

Anwendung innovativer Stoffmodelle für Böden im Rahmen von F&E-Projekten in der Praxis

*Dr.-Ing. Thomas Meier,
BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft mbH*

Inhaltsübersicht

- Hypoplastizität – Entmystifizierung
- Entwicklung eines Mikropfahl-Tiefgründungssystems
- Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“
- Weitere Projekte

Hypoplastizität – Entmystifizierung

Stoffmodell = mathematische Beschreibung des mechanischen Verhaltens von Böden

Hypoplastizität mit Intergranularer Dehnung (granulare Böden)

$$\dot{\boldsymbol{\sigma}}' = \mathbf{M}(\boldsymbol{\sigma}', e, \boldsymbol{\delta}, \dot{\boldsymbol{\varepsilon}})$$

[v. Wolfferdorff, 1997]

[Niemunis & Herle, 1997]

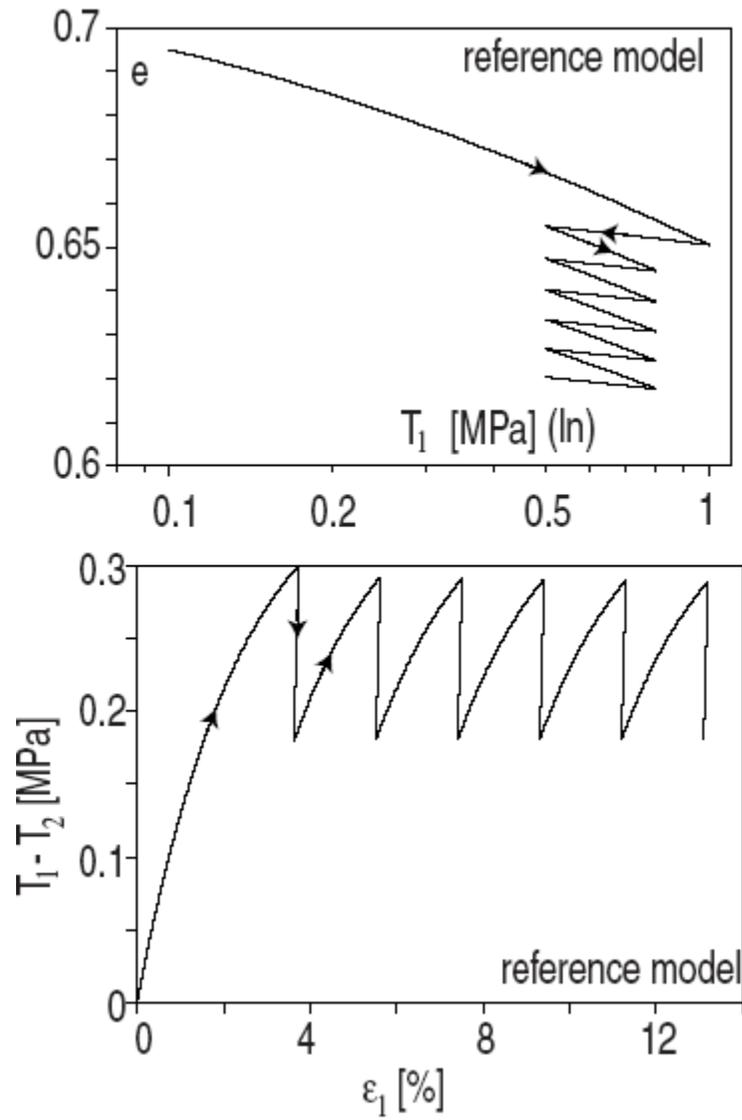
8 Materialparameter:

φ_c – kritischer Reibungswinkel

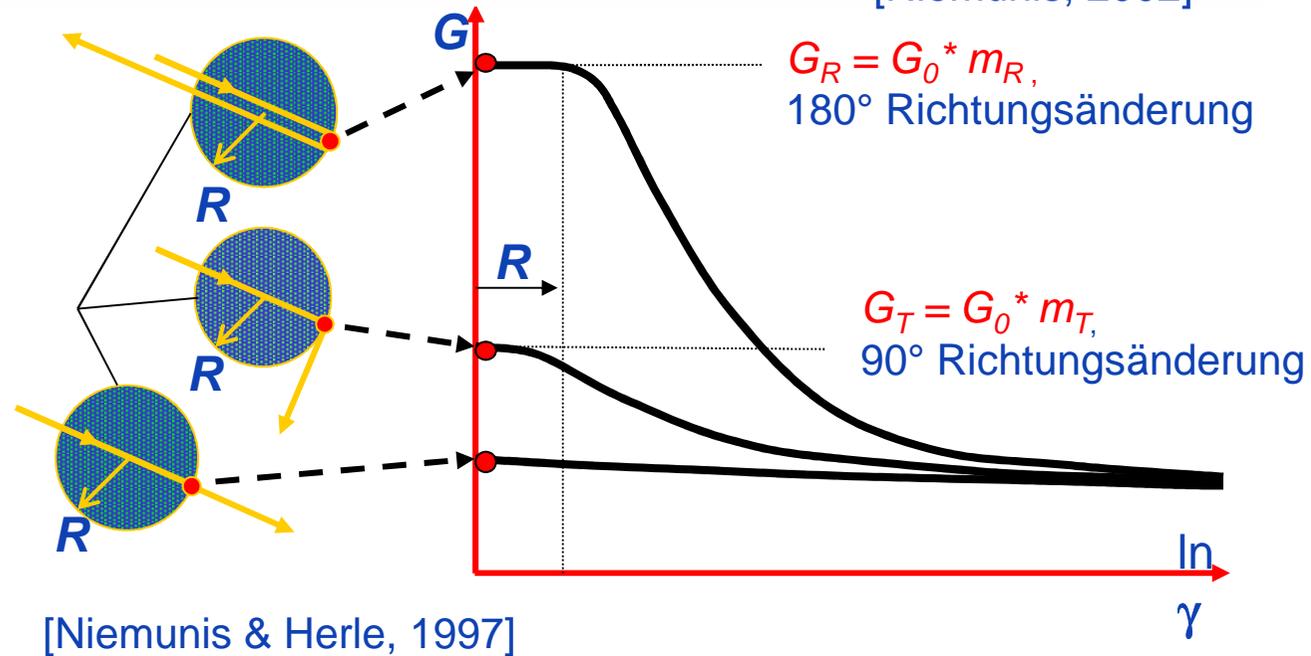
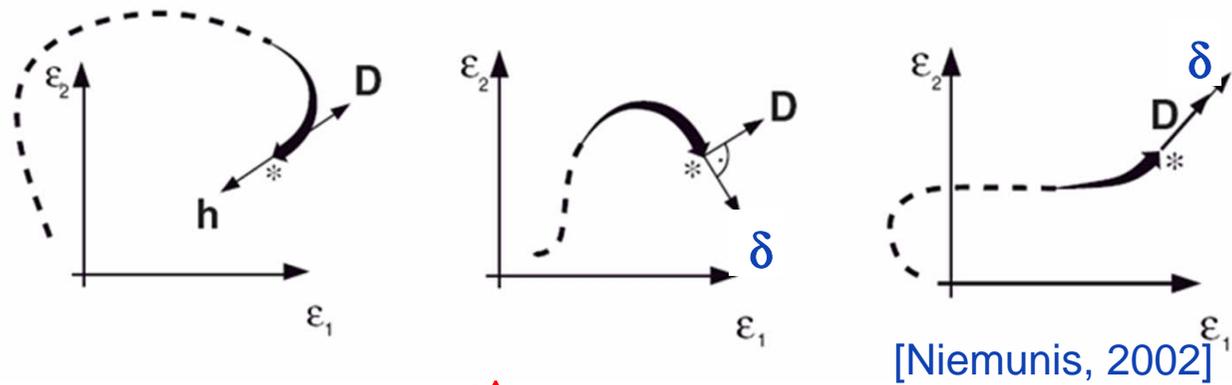
h_s, n – Granulathärte h_s und Exponent n

e_{d0}, e_{c0}, e_{i0} – Grenzporozahlen bei Druck Null

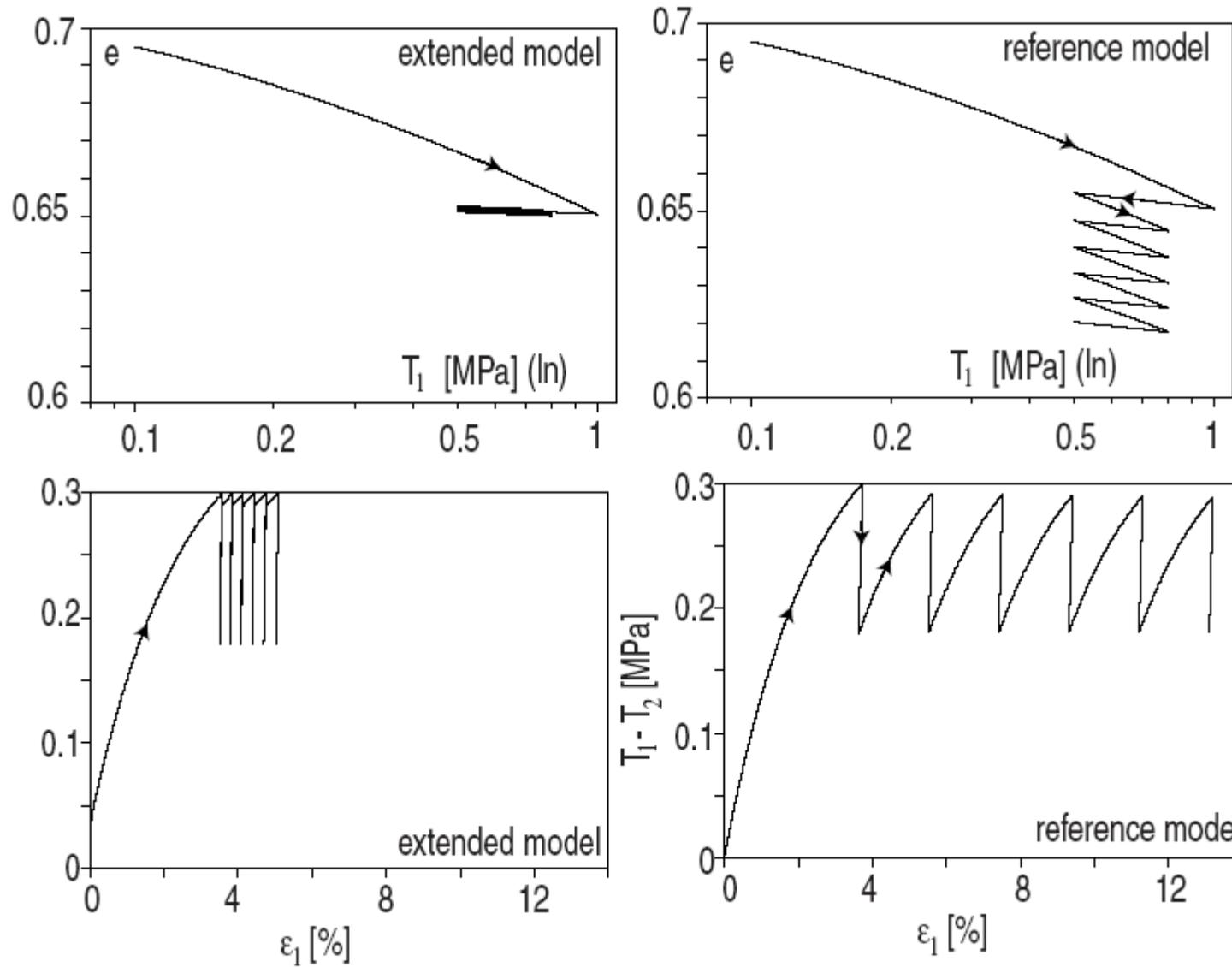
α, β – Exponenten



[Niemunis, 2002]



+ 5 Parameter für die Intergranulare Dehnung

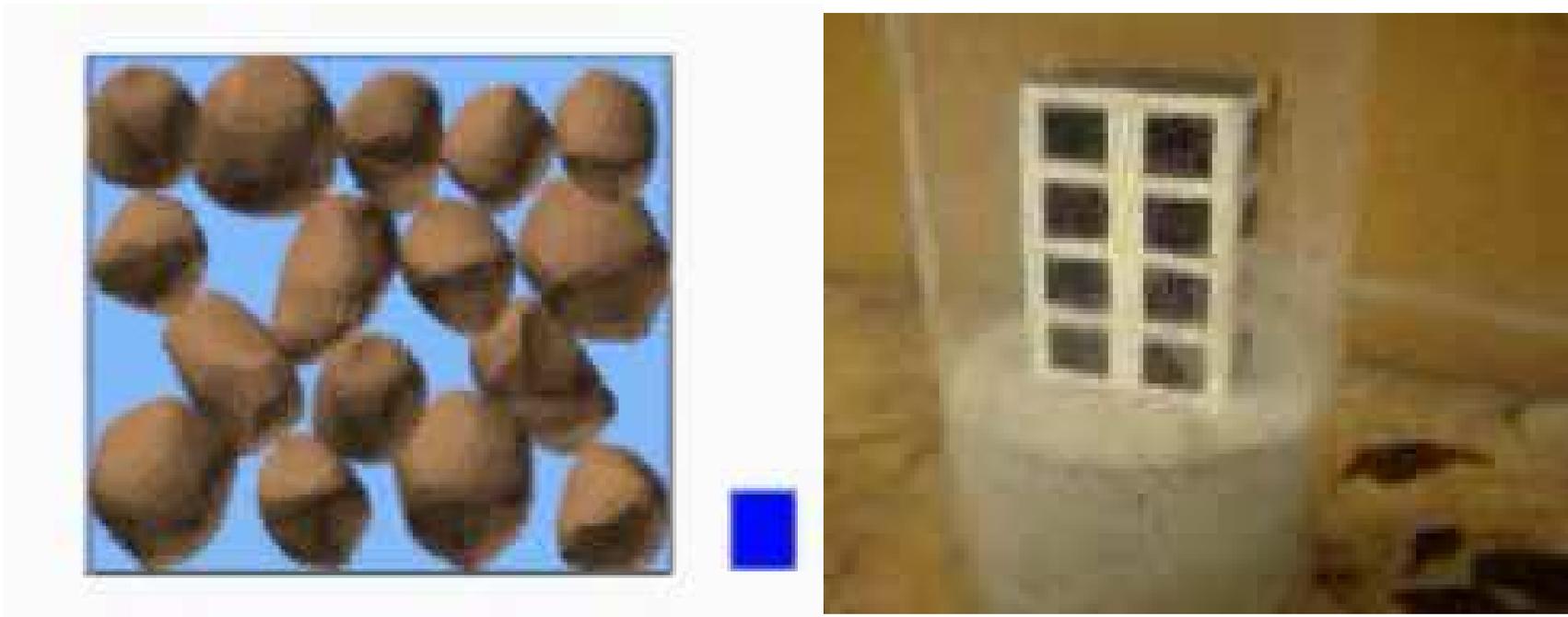


Inhaltsübersicht

- Hypoplastizität – Entmystifizierung
- **Entwicklung eines Mikropfahl-Tiefgründungssystems**
- Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“
- Weitere Projekte

Entwicklung eines Mikro-Pfahl-tiefgründungssystems für durch Erdbeben verflüssigungsgefährdete Böden

Verflüssigung



[University of Washington - <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/what/what1.html>]

Entwicklung eines Mikro-Pfahl-tiefgründungssystems für durch Erdbeben verflüssigungsgefährdete Böden

Motivation



Niigata earthquake 1964, Quelle: en.wikipedia.org

Entwicklung eines Mikro-Pfahl-tiefgründungssystems für durch Erdbeben verflüssigungsgefährdete Böden

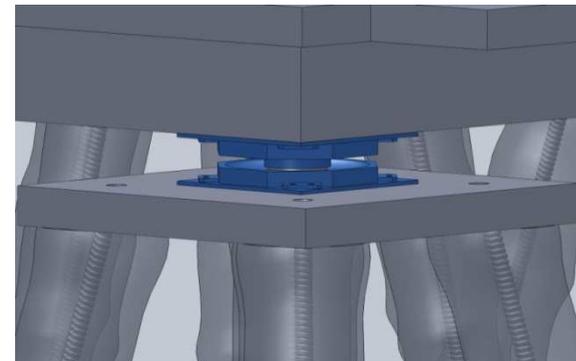
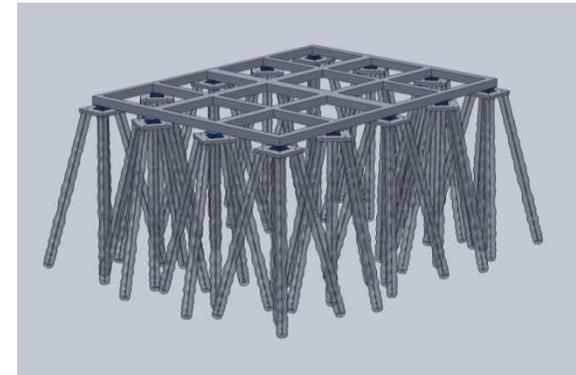
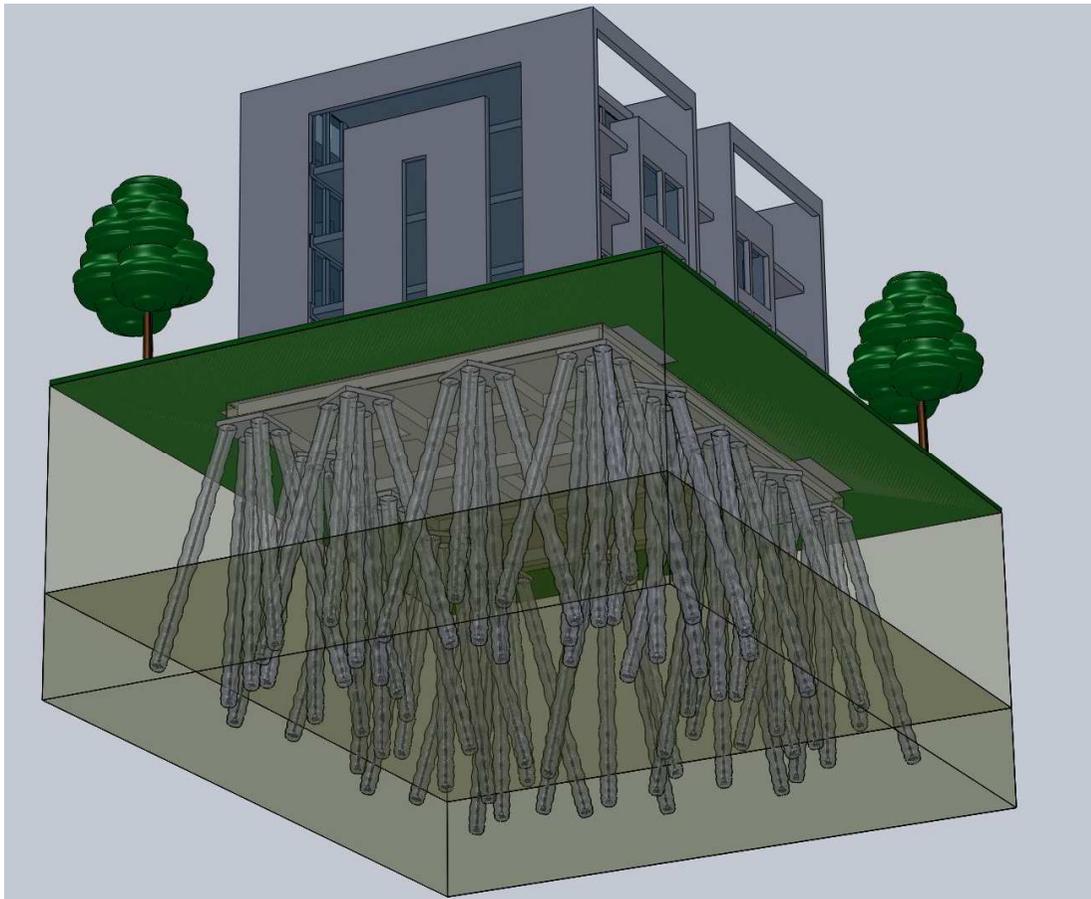
Motivation



Aktueller Anlass: Christchurch, 2010/2011 Neuseeland,
Quelle: thewatchers.adorraeli.com

Entwicklung eines Mikro-Pfahl-tiefgründungssystems für durch Erdbeben verflüssigungsgefährdete Böden

Mögliche Lösung



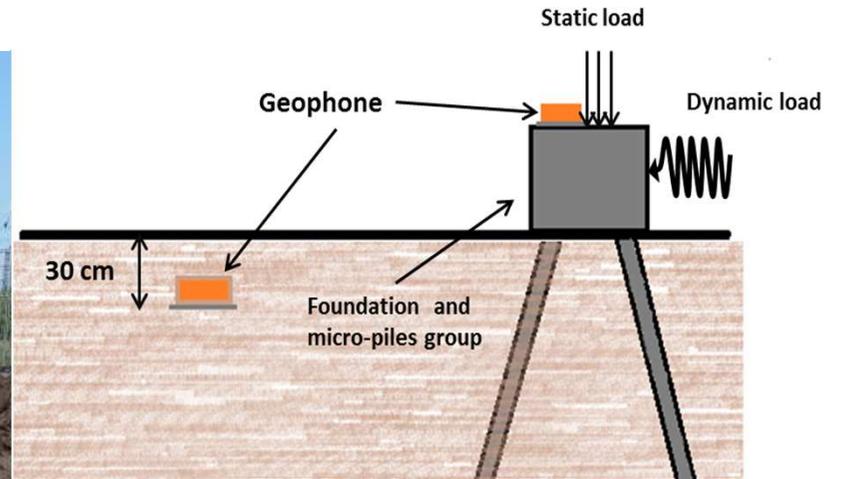
25 JAHRE BAUGRUND DRESDEN, 03. MÄRZ 2016

Entwicklung eines Mikro-Pfahl-tiefgründungssystems für durch Erdbeben verflüssigungsgefährdete Böden

Methodik:

- Originalmaßstäbliche Feldversuche (trocken)
- Numerische Simulation der Feldversuche
- Anwendung des validierten 3D-FE-Modells auf gesättigte Verhältnisse
- Entwicklung geeigneter Pfahlbocksysteme für standardisierte Gebäudetypen

Feldversuche Klingersee – Tagebau Jänschwalde



Universität Kassel
Institut für Geotechnik und
Geohydraulik
Fachgebiet Geotechnik

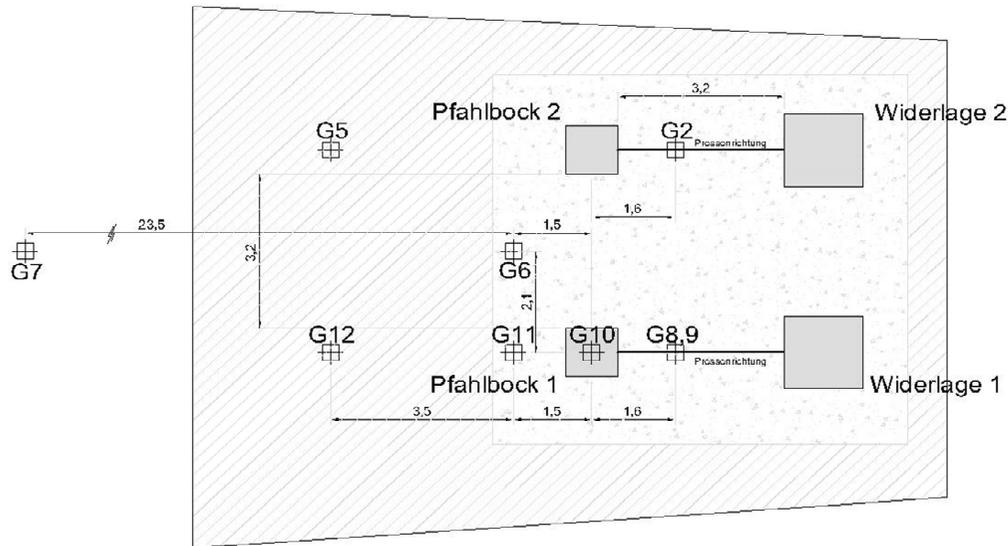


Hochschule für
Technik und Wirtschaft
Dresden
University of Applied Sciences

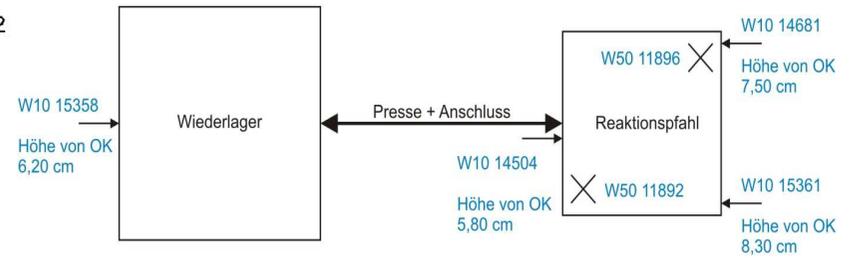
25 JAHRE BAUGRUND DRESDEN, 03. MÄRZ 2016



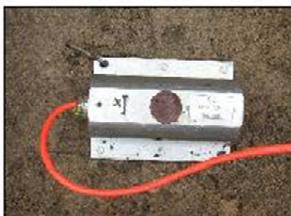
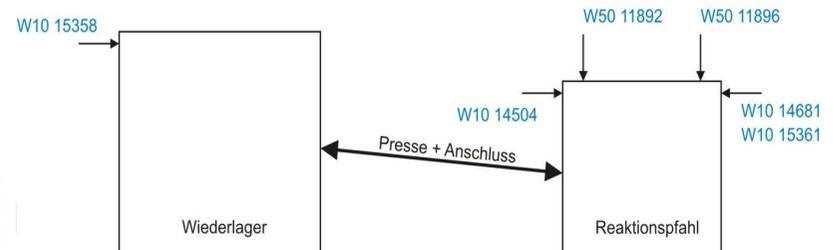
Feldversuche Klingersee – Versuchseinrichtung



Draufsicht



Seitenansicht

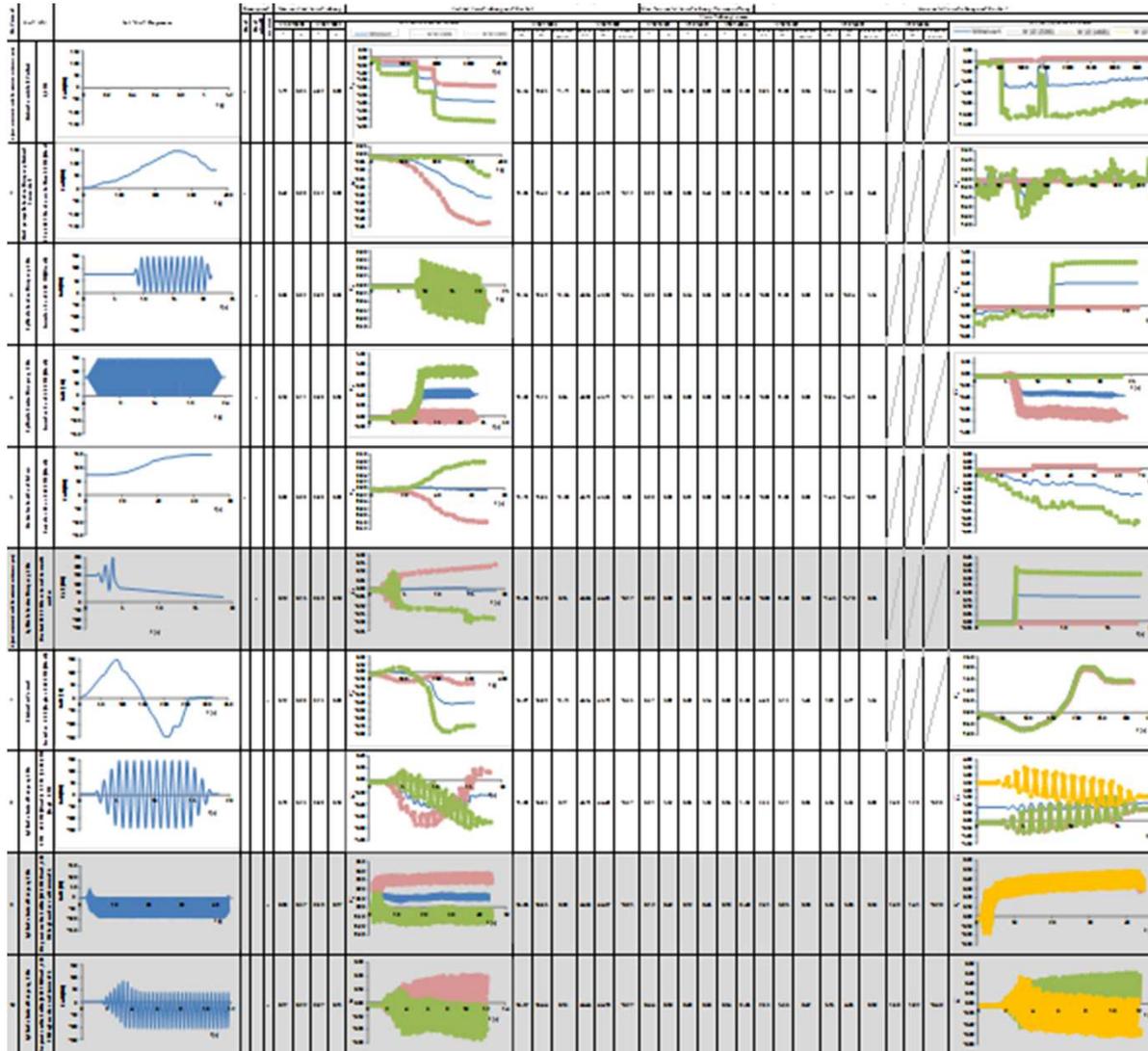


Geophon



[Meybodi, 2014]

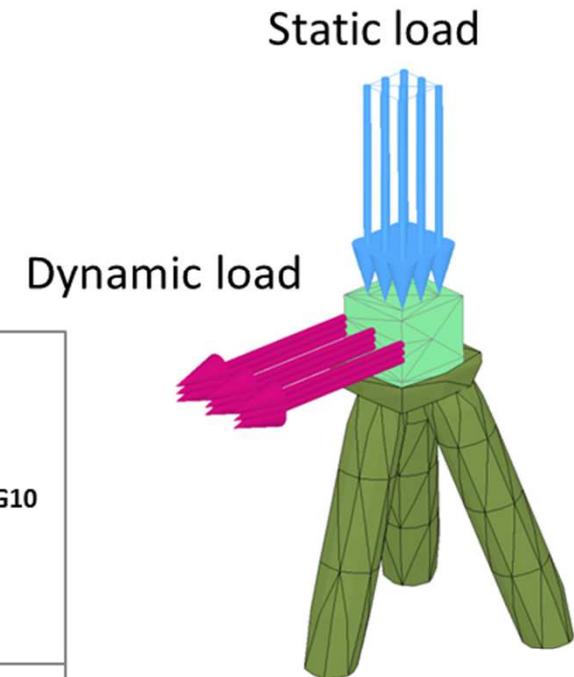
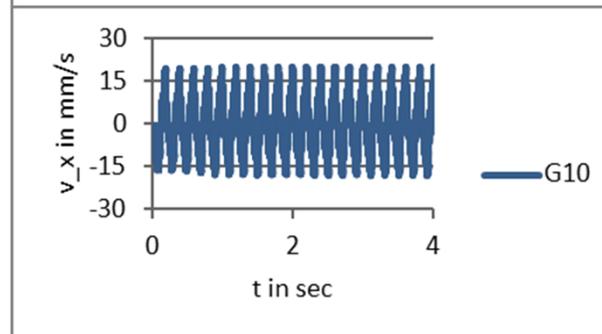
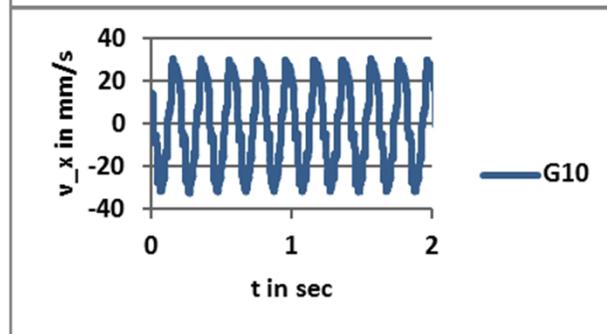
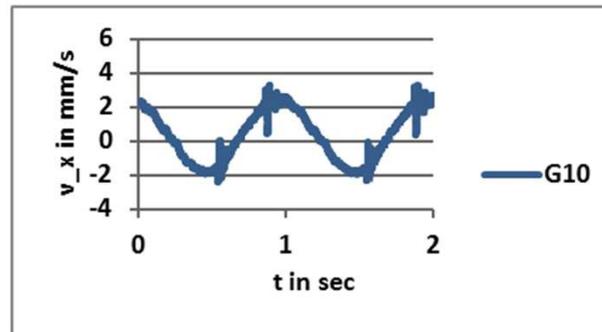
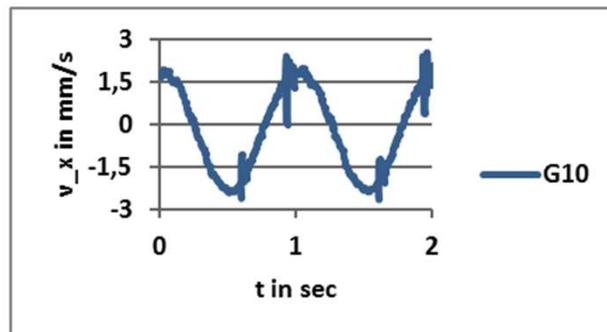
Feldversuche Klingersee – Ergebnisse



25 JAHRE BAUGRUND DRESDEN, 03. MÄRZ 2016

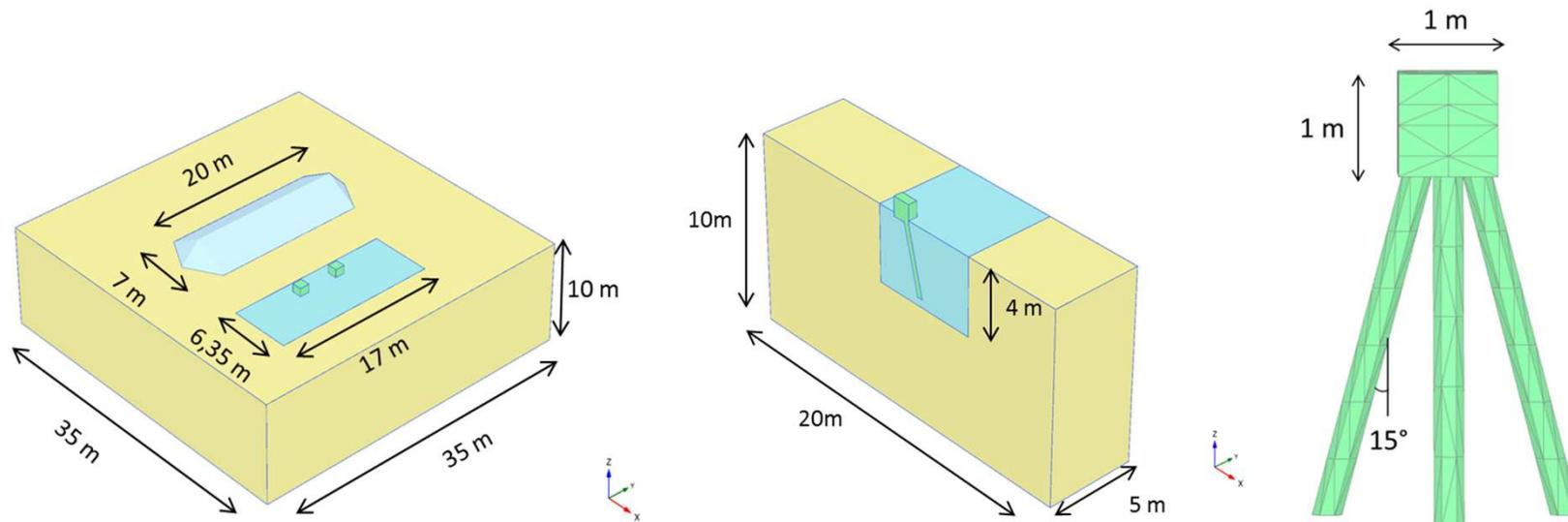
Feldversuche Klingersee – Ergebnisse

Dynamic phase	v_{max} in mm/s	f in Hz	Phase duration in sec
Lauf 1	2	1	2
Lauf 2	3	1	2
Lauf 4	30	5	2
Lauf 9	20	5	4



[Meybodi, 2014]

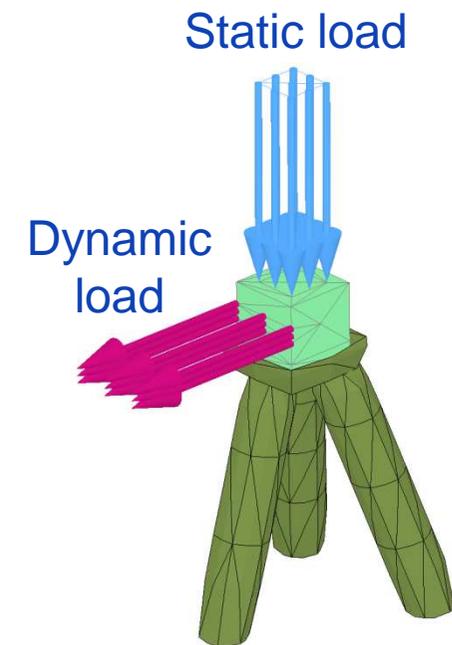
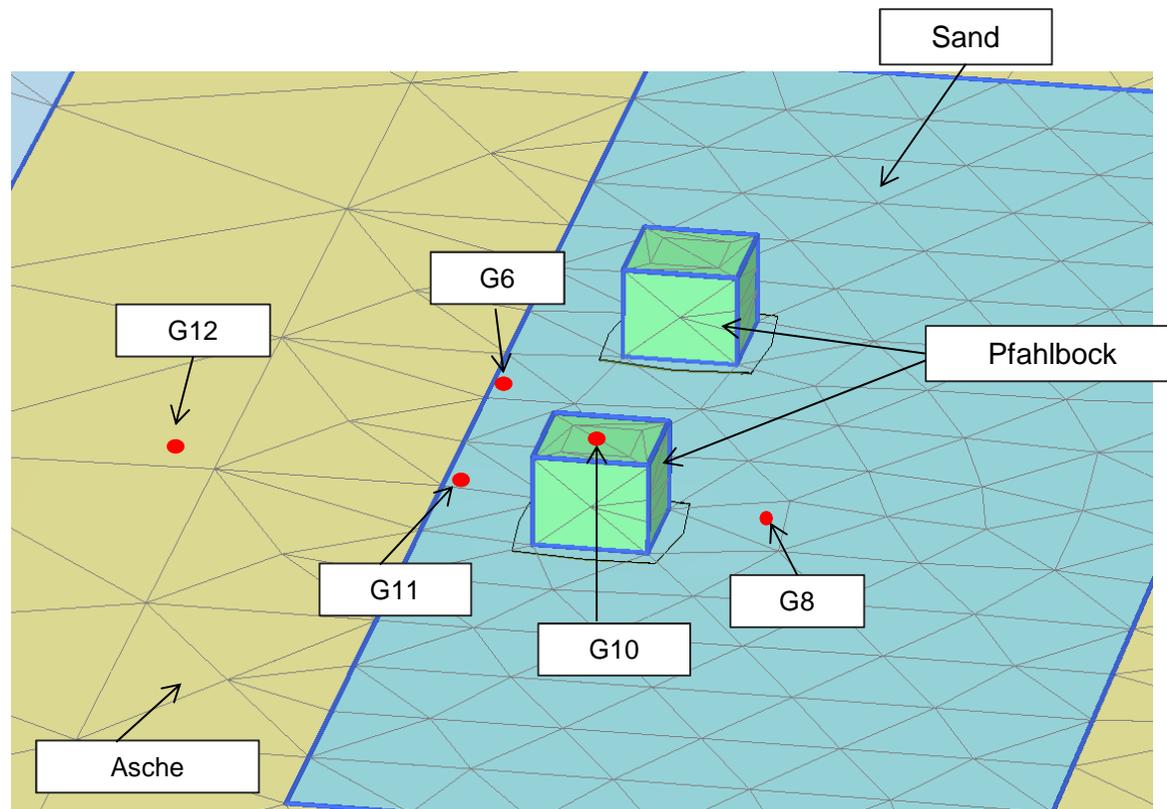
3D-FE-Analysen der Feldversuche



Model 3D	Number of elements	Number of nodes	Average of element size in m	Maximum length in m for 5 Hz
Simplified	4646	8026	0.48	2.55
Complete	5522	9097	1.71	

[Meybodi, 2014]

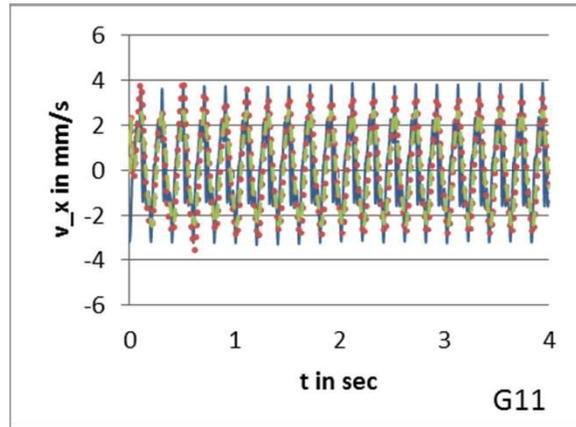
3D-FE-Analysen der Feldversuche



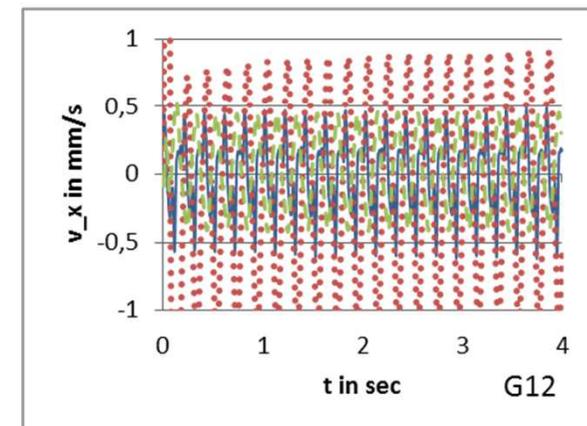
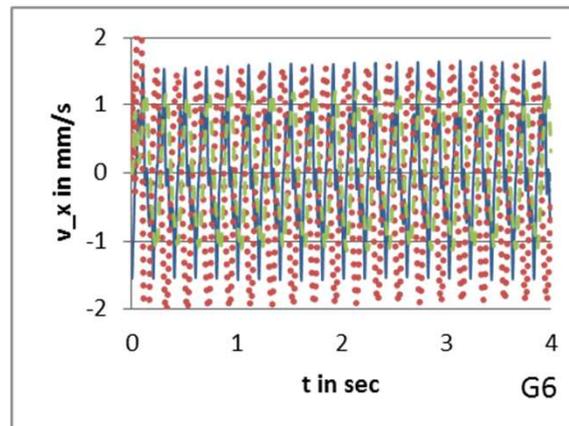
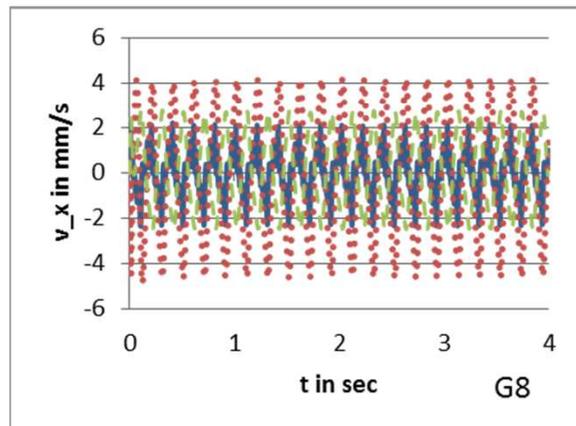
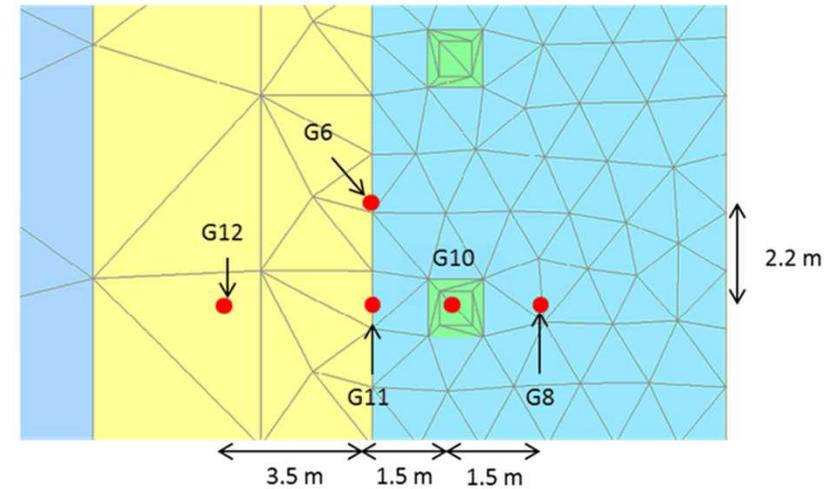
[Meybodi, 2014]

3D-FE-Analysen der Feldversuche – Ergebnisse

- Lauf 9 ($V_{max}^{G10} = 20 \frac{mm}{s}$, $f = 5\text{Hz}$)



— Measured
 Simplified model
 - - - Complete model



[Meybodi, 2014]

3D-FE-Analysen der Feldversuche – Ausblick

- Anwendung des validierten 3D-FE-Modells auf gesättigte Verhältnisse → erste Berechnungen bereits erfolgt
- Entwicklung geeigneter Pfahlbocksysteme für standardisierte Gebäudetypen → noch keine geeigneten Kandidaten für die weitere Bearbeitung in Sicht

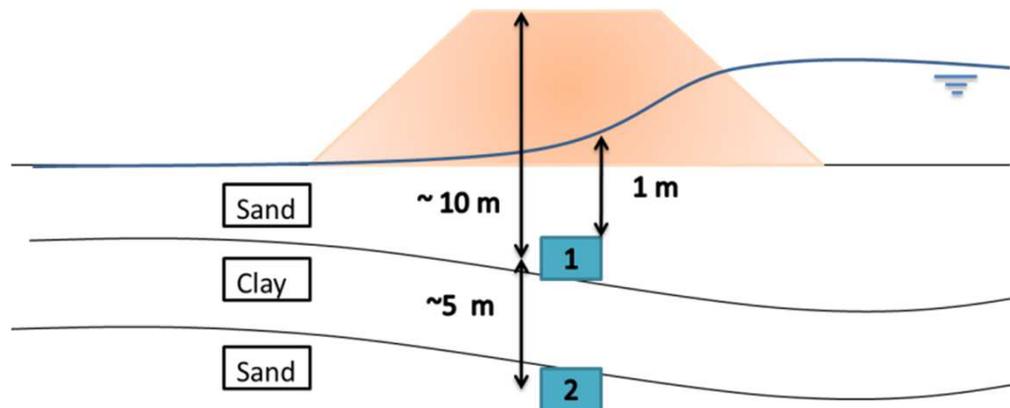
Inhaltsübersicht

- Hypoplastizität – Entmystifizierung
- Entwicklung eines Mikropfahl-Tiefgründungssystems
- **Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“**
- Weitere Projekte

Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

Situation in Groningen, Niederlande:

- Menschgemachte seismische Ereignisse (Erdbeben) infolge langjähriger Erdgasförderung
 - Primärdeiche auf teilweise locker gelagerten Sanden erbaut
- Verflüssigung dieser lockeren Sande muss mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden



Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

Praxis üblich soll mit etablierten empirischen Verfahren gearbeitet werden

→ Nachweis ausreichender Sicherheit gegen Verflüssigung gemäß EERI-MNO12 (Idriss & Boulanger, 2008):

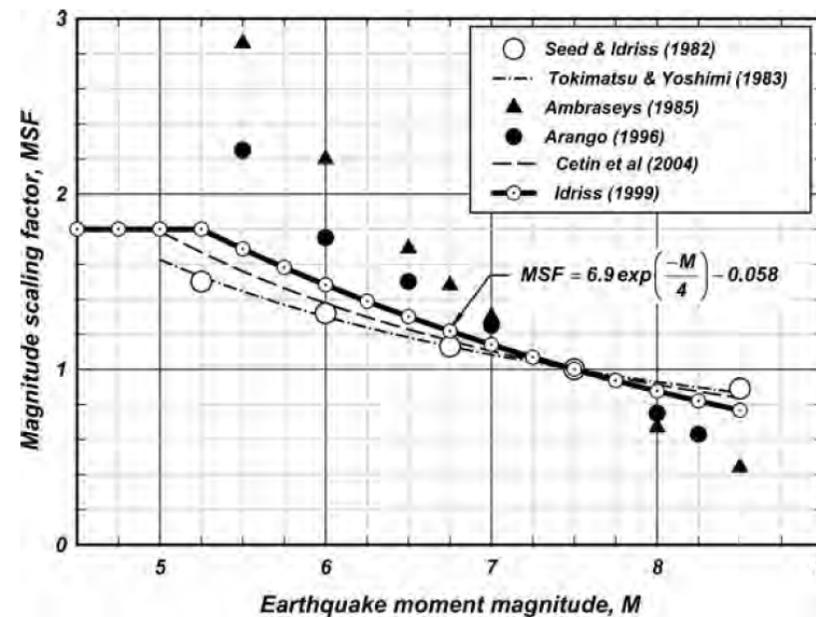
$$FS_{liq} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{\text{"zyklisches Widerstandsverhältnis"}}{\text{"zyklisches Scherspannungsverhältnis"}}$$

$$CSR = \frac{t_{cyc}}{\sigma'_{vc}}$$

Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

Beziehung für MSF nur für echte Erdbeben mit einer $M > 5$

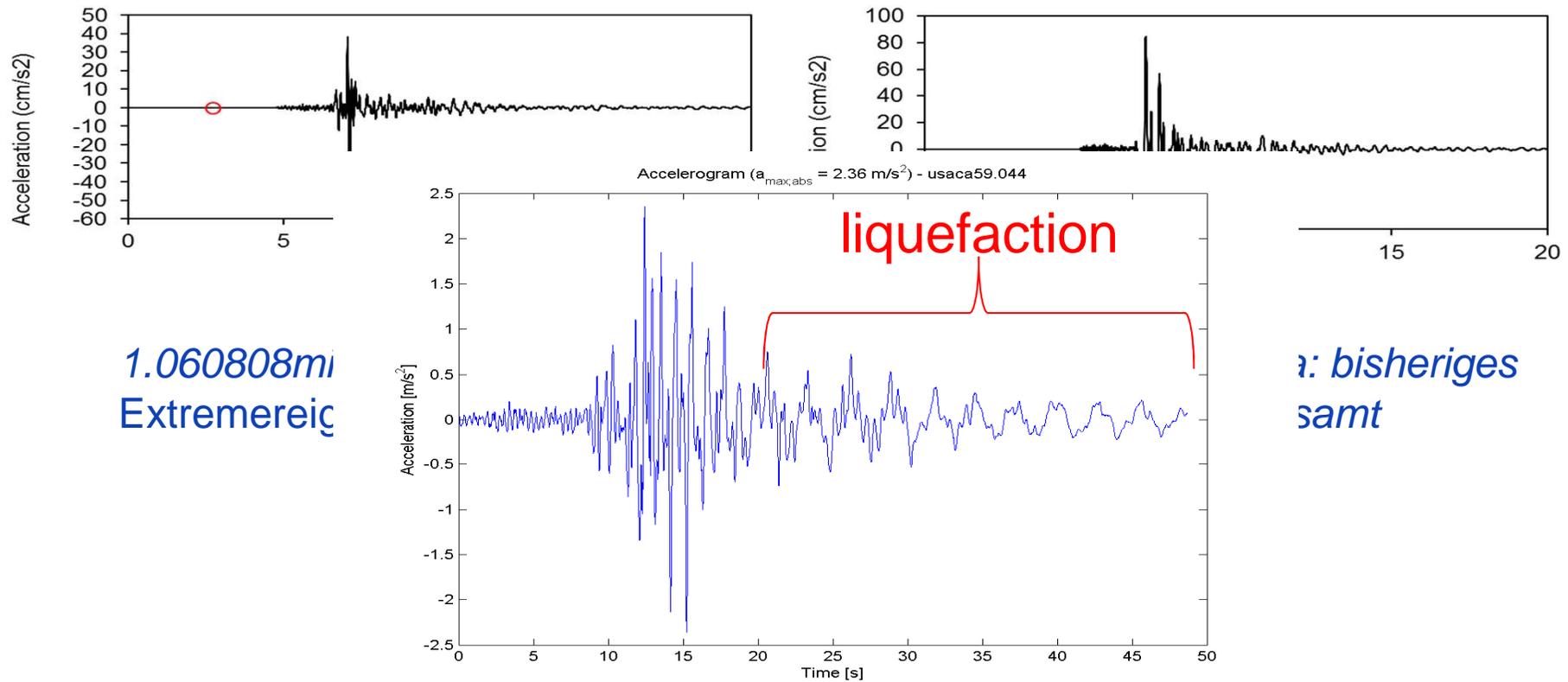
$$CSR_{M=7,5, \sigma'_{vc}=0} = 0,65 \cdot \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF} \cdot \frac{1}{K_\sigma}$$



[EERI-MNO12]

Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

Beziehung für MSF nur für echte Erdbeben mit einer $M > 5,9$, **ABER**



Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

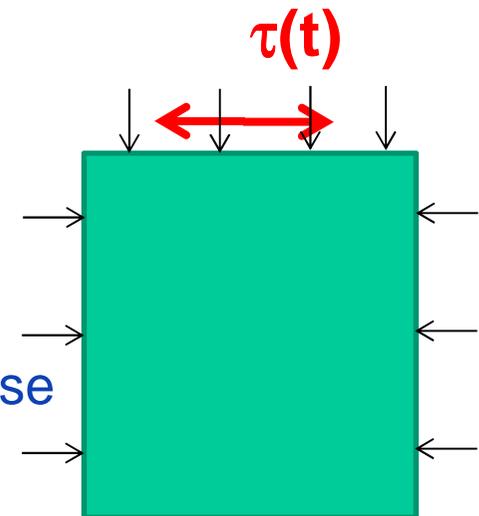
Idee:

Numerische dynamische Elementversuche mit Materialparametern kalibriert auf der Grundlage vorhandener Laborversuche und

- Erdbebensignal (M = 7,5, N = 15 Zyklen, hier Loma Prieta, 1989)
- Groningen mid1- und mid3-Signal

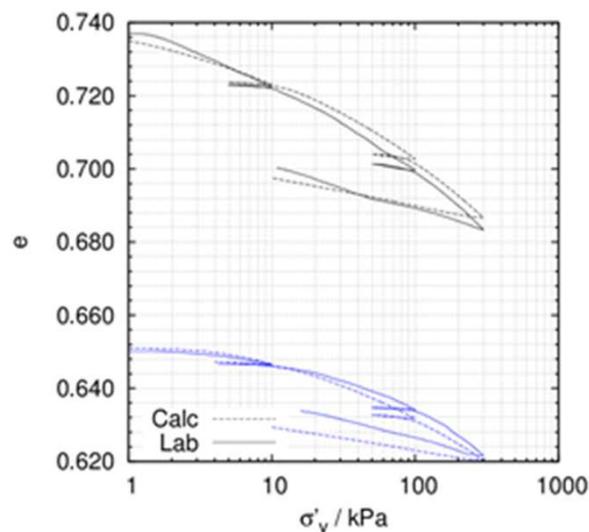
Skalierung der Signale so dass zum annähernd gleichen Zeitpunkt (10 s) rechnerisch Verflüssigung auftritt.

→ Anpassung des **MSF** für lokale Böden und Ereignisse

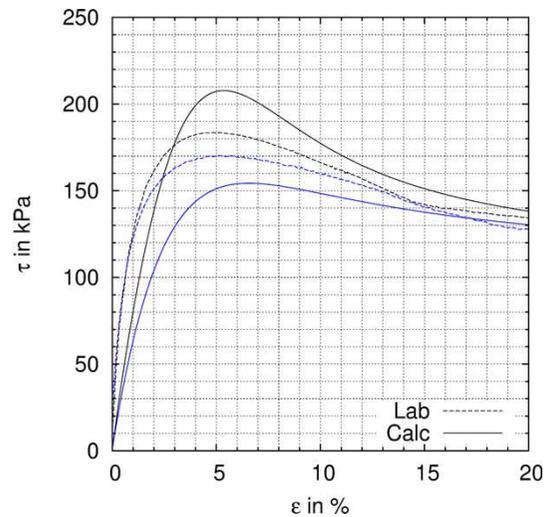


Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

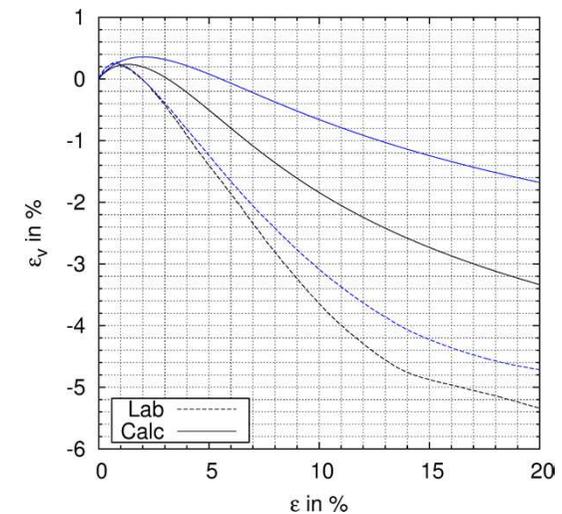
Kalibrierung Hypoplastizität mit intergranularer Dehnung



Ödometerversuche mit Ent-/Wiederbelastung für lockere und dichte Anfangslagerung



CID-Triaxialversuche für lockere und dichte Anfangslagerung und verschiedene Konsolidierungsspannungen

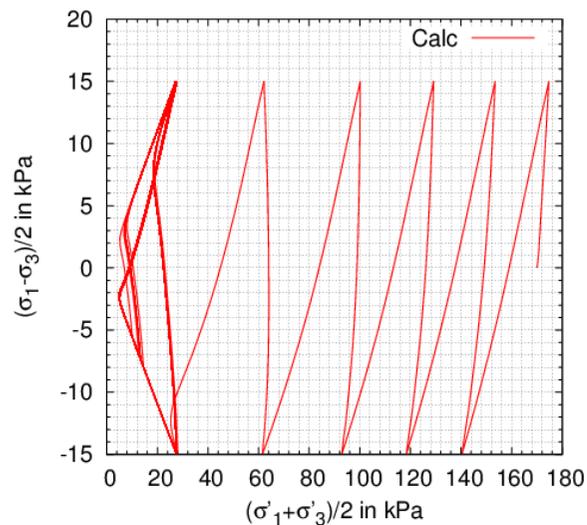


*Feinanteil
FC = 5%*

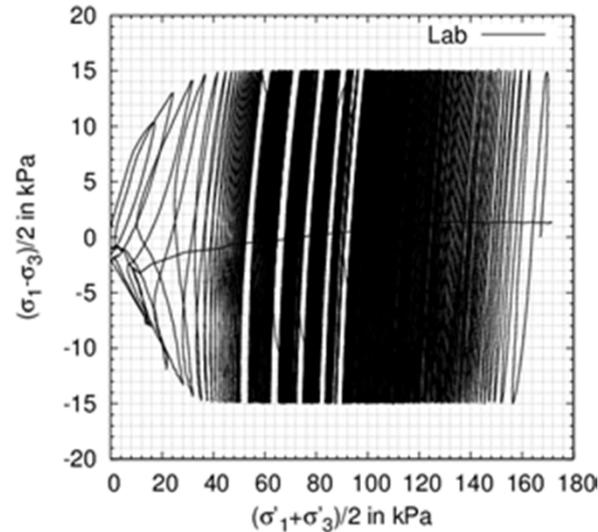
Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

Kalibrierung Hypoplastizität mit intergranularer Dehnung

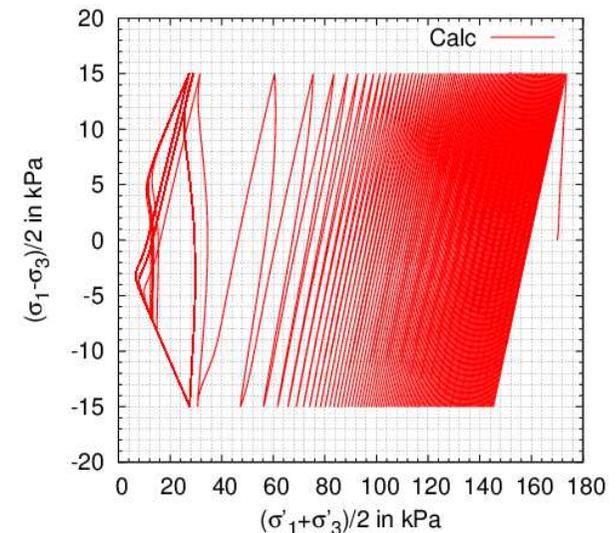
(Boring 160, Sample 10AB-LD, depth -4.88 till -5.28m NAP), $e_0=0.781$, no. of cycles to liquef.: $n(\text{test})=410$, $n(\text{Calc})=410$)



Konventionelle Kalibrierung

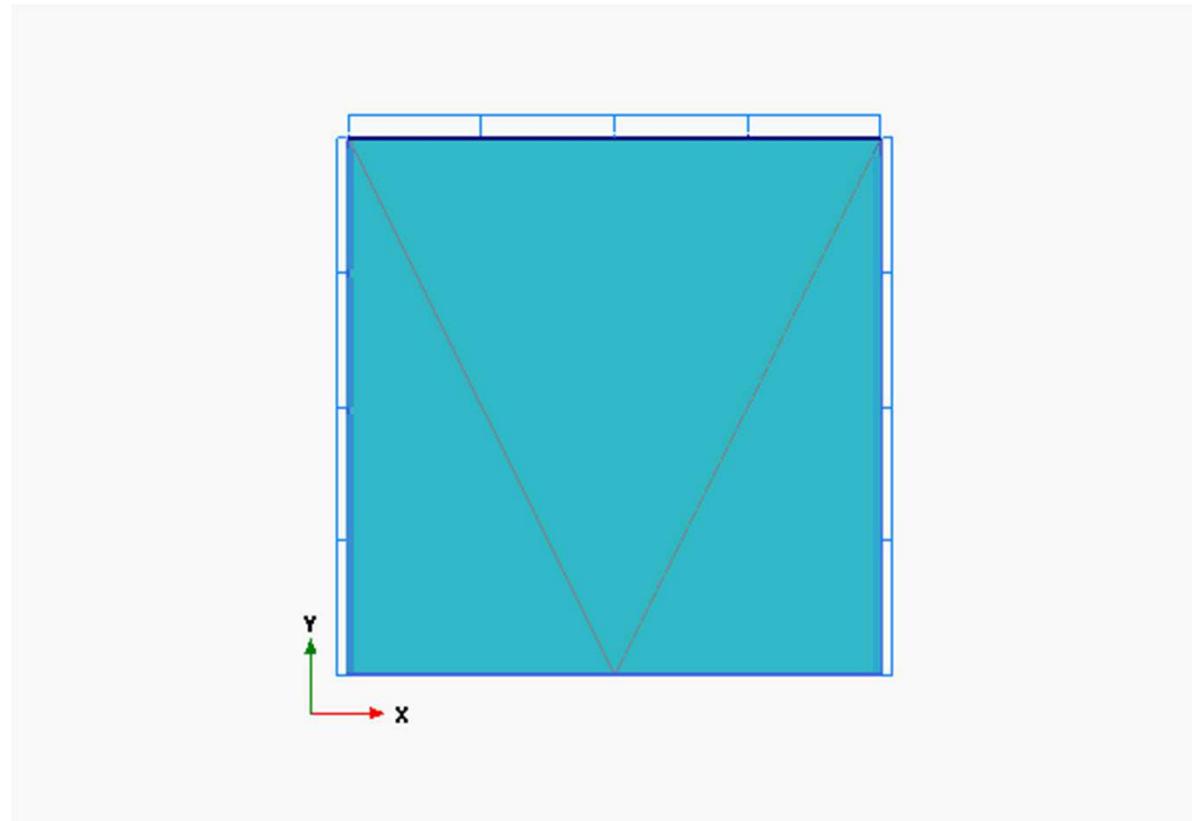


Feinanteil
FC = 5%



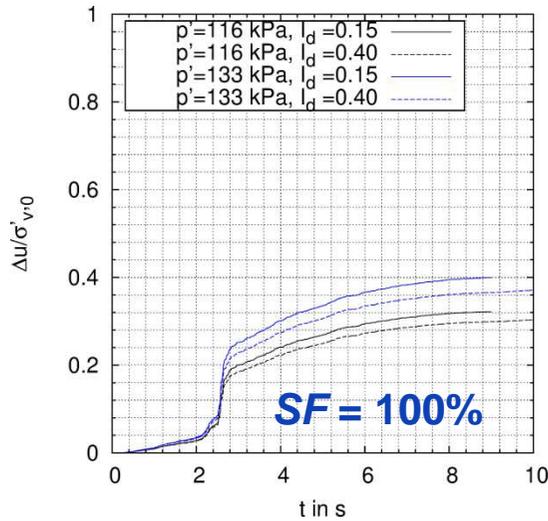
Optimierte Kalibrierung auf
Grundlage undrainerter
zyklischer Triaxialversuche

Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

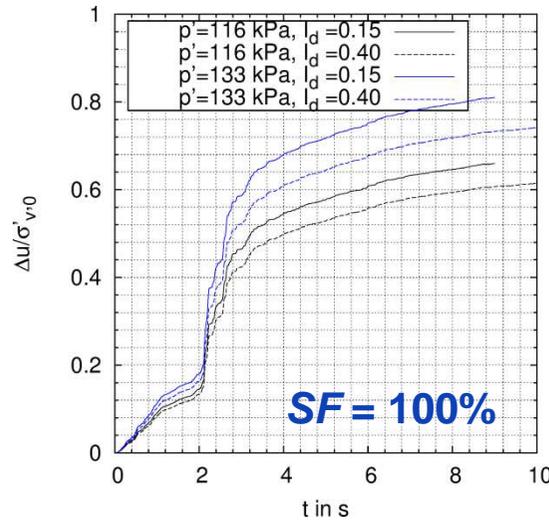


Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

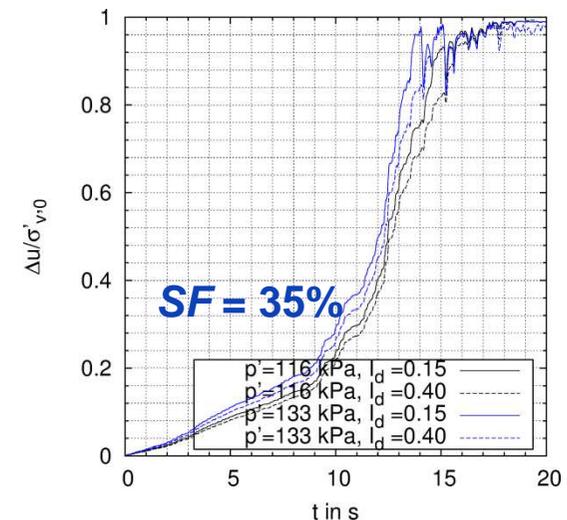
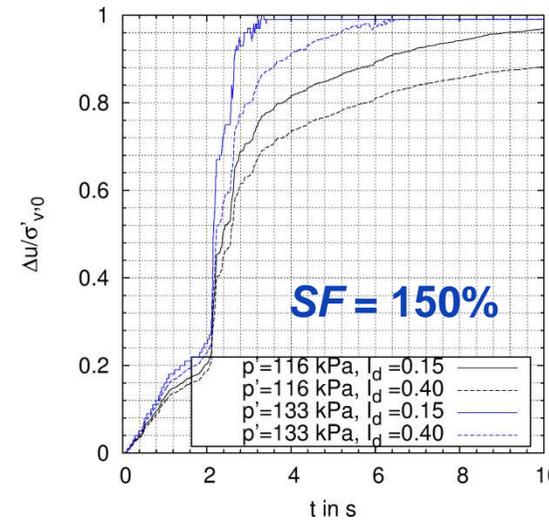
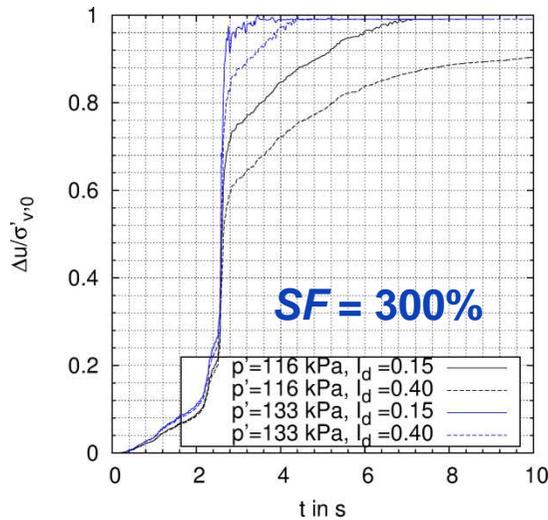
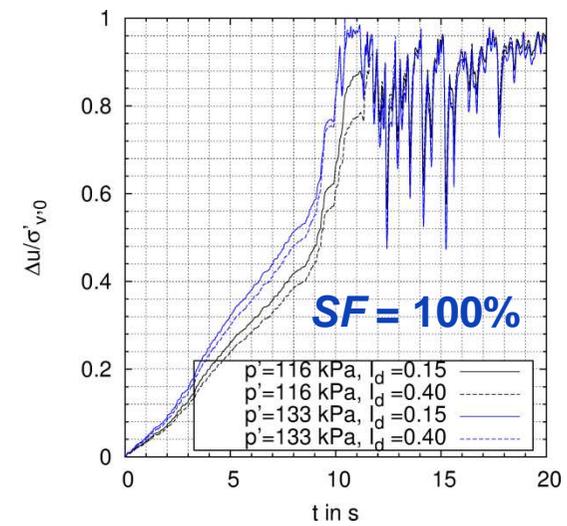
Groningen mid3 signal



Groningen mid1 signal

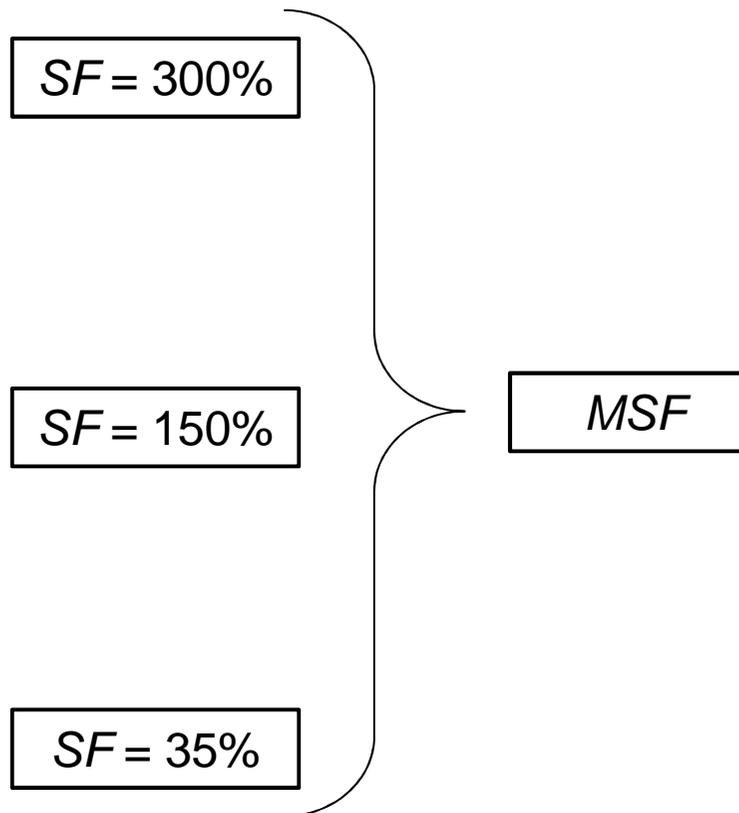


tectonic signal



Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“

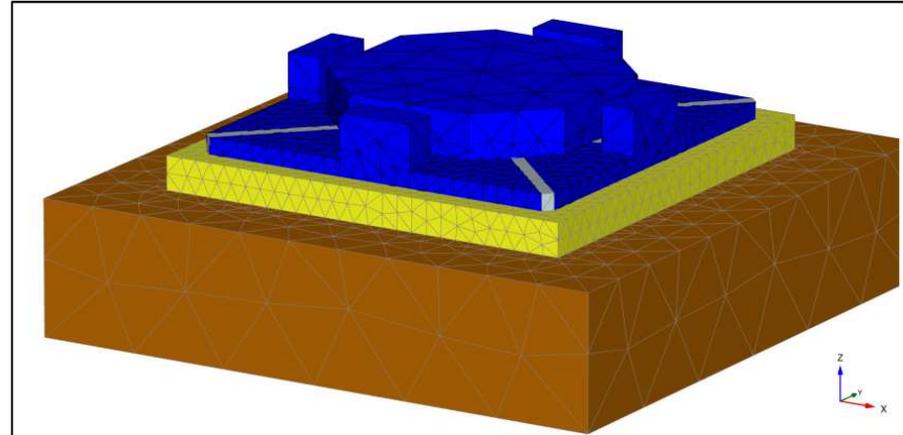
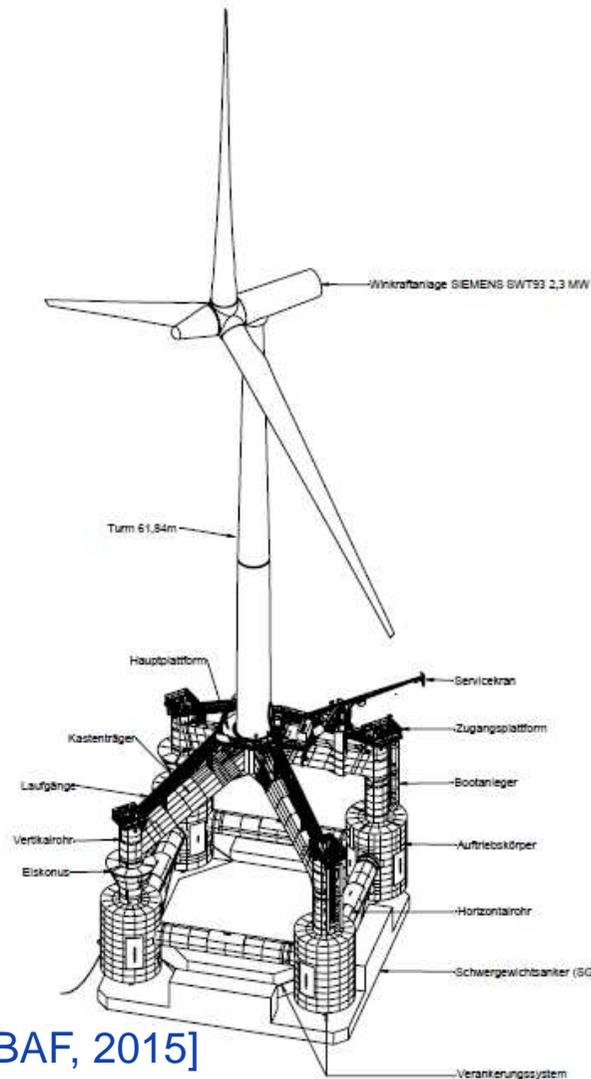
Groningen mid3 signal	$\Delta u / \sigma'_{v,0}$
100%	0.3...0.4
250%	0.66...0.99
300%	0.9...1
Groningen mid1 signal	$\Delta u / \sigma'_{v,0}$
100%	0,6.....0,8
125%	0.75....1.0
150%	0.88....1.0
tectonic signal	$\Delta u / \sigma'_{v,0}$
100%	1
15%	0.49....0.65
25%	0.79....0.99
35%	1



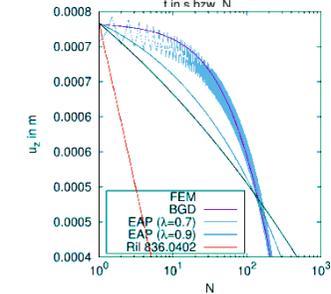
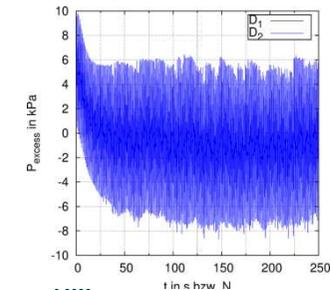
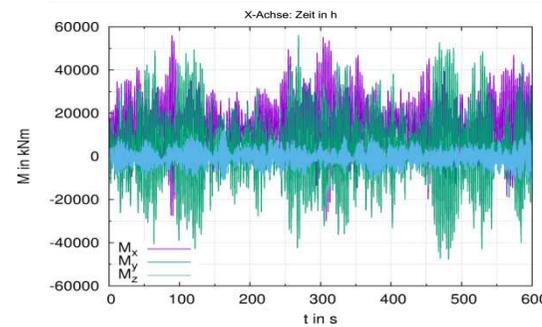
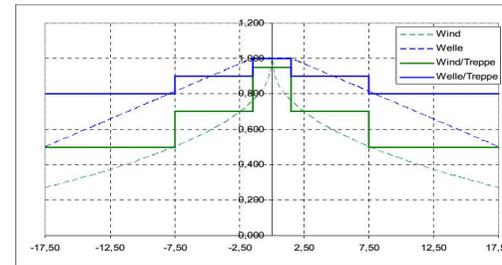
Inhaltsübersicht

- Hypoplastizität – Entmystifizierung
- Entwicklung eines Mikropfahl-Tiefgründungssystems
- Numerische Bestimmung eines „Magnitude Scaling Factors“
- Weitere Projekte

GICON®'s Schwimmendes Offshore Fundament (SOF®)



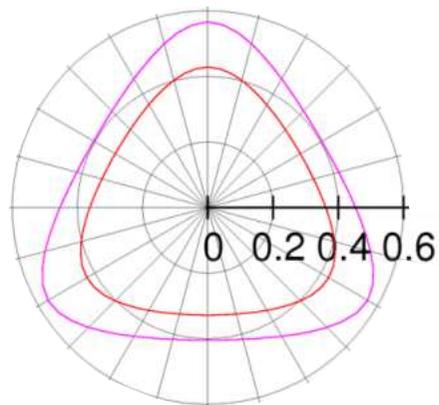
Y-Achse: Normierte Wellenhöhe bzw. Windgeschwindigkeit



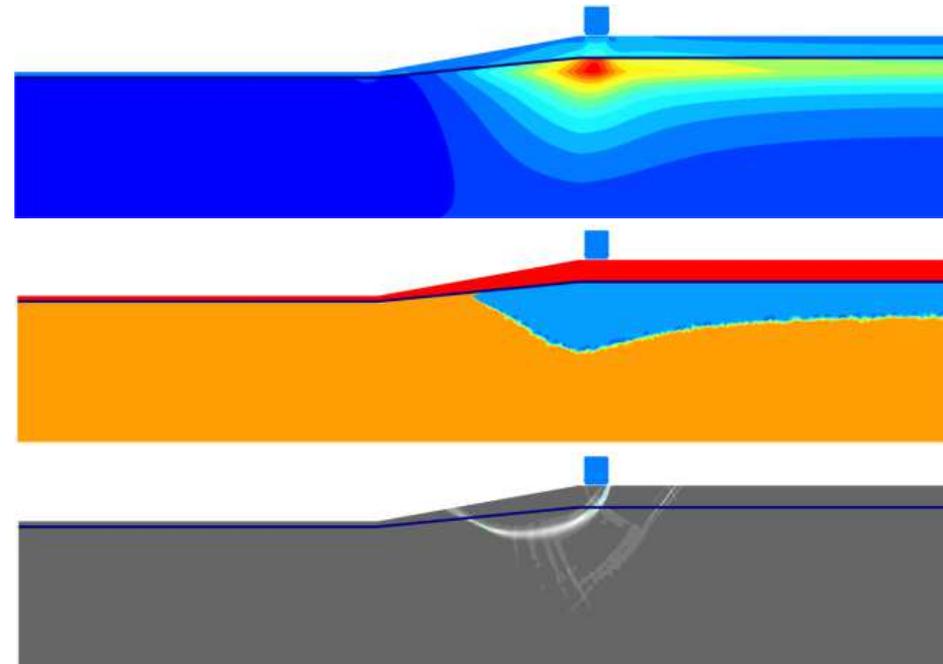
[TUBAF, 2015]

25 JAHRE BAUGRUND DRESDEN, 03. MÄRZ 2016

Prüfung und Optimierung eines Stabilitätsnachweises für Innenkippen (LMBV)

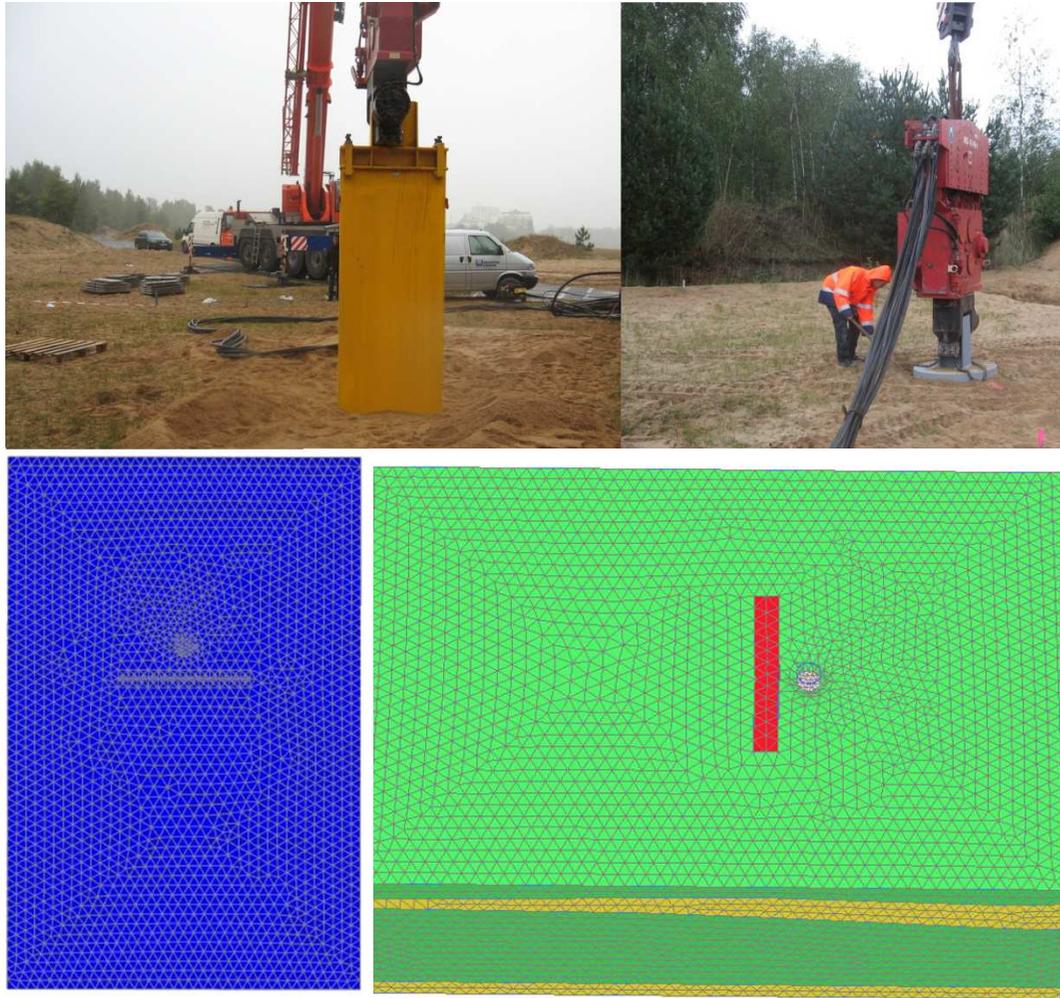


$\varphi_c = 30^\circ$
$f_d = 1,1$ ($I_D = 1,20$)
Stab.krit. ————
Grenz.krit. ————

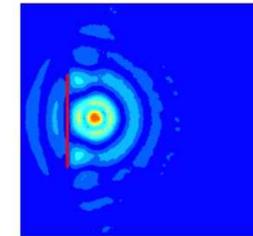


$$\begin{aligned}
 W_2(\mathbf{T}_s) = & f_d^2 \bar{N}_3^2 \{ 16 \bar{L}_{11}^4 - 32 \bar{L}_{11}^3 \bar{L}_{33} + f_d^4 (3 \bar{N}_1^4 + 3 \bar{N}_1^2 \bar{N}_3^2 + \bar{N}_3^4) \\
 & + 2 \bar{L}_{11} \bar{L}_{33} [4 \bar{L}_{33}^2 + f_d^2 (19 \bar{N}_1^2 - 4 \bar{N}_3^2)] - \bar{L}_{33}^2 f_d^2 (20 \bar{N}_1^2 + \bar{N}_3^2) \\
 & + 4 \bar{L}_{11}^2 [2 \bar{L}_{33}^2 + f_d^2 (2 \bar{N}_3^2 - 5 \bar{N}_1^2)] \} \\
 & - [\bar{L}_{11}^2 - f_d^2 \bar{N}_1^2] [4 \bar{L}_{33} (\bar{L}_{33} - \bar{L}_{11}) + f_d^2 \bar{N}_1^2]^2 = 0
 \end{aligned}$$

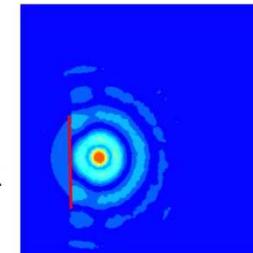
Abschirmungselemente gegen Bodenerschütterungen (Keller, Institut für Geotechnik, TUD)



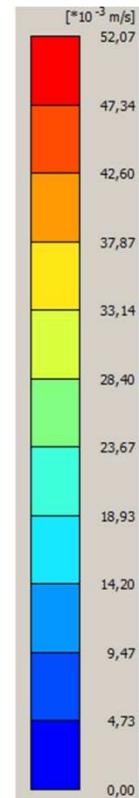
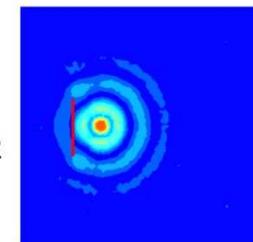
Feld 1
Beton



Feld 2
Polymer 1



Feld 3
Polymer 2



[Walther, 2014]

Vielen Dank für Ihre geschätzte Aufmerksamkeit!

meier@baugrund-dresden.de