

Interpretation von Drucksondierungen in nichtbindigen Böden mittels Hypoplastizität

Dr.-Ing. Thomas Meier
BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft mbH

INNOVATIVE GEOTECHNIK, 15. SEPTEMBER 2011



Inhaltsübersicht

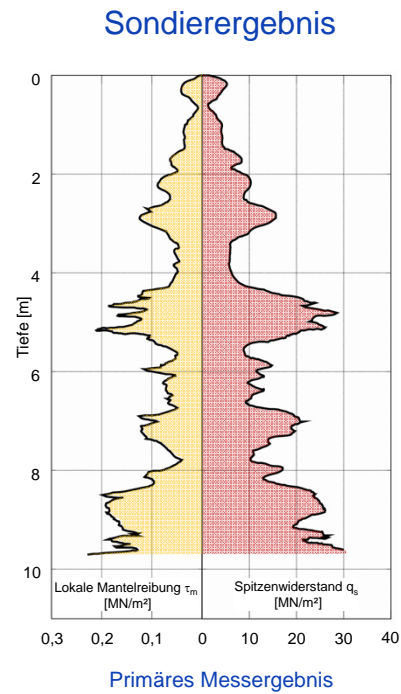
- Einführung
- Kalibrierungskammerversuche
- Interpretationsverfahren
- Zusammenfassung und Ausblick

Problemstellung

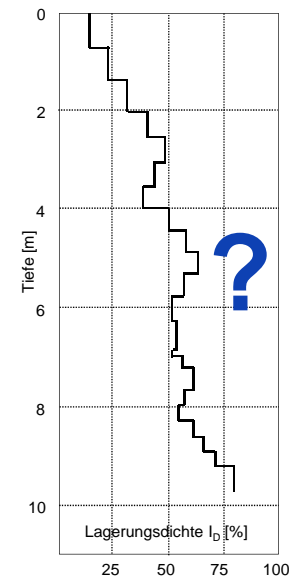


Quelle: FUGRO Consult

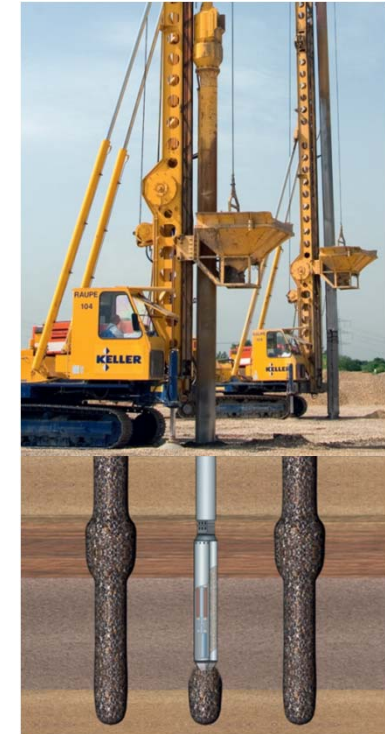
Drucksondierung (CPT)



Dichteverteilung



I_0 Geotechnischer Kennwert für Verfahren des Spezialtiefbau



Quelle: Keller Grundbau

Tiefenrüttelverfahren

Problemstellung

- Falsch angewendete Interpretationsverfahren können in der Praxis zur Forderung von nicht erreichbaren Sondierwiderständen nach Bodenverbesserungsmaßnahmen führen.
- Die Qualität von numerischen (z.B. FE- oder FD-) Analysen unter Anwendung moderner Stoffgesetze hängt vor allem von einer möglichst genauen Kenntnis der Dichteverteilung des Untergrunds ab. Praxisübliche Interpretationsverfahren für Drucksondierungen liefern dafür keine ausreichend genaue Ergebnisse!

Untersuchungsziel

- Quantifizierung der Unterschiede von Sondierwiderständen in Muschel- und Quarzsand sowie Mischungen aus beiden Materialien für verschiedene Bodenzustände (Spannung und Dichte)
- Untersuchung der Anwendbarkeit und Vergleich der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Interpretationsverfahren für die Auswertung von Drucksondierungen:
 1. DIN 4094
 2. SCHMERTMANN
 3. CUDMANI

Experimentelle Methoden

- Durchführung von CPT-Kalibrierungskammerversuchen lieferte zuverlässige Datenbasis für die weiteren Untersuchungen
- Untersuchung der mechanischen Eigenschaften eines Muschel- und eines Quarzsands sowie von Mischungen aus beiden Materialien (Laborversuche)
 - Korngrößenverteilung
 - Lockerste und dichteste Lagerung
 - Schüttkegelversuche zur Bestimmung von φ_c
 - Hochdruck-Ödometerversuche
 - Triaxialversuche

Theoretische Methoden

- Auswertung der CPT-Ergebnisse mittels der o.g. Interpretationsverfahren

Verfahren von CUDMANI

- Bestimmung der Parameter des hypoplastischen Stoffgesetzes
- Numerische Simulation der sphärischen Hohlräumeaufweitung
- Bestimmung der Beziehung $q_c = f(I_d, p_0)$
- (FE-Simulationen der Drucksondierung zur Quantifizierung des Randeinflusses)

Versuchsmaterial

Dubai Sand (Muschelsand)

Kalkgehalt: 90%

Kalzit 76%, Dolomit 14%

$$\rho_s = 2,805 \text{ g/cm}^3$$

$$e_{\max} = 1,22$$

$$e_{\min} = 0,76$$

$$d_{50} = 0,4 \text{ mm}$$

$$U = d_{60}/d_{10} = 4,08$$



Karlsruher Sand (Quarzsand)

Quarz

$$\rho_s = 2,647 \text{ g/cm}^3$$

$$e_{\max} = 0,83$$

$$e_{\min} = 0,56$$

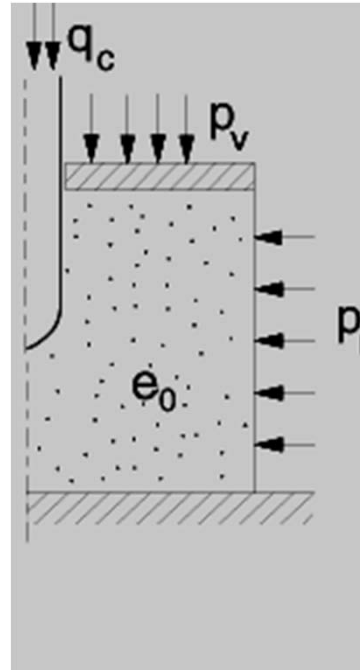
$$d_{50} = 0,35 \text{ mm}$$

$$U = d_{60}/d_{10} = 2,75$$



sowie Mischungen aus beiden Sanden

Versuchsanlage des IBF, Universität Karlsruhe

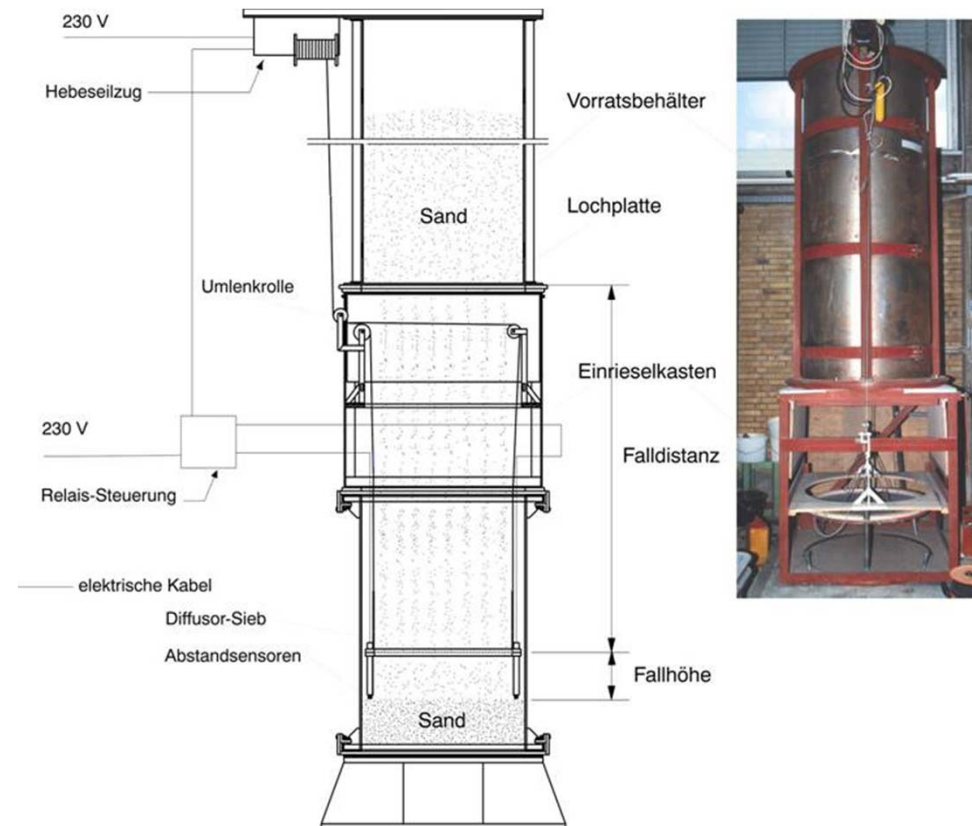


Versuchsanlage des IBF, Universität Karlsruhe



Einbaumethoden

Einrieselanlage: mitteldichte Lagerung



Einbaumethoden



Langsames Einfüllen mit Trichter:
lockere Lagerung

Lagenweiser Einbau und Verdichtung
mit Rüttelplatte: dichte Lagerung



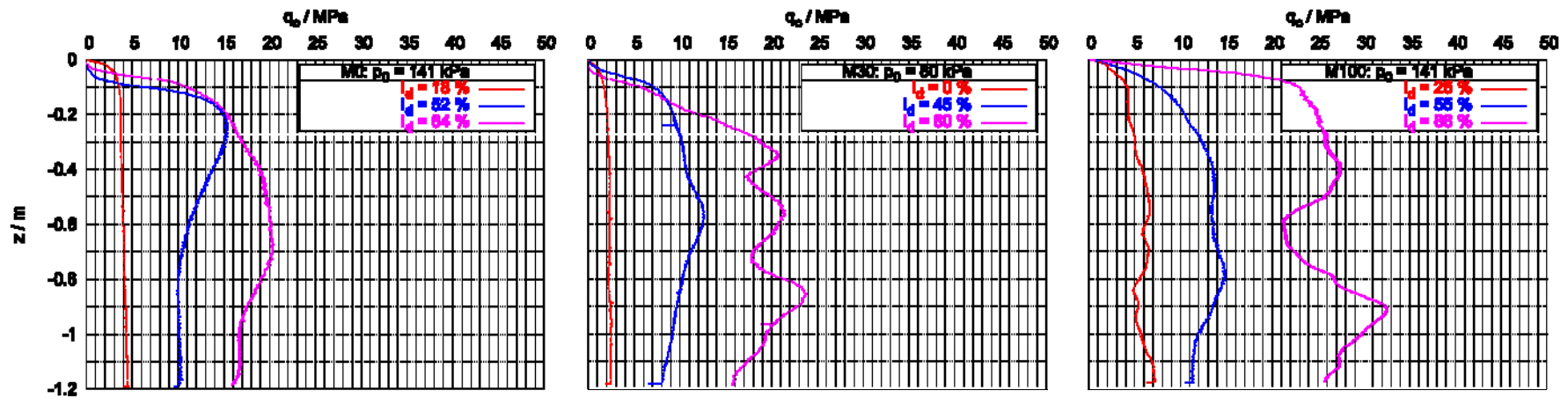
Versuchsprogramm

- 11 Versuche mit M0 (Quarzsand)
- 9 Versuche mit M15 (Quarz mit 15 M%-Muscheln)
- 5 Versuche mit M30 (Quarz mit 30 M%-Muscheln)
- 4 Versuche mit M60 (Quarz mit 60 M%-Muscheln)
- 12 Versuche mit M100 (Muschelsand)

variiert wurden jeweils

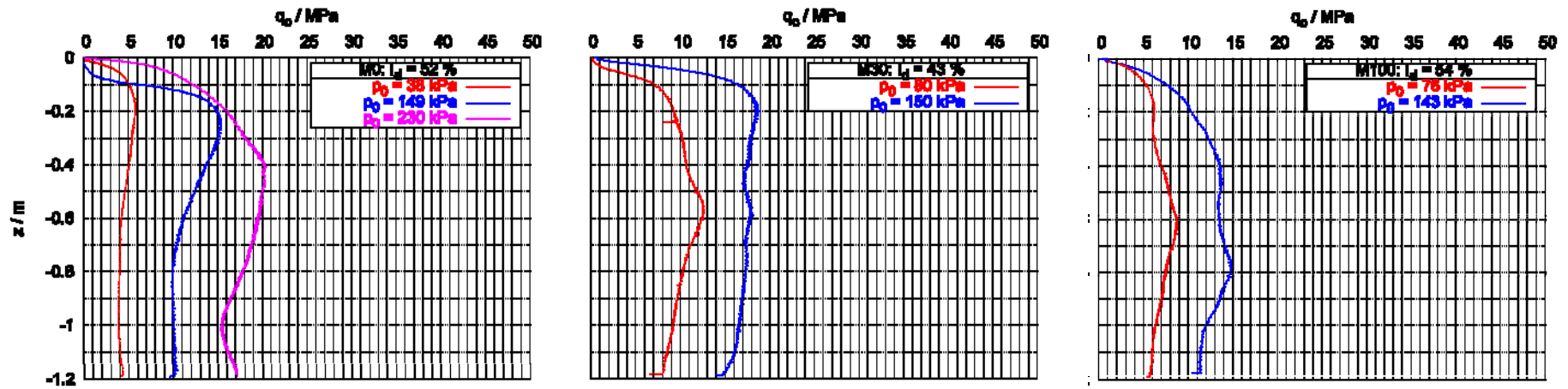
- der Anfangsspannungszustand
(mittlerer Effektivdruck und Spannungsverhältnis $K = \sigma_h/\sigma_v$)
- die Lagerungsdichte

Versuchsergebnisse



Einfluss von Material und Lagerungsdichte

Versuchsergebnisse



Einfluss von Material und Druck

DIN 4094-1:2002-6

Rein empirisches Verfahren basierend auf wenigen Versuchen mit Berliner Sanden (Quarz/Feldspat)

$$q_c = 10^{\frac{I_d - 0,33}{0,73}}, \quad U \leq 3$$

$$q_c = 10^{\frac{I_d - 0,25}{0,31}}, \quad U \geq 6$$

Vorteile: sehr einfache Anwendung

Nachteile: keine Berücksichtigung des Materials
keine Berücksichtigung des Spannungszustands
für $3 < U < 6$ nicht anwendbar

SCHMERTMANN

Empirisches Verfahren basierend auf ca. 80 Drucksondierungen im Kalibrierungsbehälter mit verschiedenen Sanden (keine Muschelsande).

$$q_c = C_0 \cdot \sigma_v^{C_1} \cdot \exp(C_2 \cdot I_D)$$

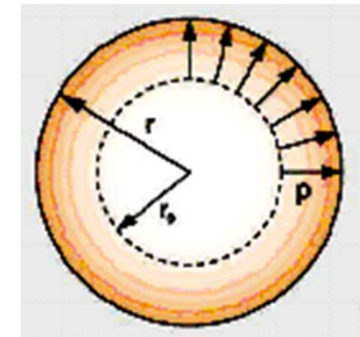
Vorteile: Spannungszustand wird berücksichtigt
Materialeigenschaften werden durch die Konstanten C_i berücksichtigt

Nachteile: Kalibrierungsversuche erforderlich

CUDMANI

Halbempirisches Verfahren basierend auf der numerischen Lösung der Aufweitung eines sphärischen Hohlraums im hypoplastisch modellierten Kontinuum

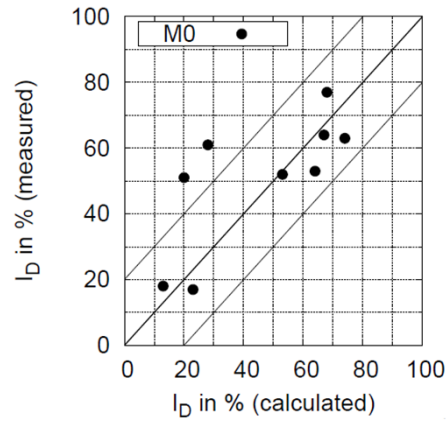
$$q_c = \overline{k}_q(I_d) \cdot p_{LS}(I_d, p_0, \text{Material})$$



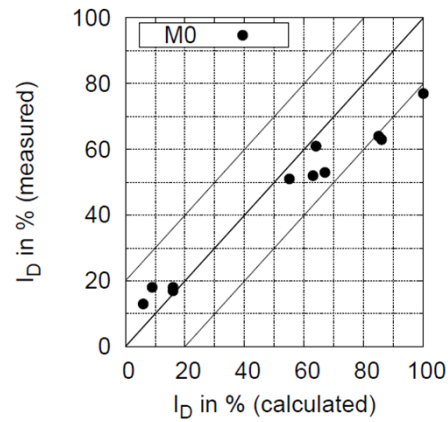
Vorteile: Materialeigenschaften und Spannungszustand werden berücksichtigt
keine Kalibrierungsversuche notwendig
nur Standard-Laborversuche erforderlich

Nachteile: bisher nicht anwenderfreundlich
spezielle Kenntnisse erforderlich

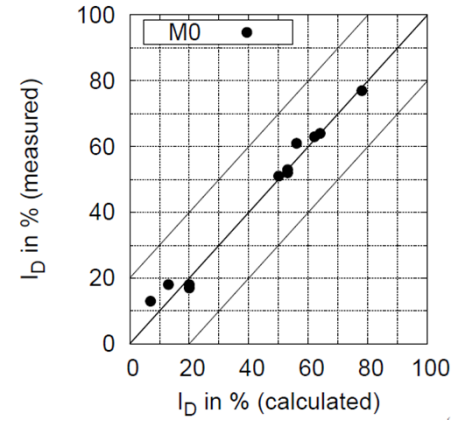
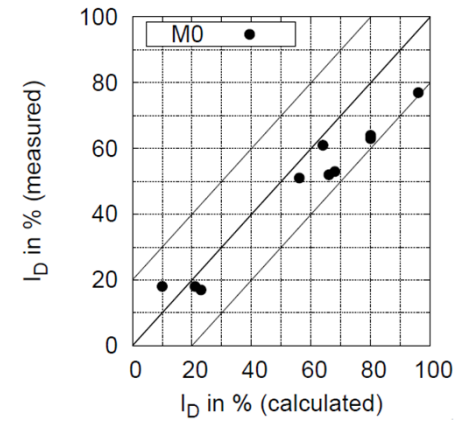
Ergebnisse für Karlsruher Sand



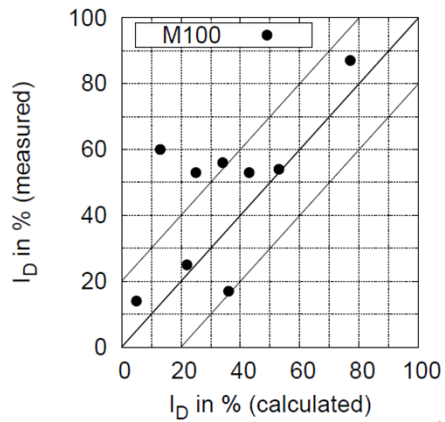
DIN 4094



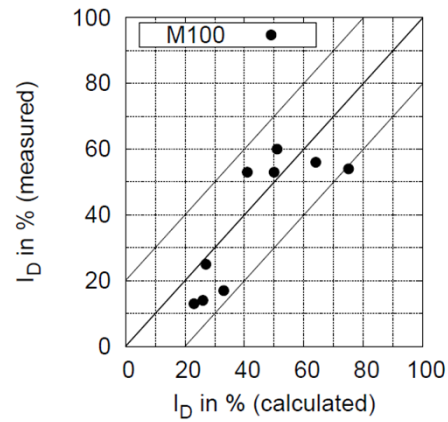
CUDMANI

SCHMERTMANN
(kalibriert)SCHMERTMANN
(Literatur)

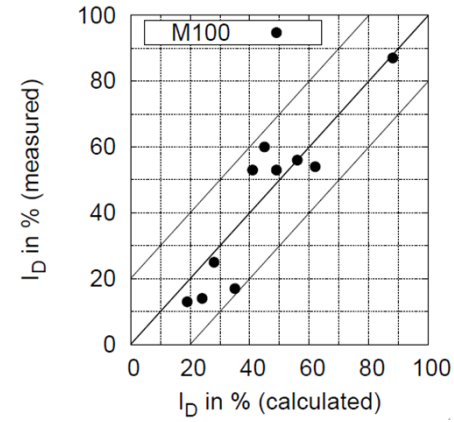
Ergebnisse für Dubai Sand



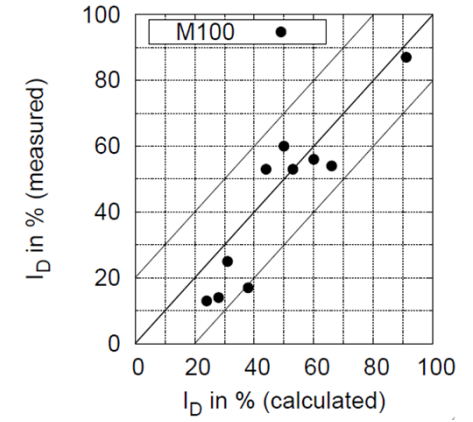
DIN 4094



CUDMANI



SCHMERTMANN
(kalibriert)



SCHMERTMANN
(Literatur)

Zusammenfassung

Von der Interpretation nach DIN 4094 wird i. Allg. abgeraten.

Das Karlsruher Verfahren liefert (meist) gute Ergebnisse.
Voraussetzung sind einige Laborversuche (mit gestörten Proben)
zur Kalibrierung der Stoffgesetz-Parameter.

Die Interpretation nach SCHMERTMANN lieferte ebenfalls
gute Ergebnisse.

Der Vergleich der Interpretationsverfahren zeigt, dass es kritisch sein kann,
empirische Beziehungen auf unbekannte Böden anzuwenden.

Zusammenfassung

Das Karlsruher Verfahren wurde/wird erfolgreich für spezielle Praxisanwendungen eingesetzt:

- Dichtebestimmung zur Abschätzung des Verflüssigungspotentials (National Marine Dredging Company, V.A.E.)
- Verdichtungskontrollen im Rahmen von Baugrundverbesserungsmaßnahmen (Keller Holding, Offenbach)
- Verdichtungskontrollen im Rahmen von Landgewinnungsmaßnahmen (Ocean Reef Islands, Panama, Boskalis BV, Rotterdam)
- Dichtebestimmung in Tagebaukippen (RWE)
- Im Rahmen eines numerischen Verfahrens zur Simulation der RDV (Keller Grundbau, Offenbach)

Für weiche Böden: Interpretationsverfahren basierend auf dem viskohypoplastischen Stoffgesetz (MEIER, 2009)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



INNOVATIVE GEOTECHNIK, 15. SEPTEMBER 2011