

**FACHVERANSTALTUNG BAUGRUND-BAUWERK-INTERAKTION:
OPTIMIERUNG DER FOUNDATION UND
BEMESSUNG NACH DEM STAND DER TECHNIK**

Die elektrische Drucksondierung (CPTu) zur Minimierung von Projektkosten und –risiken

Hendrik Tuentler
Dipl. Bauing. TU Delft (NL)
Geoprofile GmbH, Luzern

Geoprofile GmbH
Brüggligasse 19,
6004 Luzern
t 041 240 36 12
f 041 240 36 18
www.geoprofile.ch

Über mich

- ▶ *Bauingenieur TU Delft (NL)*
- ▶ *Bis 2002: Fugro Engineers BV, Den Haag (NL)*
 - ▶ *Geotechnik für Ölplattformen und Hafenanlagen*
- ▶ *Bis 2008: Geotechnisches Institut AG, Solothurn*
- ▶ *Seitdem:*
 - ▶ *Geoprofile GmbH, Luzern*
 - ▶ *Lehrperson SBA, Aarau*

▶ *Gliederung*

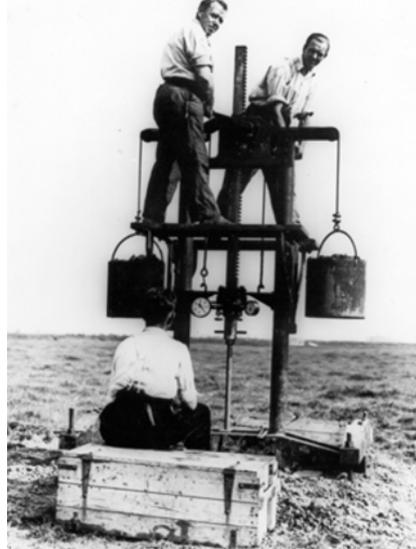
- ▶ *Übersicht der elektrischen Drucksondierung*
- ▶ *Chancen*
 - ▶ *Baugrundmodell*
 - ▶ *Pfahlgründung*

▶ *Einsatzbereich der elektrischen Drucksondierung*

- ▶ *Setzungen*
 - ▶ *Schichtaufbau*
 - ▶ *Deformationseigenschaften der einzelnen Schichten*
 - ▶ *Konsolidation*
- ▶ *Tragfähigkeit*
 - ▶ *Schichtaufbau*
 - ▶ *Schereigenschaften*
- ▶ *Pfahlgründungen / KPP*
 - ▶ *Schichtaufbau*
 - ▶ *Spitzenwiderstand / Mantelreibung*
- ▶ **„schlechter“ Baugrund!**

► *Neu und unbekannt...?*

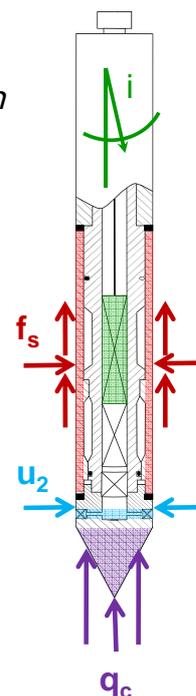
- ▶ *Seit über 50 Jahren weltweit im Einsatz*
 - ▶ *grosse Erfahrung mit verschiedensten Baugrundarten*
- ▶ *International genormt*
 - ▶ *ISO EN 22476-1:2005 (Europa)*
 - ▶ *BS 1377-7:1990 (U.K.)*
 - ▶ *ASTM D5778 (U.S.A)*



www.geoprofile.ch

► *Elektrische Drucksondierung*

- ▶ *Eindrücken einer zylindrischen und mit internen Sensoren ausgestatteten Messsonde*
- ▶ *Messparameter:*
 - ▶ *Spitzenwiderstand* q_c
 - ▶ *Lokale Mantelreibung* f_s
 - ▶ *Porenwasserspannung* u_2
 - ▶ *Sondenneigung* i_x, i_y
- ▶ *Datenspeicherung auf einem PC*

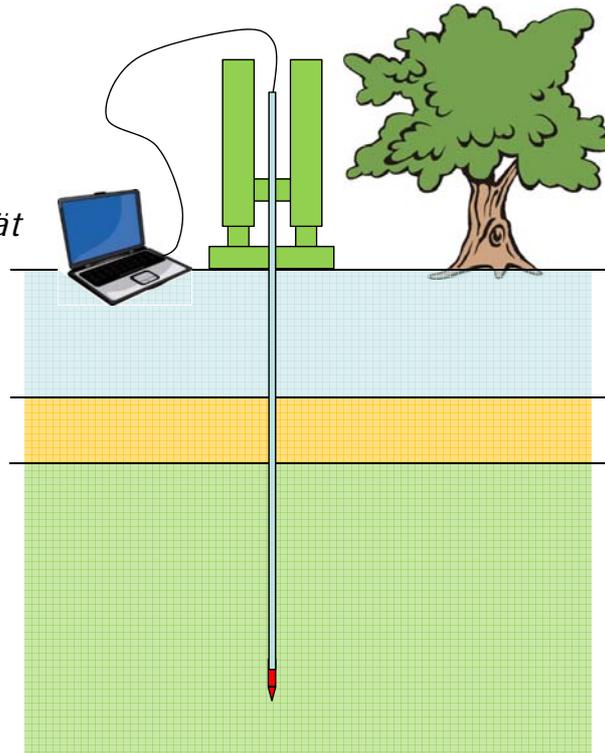


www.geoprofile.ch

▶ *Drucksondierung*

- ▶ *Komponenten*
 - ▶ *Hydraulisches Schubgerät*
 - ▶ *Sondiergestänge*
 - ▶ *Messsonde*
 - ▶ *Messcomputer*

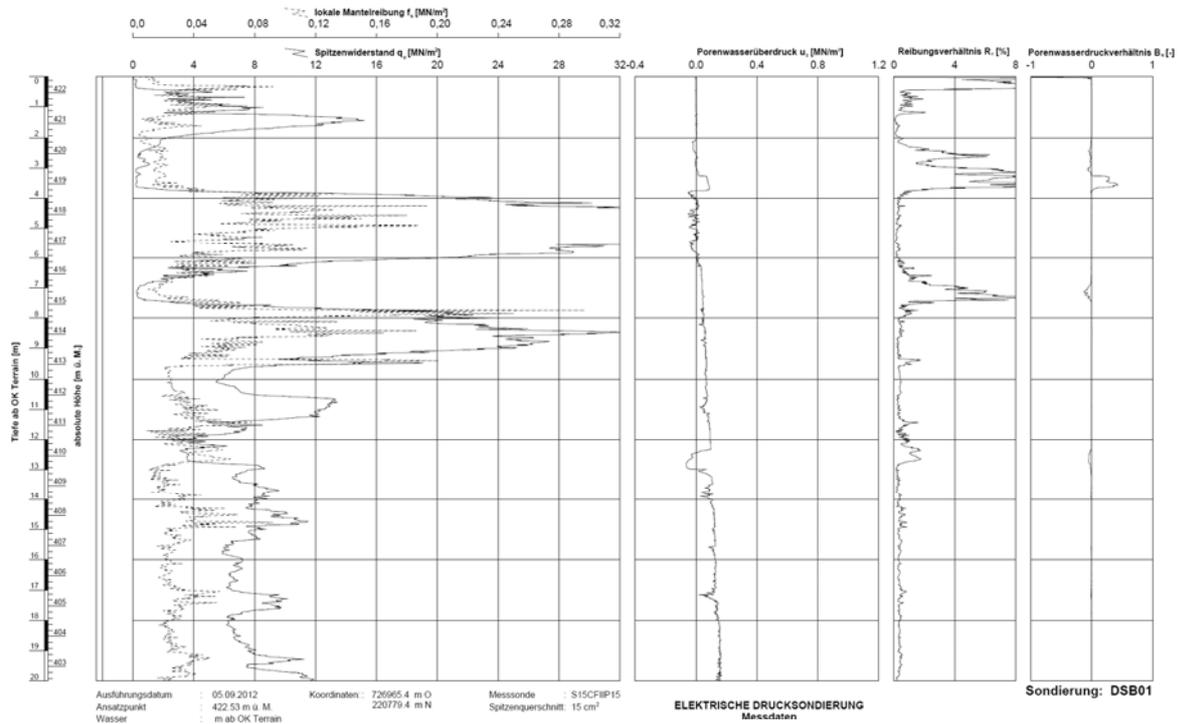
- ▶ *Reaktionskraft*
 - ▶ *Ballastieren*
 - ▶ *(LKW, Bagger)*
 - ▶ *verankern*
 - ▶ *(Baugrund, Beton)*
 - ▶ *bis 200 kN*



▶ *Ausführungsvarianten*



Messdaten



Optimierungschancen

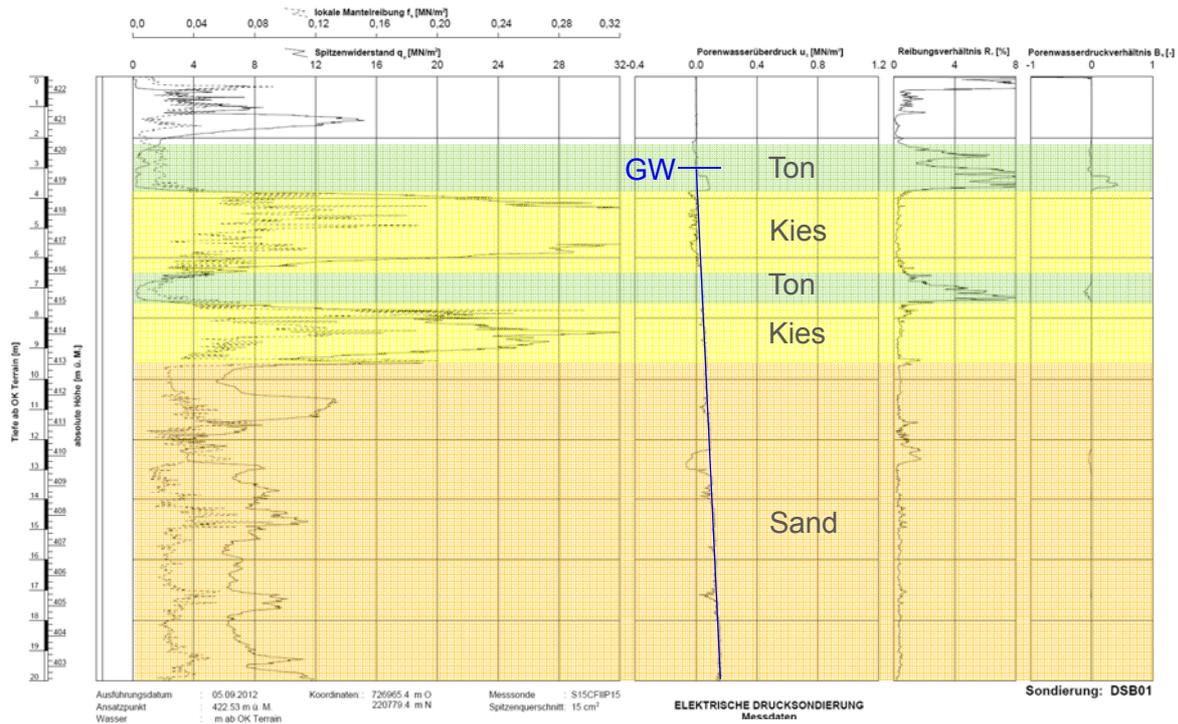
Ergebnis der elektrischen Drucksondierungen:

- ▶ *Besseres Verständnis des Untergrundes:*
 - ▶ *Schichtaufbau*
 - ▶ *hohe vertikale Auflösung (1cm)*
 - ▶ *Baugrundkennwerte*
 - ▶ *kontinuierlich und keine Störung der Proben*
 - ▶ *Messung des Spitztenwiderstands / Mantelreibung*
 (CPTU als instrumentierter Minipfahl)

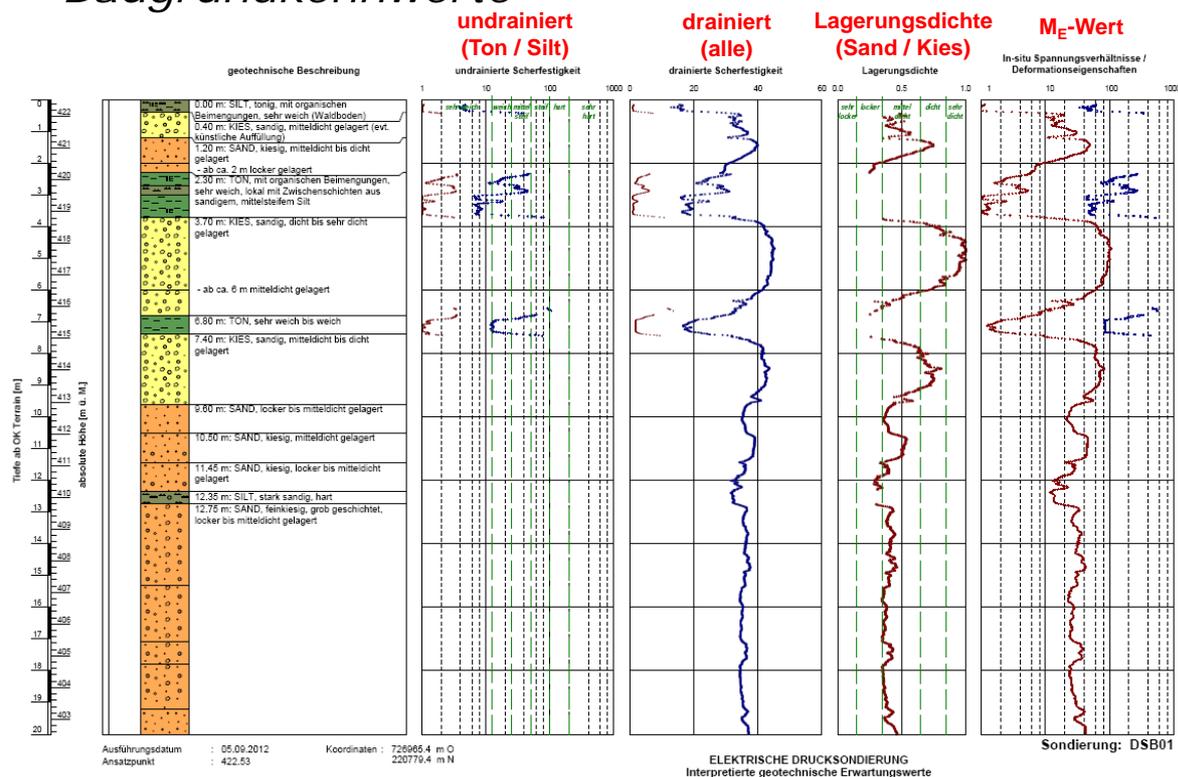
Führt zu:

- ▶ *Optimierung des Pfahlsystems*
 - ▶ *muss wirklich gepfählt werden? KPP? Pfahlsystem?*
- ▶ *Optimierung der Pfahlbemessung*
 - ▶ *Messung des Spitztenwiderstands*
- ▶ *Bessere Ausnutzung des Tragwiderstands ($\eta_a \approx 0.9$)*

Besseres Verständnis des Untergrundes



Baugrundkennwerte



▶ *Optimierungschancen*

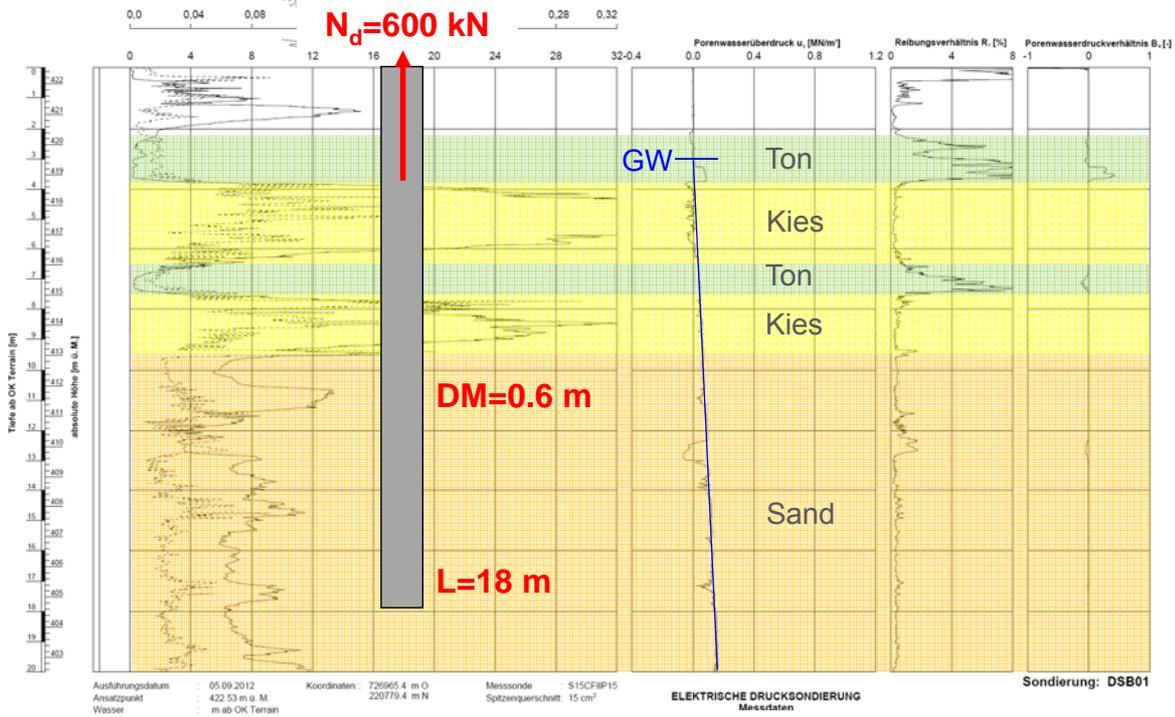
- ▶ *Besseres Verständnis des Untergrundes*
- ▶ ***Optimierung des Pfahlsystems***
- ▶ *Optimierung der Pfahlbemessung*
- ▶ *Bessere Ausnutzung des Tragwiderstands*

▶ *Optimierung des Pfahlsystems*

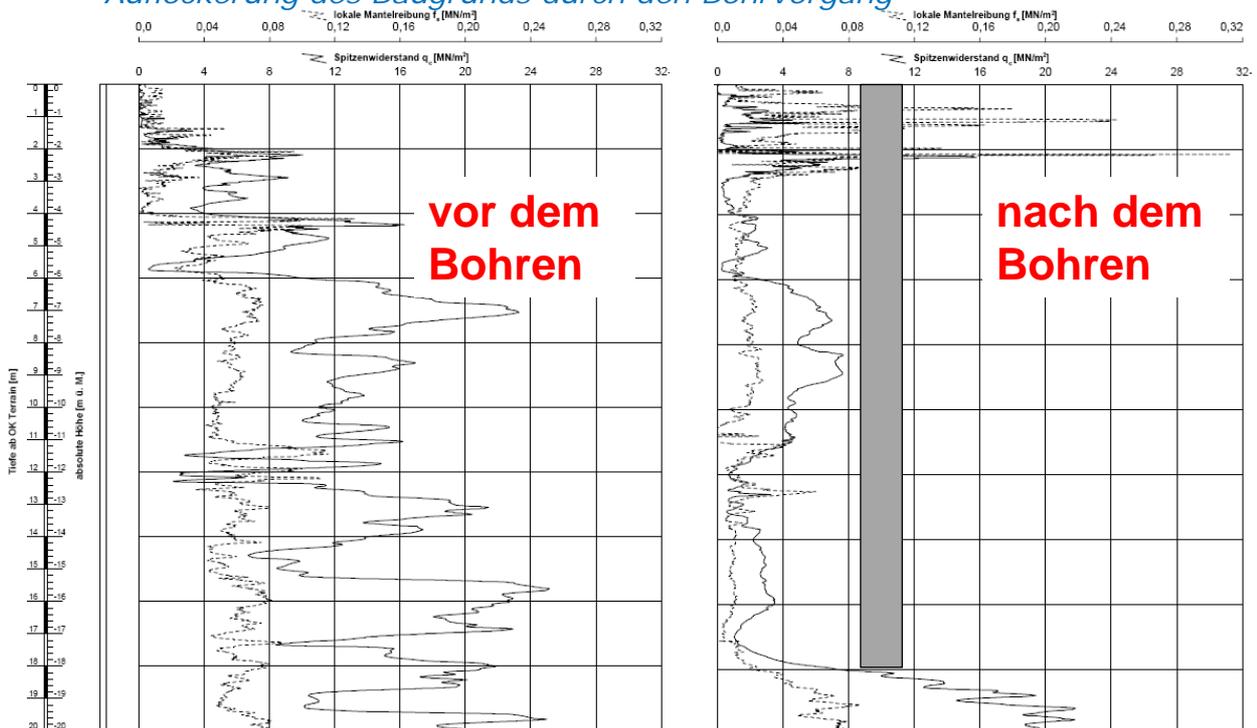
- ▶ *Bauweise: bodenverdrängend vs. bohren*
 - ▶ *Bodenverdrängend: höherer Spitzenwiderstand / höhere Mantelreibung pro Flächeneinheit*
- ▶ *Ausführungsrisiken*
 - ▶ *Rammhindernisse vorhanden?*
 - ▶ *Einbindungstiefe in der Tragschicht gewährleistet?*
 - ▶ *Gefahr von hydraulischem Grundbruch?*
- ▶ *Gerätetechnisch*
 - ▶ *Erforderliches Planum (Kosten!)*
 - ▶ *Maximale Pfahllänge? (evt. entfällt Pfahlbankett)*
- ▶ *Ausführung ab OK Terrain oder ab Aushubsohle?*
 - ▶ *evt. Leerbohrung, dafür Einsparung beim Planum*
 - ▶ *Abhängigkeiten mit Aushub, Baumeisterarbeiten?*

Ein unangemessenes Pfahlsystem ist teuer!

Das richtige Pfahlsystem?
Bohrpfahl zur Aufnahme von Zugkräften



Das richtige Pfahlsystem?
Auflockerung des Baugrunds durch den Bohrvorgang



▶ *Optimierungschancen*

- ▶ *Besseres Verständnis des Untergrundes*
- ▶ *Optimierung des Pfahlsystems*
- ▶ ***Optimierung der Pfahlbemessung***
- ▶ *Bessere Ausnutzung des Tragwiderstands*

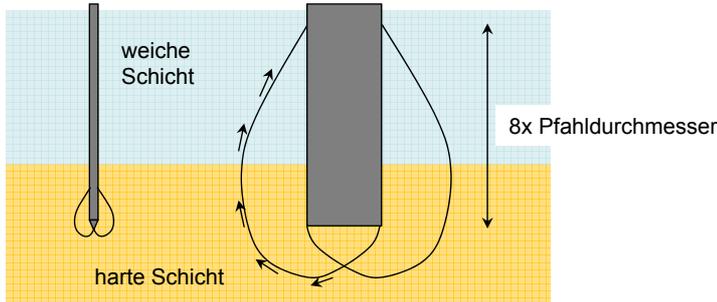
▶ *Optimierung der Pfahlbemessung*

- ▶ **Bemessung nach Lang-Huder-Amann**
 1. Reibungswinkel φ'_k , Raumgewicht γ_k wählen
 2. Spitzenwiderstand berechnen
 - ▶ *Annahmen bzgl. des Forms der Scherzone (Meyerhof? Terzaghi? Brinch-Hansen? Andere?)*
 - ▶ *unterschiedliche Werte für N_c , N_q , N_y*
 - ▶ *effektive vertikale Spannung berechnen*
 - ▶ *kombinierte Form- und Tiefenfaktor bestimmen*
 - ▶ *Nicht umsonst angegeben mit „X“*
 - ▶ *unabhängig von der Bauweise (bodenverdrängend vs. bohren)*
 3. Mantelreibung berechnen
 - ▶ *Stark abhängig von K*
 - ▶ *Bei Bohrpfählen geringer als bei Verdrängungspfählen*
 - ▶ *Erreicht maximal K_0 ? => max. ca. 0.5 für Sande*
 - ▶ *Undrainierte Scherfestigkeit s_u ?*
 4. Sicherheitsphilosophie: Partialsicherheiten
Bodenkennwerte gegenüber SIA 267, Abschnitt 9.5.2

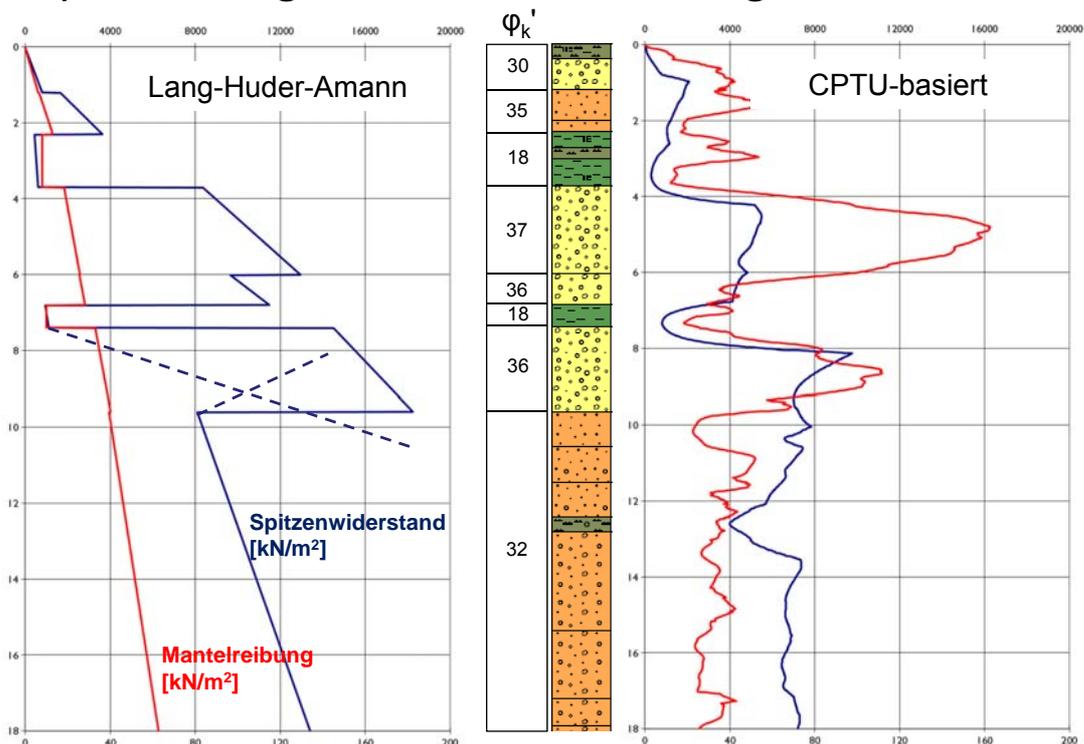
► *Optimierung der Pfahlbemessung*

► **Bemessung aufgrund CPTU**

1. *Spitzenwiderstand kontinuierlich gemessen!*
 - *Bei geschichtetem Baugrund: Scherzone aufskalieren*
2. *Mantelreibung bestimmen*
 - *Korrektur für Pfahlmaterial (Reibungshülse der Messsonde aus Stahl)*
 - *Korrektur undrainiert → drainiert für feinkörnigen Schichten*
3. *Einfluss der Bauweise berücksichtigen*
 - *Bodenverdrängend / gebohrt, evt. Fussverbreiterung*



► *Optimierung der Pfahlbemessung*

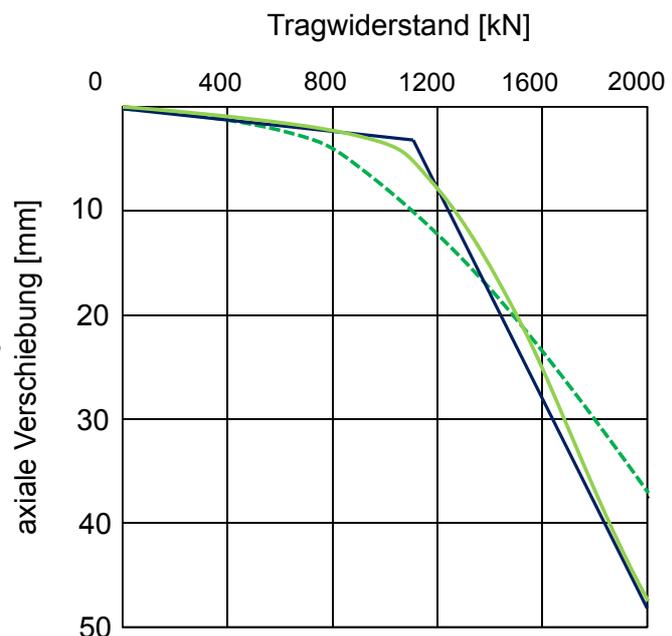


► *Setzungsverhalten*

- ▶ *Mantelreibung und Fusswiderstand müssen bekannt sein*
- ▶ *Mantelreibung mobilisiert bei kleinen Verschiebungen*
 - ▶ *2-5 mm*
- ▶ *Max. Pfahlfusswiderstand braucht grosse Verschiebungen*
 - ▶ *ca. 10% vom Pfahldurchmesser oder mehr*
- ▶ *Mobilisierung der Widerstände nicht-linear*
- ▶ *Gruppeneffekte: erweiterte Analyse*
- ▶ *Negative Mantelreibung: erweiterte Analyse*

► *Setzungsverhalten*

- ▶ *Pfahldurchmesser 0.4 m*
- ▶ *LHA: Mantel 921 kN*
 - ▶ *mobilisiert bei 4 mm*
- ▶ *LHA: Spitze 1685 kN*
 - ▶ *mobilisiert bei 40 mm*
- ▶ *CPTU: Mantel 1132 kN*
- ▶ *CPTU: Spitze 905 kN*

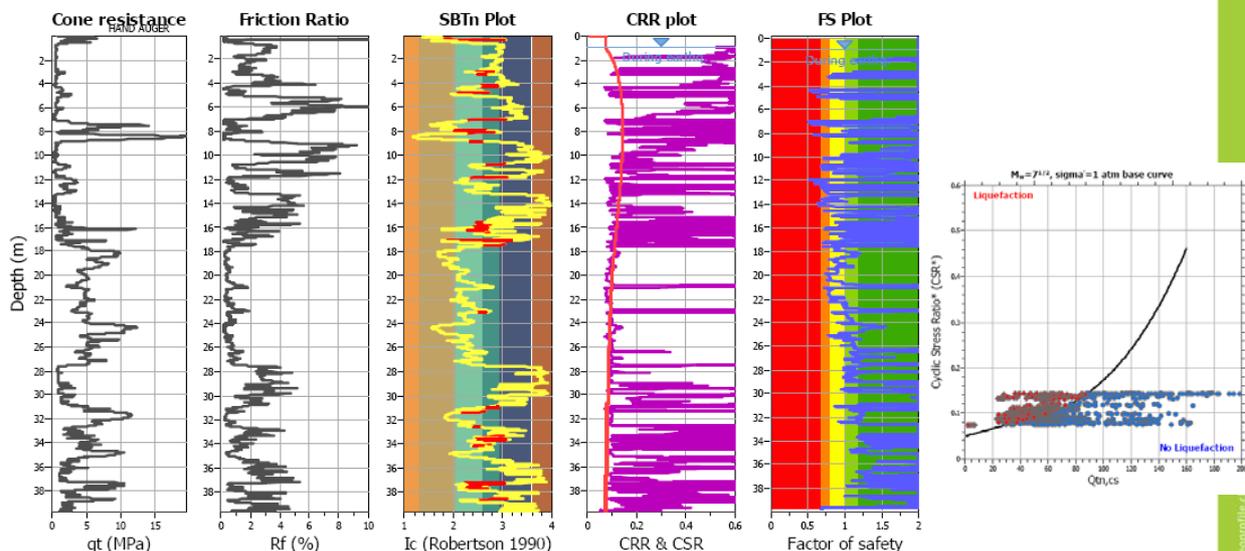


▶ Bohrpfähle

- ▶ *Einflüsse auf dem Tragwiderstand*
 - ▶ *Bohrmethode*
 - ▶ *Verwendung einer Stützflüssigkeit*
 - ▶ *gewählte Methode beim Betonieren*
 - ▶ *Wissen und die Erfahrung der Bohrequipe*
 - ▶ *Baugrundverhältnisse*
- ▶ *Abminderung des maximalen Pfahlfusswiderstands (0 – ca. 60%)*
- ▶ *Abminderung der maximalen Mantelreibung (0 - ca. 50%)*
 - ▶ *Stark abhängig vom Hersteller und der Herstellungsweise!*
- ▶ *Evt. statische Pfahlprüfungen zur Korrelation*

▶ Andere Anwendungen

- ▶ *Bodenverflüssigung während eines Erdbebens*



*Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit*

Geoprofile GmbH
Brüggligasse 19,
6004 Luzern
t 041 240 36 12
f 041 240 36 18
www.geoprofile.ch

