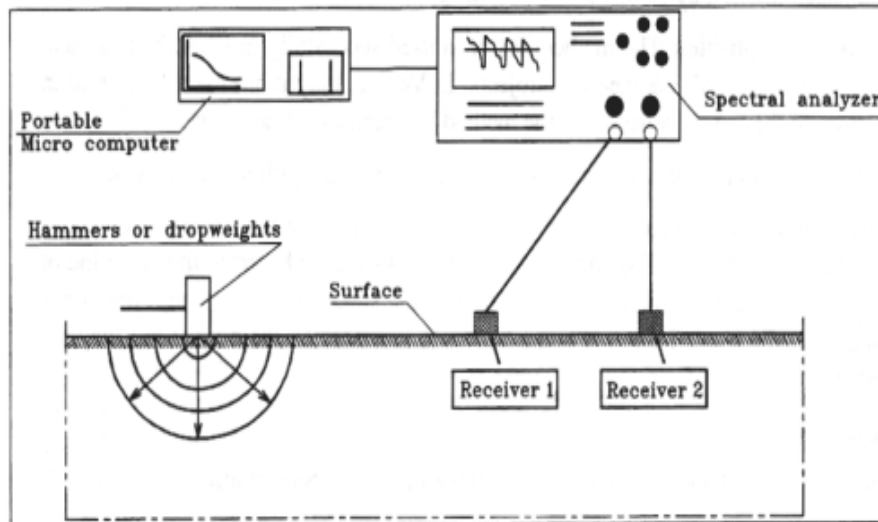
Erfasster Bereich Rayleighwelle = $f(\text{Frequenz})$

Phasengeschwindigkeit $v_R = f(\text{Frequenz}) = f(G(t))$

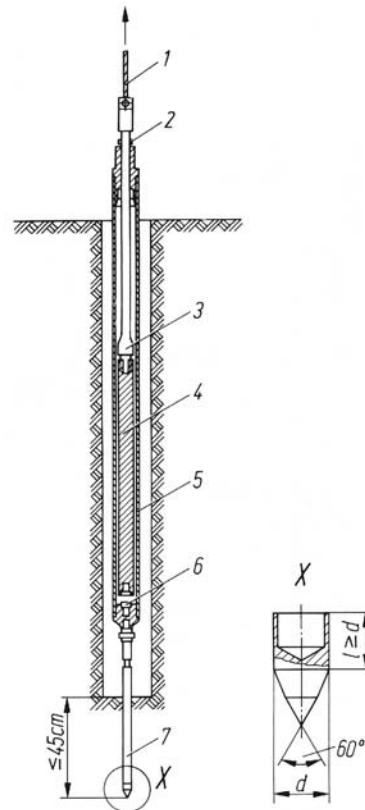
$$\text{da } \lambda_R = \frac{v_R}{f}$$

Spektralanalyse \rightarrow Zuordnung v_R zu Frequenz $\rightarrow G = f(t)$

Spectral Analysis of Surface Waves (SASW)



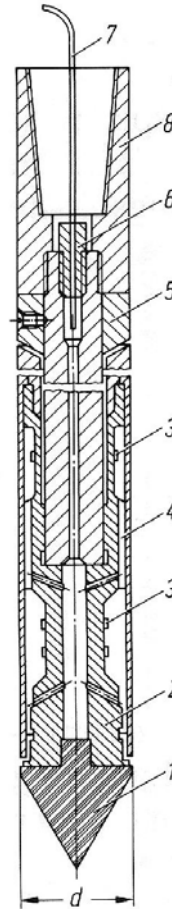
Standard Penetration Test (SPT)



Standard Penetration Test SPT.

- | | | |
|---|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Seil | |
| 2 | Stopfbuchse | |
| 3 | automatische Ausklinkvorrichtung | } 3 bis 6 Schlagvorrichtung |
| 4 | Rambär | |
| 5 | Mantel | |
| 6 | Amboß | |
| 7 | Sonde | |

Cone Penetration Test (CPT)



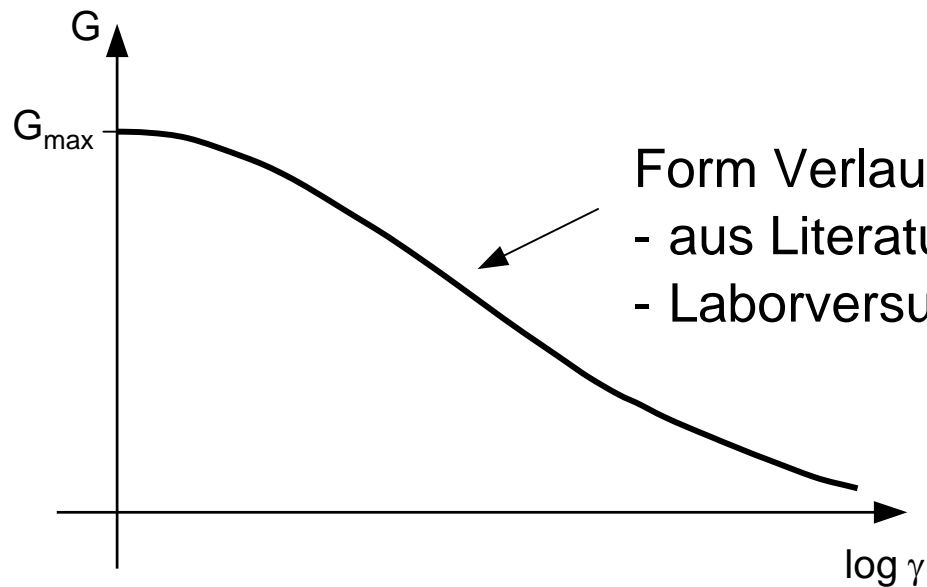
Drucksonde CPT

- 1 Sondierspitze, $A_c = 10 \text{ cm}^2$, 60°
- 2 Meßkörper
- 3 Dehnungsmeßstreifen
- 4 Reibungshülse, $A_s = 150 \text{ cm}^2$
- 5 Justierring
- 6 wasserdichte Kabeldurchführung
- 7 Signalkabel
- 8 Gestängeverbindung

Kennziffern für Bebenverstärkung

$$G_{\max} = v_S^2 \cdot \rho$$

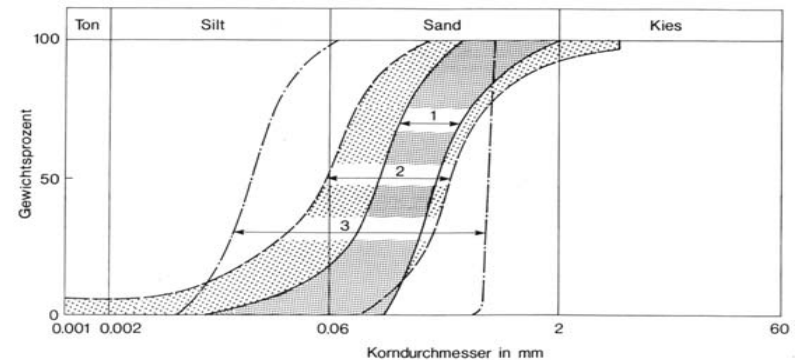
→ *Linear äquivalente
Bodenkennziffern*



Form Verlauf:
- aus Literatur
- Laborversuche

Voraussetzungen für Bodenverflüssigung

- **Korngrößenverteilung**
- **Lockere Lagerung**
- **Sättigung**

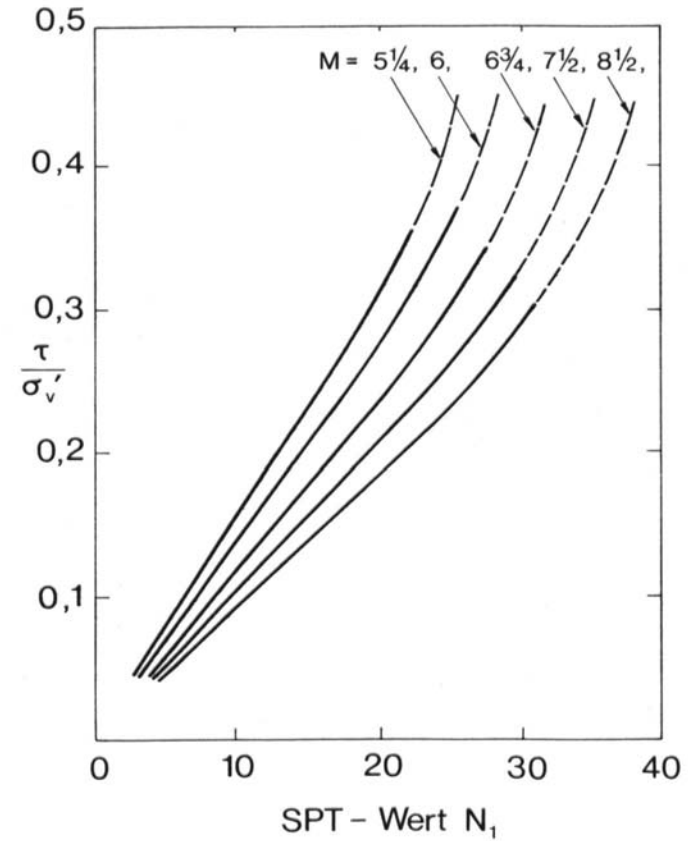
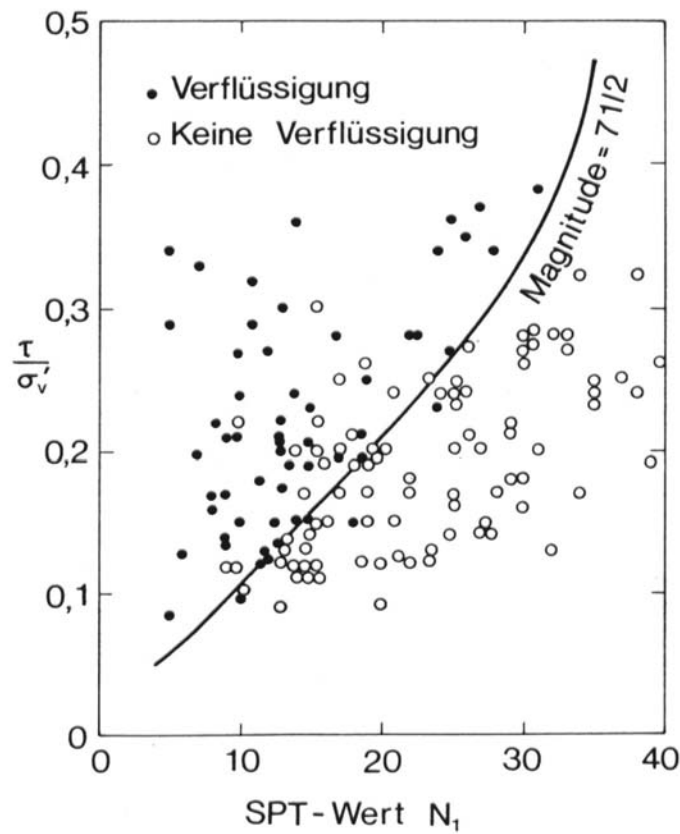


Bodenverflüssigung, Praxis

Korrelationen mit Felddaten:

- SPT - *grösste Datenbasis*
 - *nur singular*
- CPT - *beschränkte Datenbasis*
 - *kontinuierlich*
- v_s - *schwächste Korrelationen*

SPT Auswertung



Beurteilung des Verflüssigungspotentials nach H.B. Seed und I.M. Idriss (1982)

SPT Versuche, Widerstand

wesentlich:

- Versuche korrekt durchgeführt (vor allem bezüglich Schlagenergie)
- Korrekturen der gemessenen Schlagzahlen:
 - Überlagerungsdruck
 - Feinanteil
 - Gerätetyp
 - „Korrektur“ für Magnitude

CPT Korrelationen mit Bodenverflüssigung

- Korrelationen unsicherer im Vergleich zu SPT
- Vorteil: kontinuierliches Profil
- Korrekturen der Rohdaten notwendig:
 - Korrektur wegen Geometrie des Kegels
 - Überlagerungsdruck:
 $q_{c1N} = C_Q (q_c / P_a)$ mit $C_Q = (P_a / \sigma'_{vo})^n$ [$P_a = 100\text{kPa}; n = 0.5 \div 1$]
 - Dünne Schichten
 - Feinanteil
 - „Korrektur“ für Magnitude

Korrelationen Bodenverflüssigung über v_s

- Korrelationen schwach
- v_s und Bodenverflüssigung sind aus physikalischer Sicht unterschiedlich