

Altlasten, Rüstungsaltlasten, Havarie-Ereignisse und ihre Auswirkungen auf die Umwelt

**Innovative Erkundung, Gefahrenforschung,
Messtechnik und Probenahme**



**Messung und Interpretation geologischer und
hydrogeologischer Daten aus Direct Push-Sondierungen**

**Dipl.-Geogr. Rainer Heitmann
FUGRO CONSULT GMBH, Markkleeberg**

LBEG, DBU - Hannover, 24./25.03.2009



- **Direct Push Definition und Verfahren**
- **EC Electrical Conductivity (Elektrische Leitfähigkeit)**
- **CPT Cone Penetrometer Testing (Elektrische Drucksondierungen)**
- **CPTU Porenwasserdrucksondierungen**
- **MagCone Magnetometersonde**
- **Drucksonden – verschiedene Trägersysteme für unterschiedliche Anwendungsfälle**
- **Fallbeispiele**



“Direct Push Technologies” - Definition

Quelle: <http://www.epa.gov/superfund/programs/dfa/dirtech.htm>

Direct push technologies (DPT) are a **category of equipment that push or drive steel rods into the ground**. They allow cost-effective, rapid sampling and data collection from unconsolidated soils and sediments. A tremendous variety of equipment is available, particularly in the type of attachments used at the end of rods to collect samples and data. These attachments may **collect soil, soil gas, or groundwater samples**; they may conduct *in situ* analysis of contaminants; **or they may collect geophysical data** that are continuously logged as the DPT rods are advanced. **Continuous logs of subsurface conditions** are particularly valuable because they help to develop a three-dimensional conceptual site model.



“Direct Push Technologies” - Verfahren

Direct Push Technologien sind z.B.:

- **Cone Penetrometer Testing (CPT) / Elektrische Drucksondierungen (drückend)**
(u.a. Spitzendruck, Mantelreibung, Reibungsverhältnis, Porenwasserdruck, MIP, Leitfähigkeit / EC, ROST-LIF, UVOST, MagCone, verschiedene Probenehmer, ...)

- **GEOPROBE Direct Push Verfahren (drückend, schlagend)**
(u.a. Leitfähigkeit / EC, MIP, verschiedene Probenehmer, ...)

- **SONIC DRILL Verfahren (hochfrequent vibrierend)**
(u.a. verschiedene Probenehmer, ...)

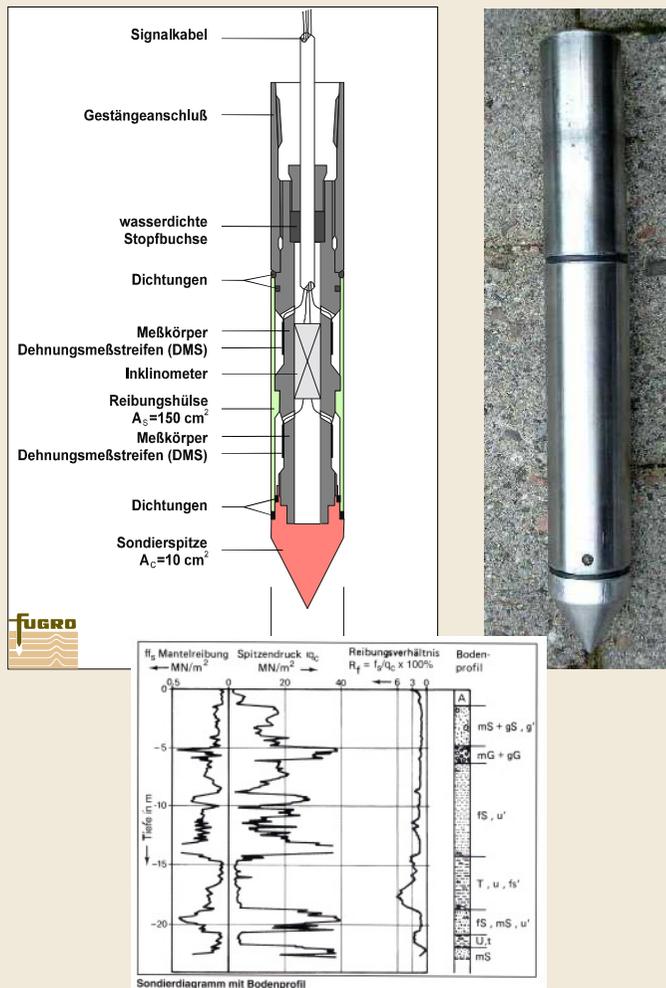
- **auch Rammkernsondierungen, Rammsondierungen,**



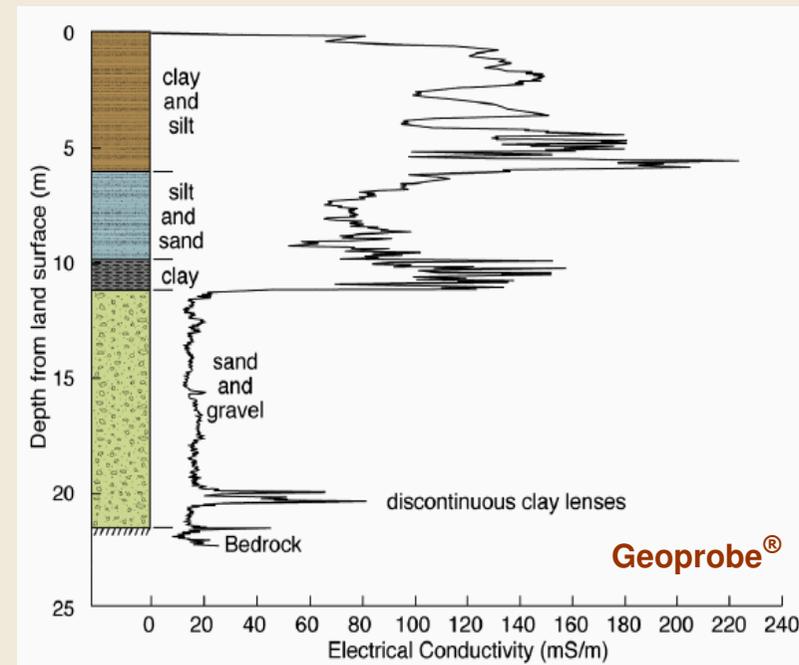


Sensorsonden – Geologie/Lithologie

CPT (Cone Penetration Test) – Sonde: Spitzendruck & Mantelreibung

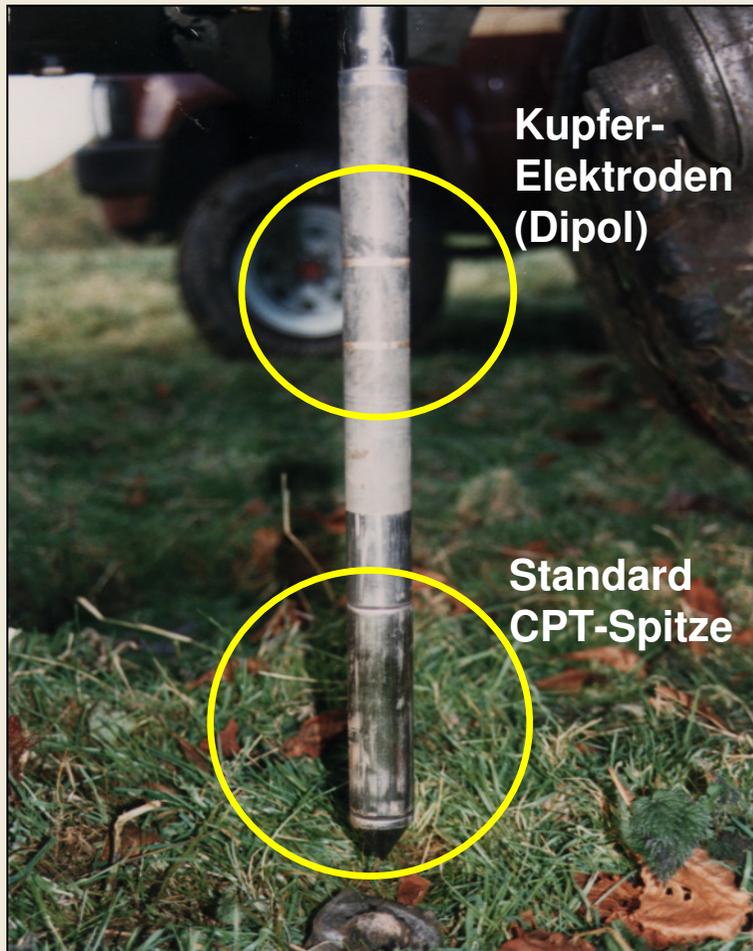


EC (Electr. Conduct.) – Sonde: Elektrische Formationsleitfähigkeit

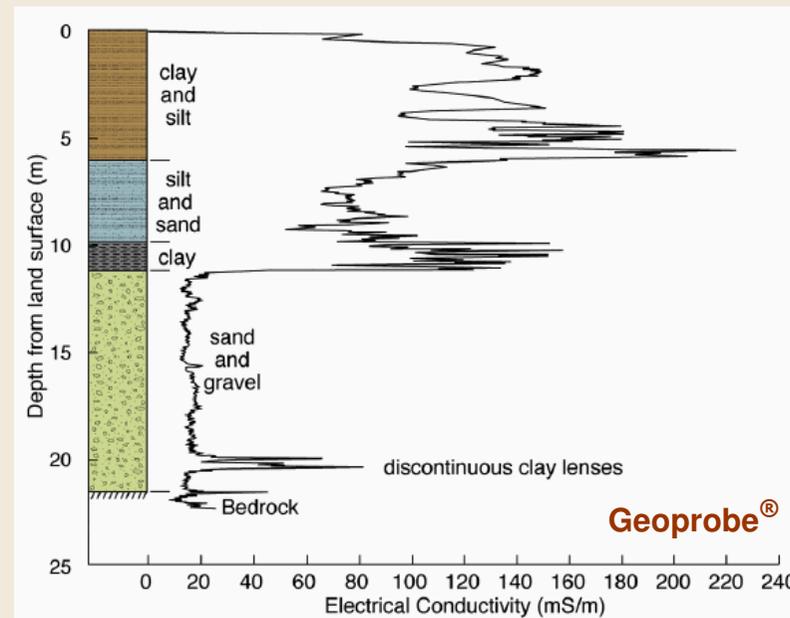


**EC = Electrical Conductivity
(elektrische Leitfähigkeit)**

Leitfähigkeitsdrucksonde



EC (Electr. Conduct.) – Sonde: Elektrische Formationsleitfähigkeit





Die spezifische elektrische Leitfähigkeit ist eine Materialeigenschaft. Sie beschreibt, wie gut ein Material den elektrischen Strom leitet.

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit ist in situ abhängig von folgenden Faktoren:

- **Porosität**
- **Wassersättigung**
- **Art und Konzentration der Porenflüssigkeit**
- **Tonanteil**

sowie untergeordnet von:

- **Temperatur**
- **Druck**



Elektrische Leitfähigkeit - Grundlagen

Die in situ gemessene spezifische elektrische Leitfähigkeit ist, für sich genommen, keine eindeutig bestimmte Messgröße.

Sie ist die Summe aller Einflüsse der genannten Faktoren.

Zur genaueren Spezifikation ist die Messung und Interpretation weiterer, von der Leitfähigkeit unabhängiger Faktoren erforderlich.

(wie z.B.: Spitzendruck, Mantelreibung, Reibungsverhältnis, Porosität bzw. Infiltrationsvermögen, ...)



Elektrische Leitfähigkeit – Anmerkungen

Die elektrische Leitfähigkeit der gesteinsbildenden Minerale (Matrix-Leitfähigkeit σ_m) insbesondere der Silikate, Karbonate und Sulfate, ist gering.

Stark Tonmineral haltige Sedimentgesteine haben aufgrund von Oberflächenleitfähigkeit und Kationenaustauschfähigkeit auch bei geringeren Porositäten und geringen Wassersättigungen kleine spezifische Widerstände / hohe elektrische Leitfähigkeiten (Grenzflächenleitfähigkeit).

Eine wässrige Lösung in den Poren eines Gesteins führt durch die elektrolytische Stromleitung zu einer drastischen Erhöhung der Leitfähigkeit. Hoch konzentrierte Porenwässer haben einen geringen spezifischen Widerstand / eine höhere Leitfähigkeit der Formation zur Folge.

Hohe Porosität ist meist mit höherem Anteil an Porenwasser verbunden und bedeutet höhere Leitfähigkeit/geringeren Widerstand.

Bei einer Teilsättigung des Gesteins bewirkt der isolierende Einfluss der Luft als Porenfüllung eine Verringerung der Leitfähigkeit.

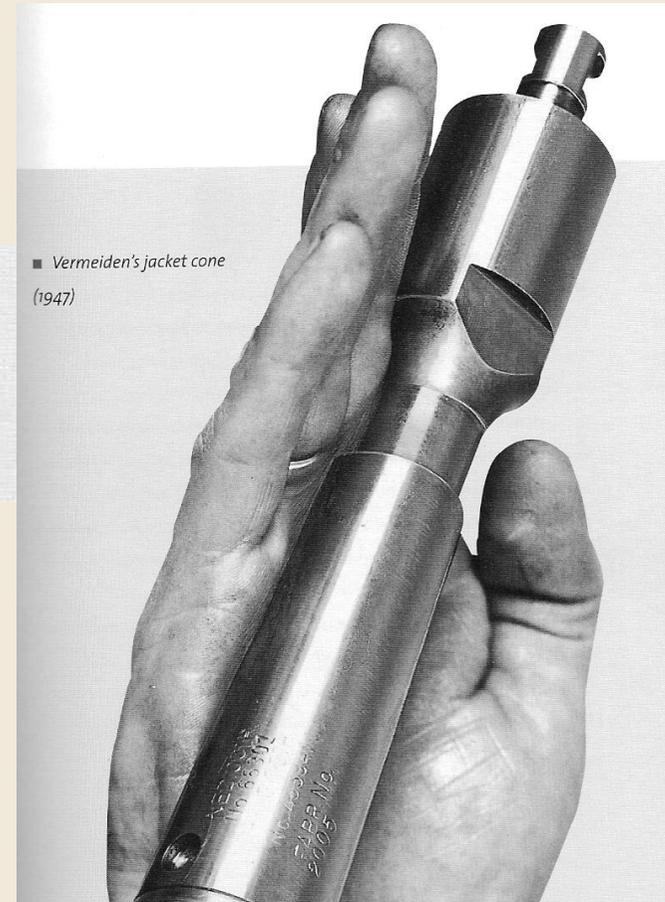
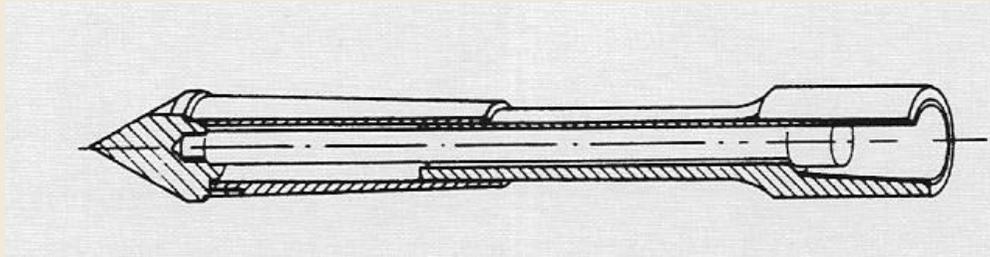


Beispiele für Leitfähigkeit einiger Materialien

| Material | ρ [Ωm] | σ [mS/m] |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Schotter, Sande des Quartär, feucht bis trocken | 500 ... 5000 | 2 ... 0,2 |
| Schotter, Sande des Quartär, wassergesättigt | 50 ... 500 | 20 ... 2 |
| Tone, Lehme | 3 ... 100 | 300 ... 10 |
| Geschiebemergel | 30 ... 70 | 33 ... 14 |
| Grobklastisches Material (Moräne) | 1000 ... 10000 | 1 ... 0,1 |
| Bauschutt, bergfeucht bis trocken | 150 ... 1000 | 6 ... 1 |
| Sickerwasser aus Hausmüll | 0,9 ... 1,3 | 1100 ... 800 |
| Unkontaminiertes Grund- und Oberflächenwasser | 30 ... 60 | 33 ... 16 |
| Glaukonitsande (Belgien) | 50 ... 75 | 20 ... 13 |
| Gesteinsbildende Minerale | | 10^{-11} ... 10^{-7} |
| Braunkohle | 10 ... 150 | 100 ... 6 |
| Torf | 15 ... 25 | 65 ... 40 |
| Dest. Wasser | $> 10^3$ | < 1 |



CPT = Cone Penetration Testing



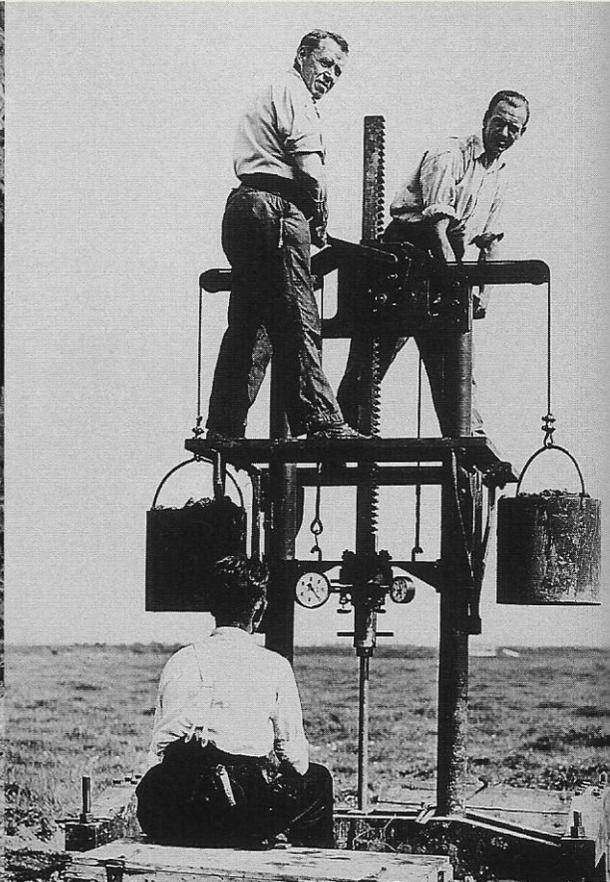
Vermeiden's Jacket Cone (1947)



Barentsen´s hand CPT (1962)



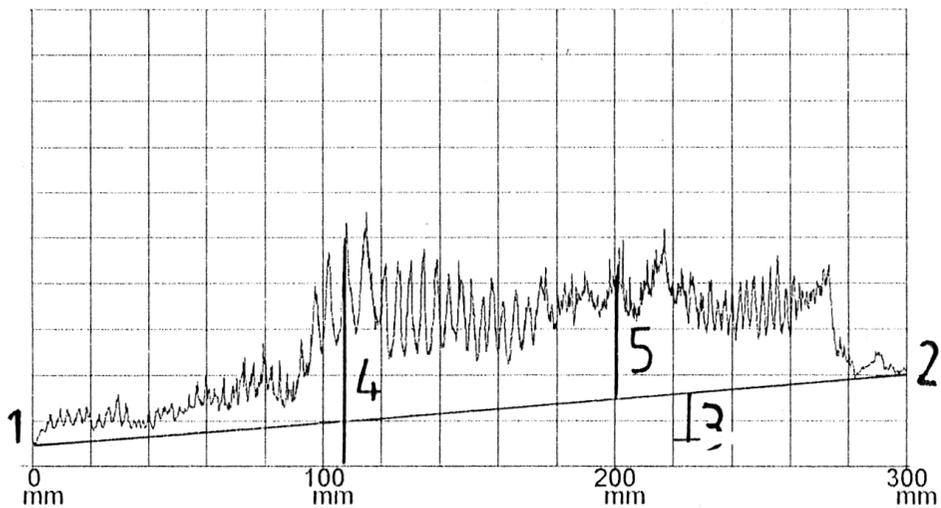
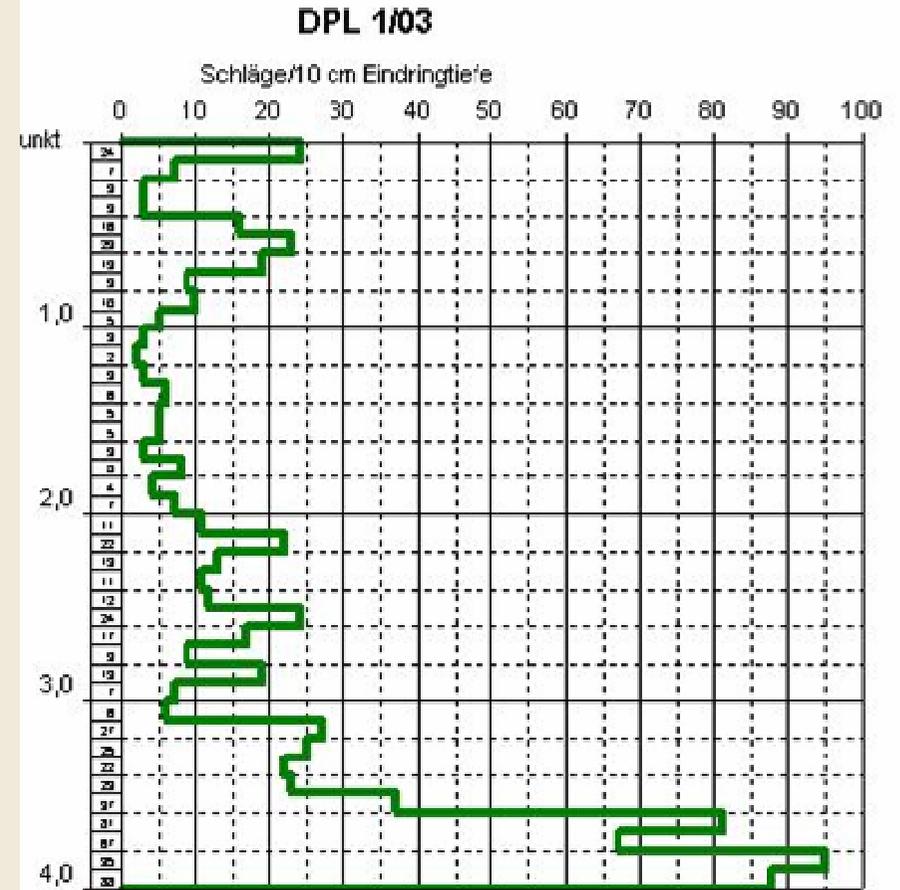
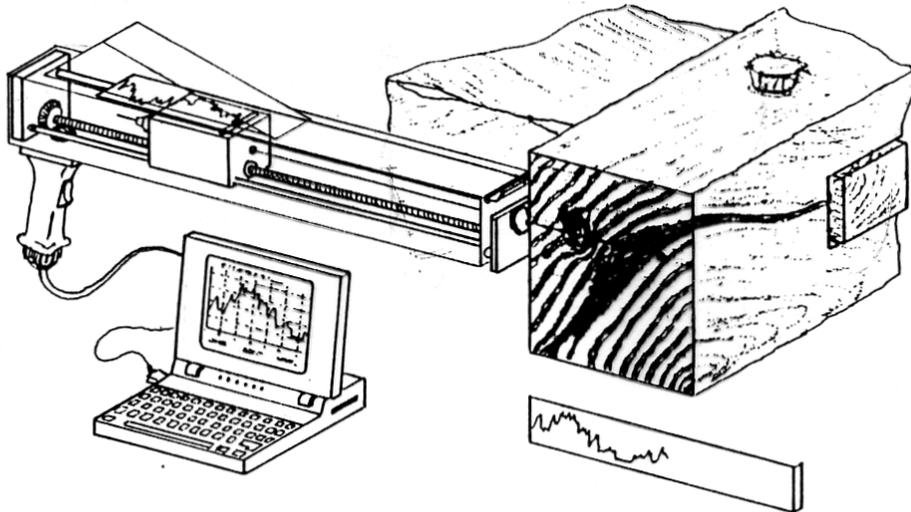
2-ton CPT (1962)



10-ton CPT (1962)

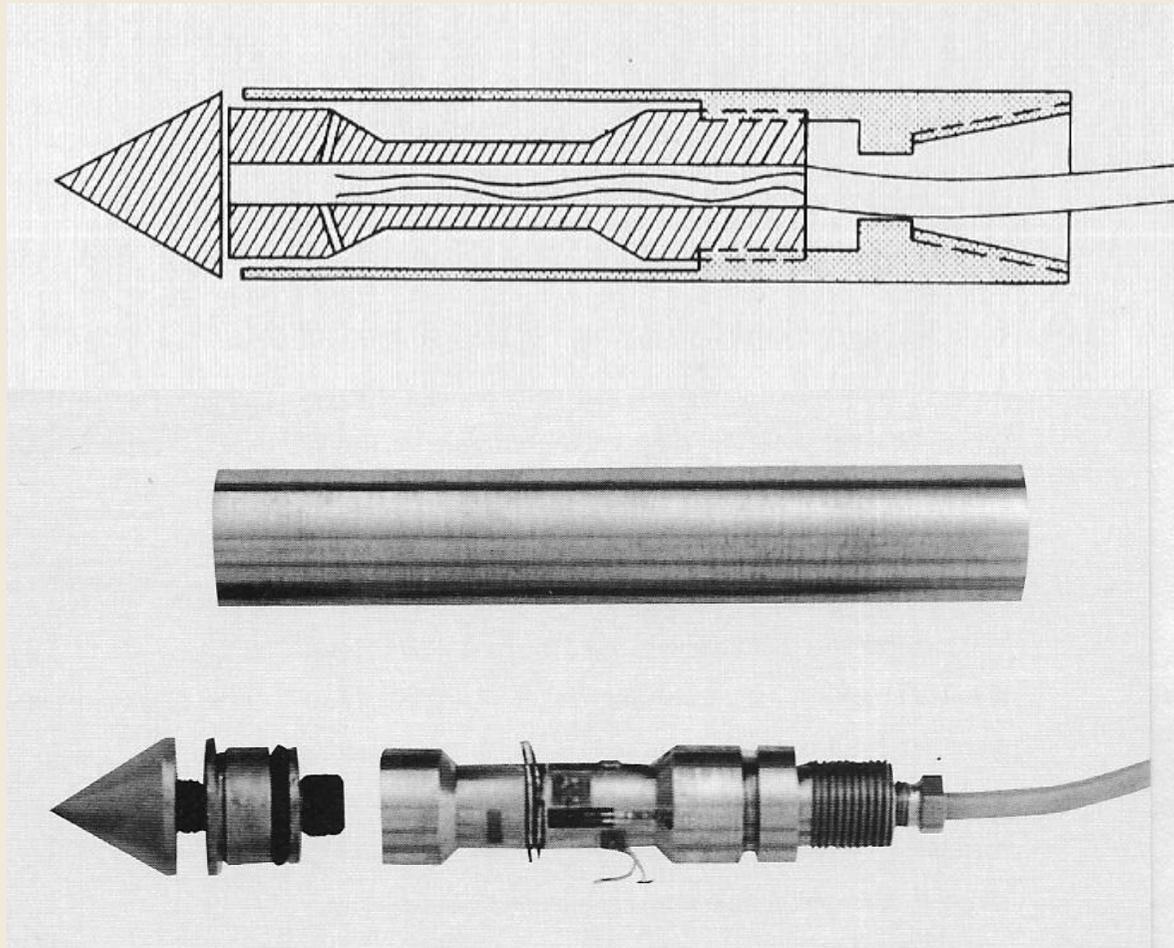


CPT – Verfahren / Prinzip



Rammsonde

Densitomat





Eindrücken einer Sondierspitze (hydraulisch) in den Boden

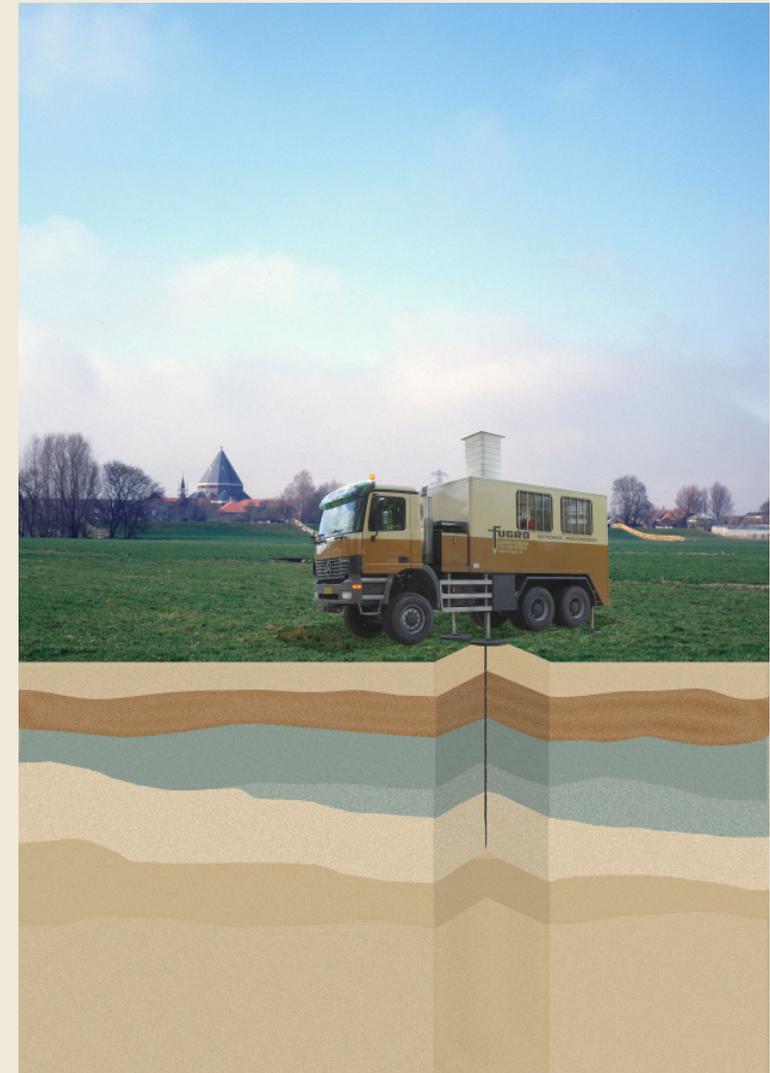
mit konstanter Geschwindigkeit von 2 cm/sec

bei gleichzeitiger kontinuierlicher Messung des Eindringwiderstandes (q_c) und der lokalen Mantelreibung (f_s)

sowie durch Zusatzmodule von weiteren Parametern

Reibungshülse

**Sondierspitze
 $A = 1000 \text{ mm}^2$; $d = 35,7 \text{ mm}$**





Drucksondiernormen und Literatur



| | | |
|--|--|----------------------|
| DEUTSCHE NORM | | Juni 2002 |
| Baugrund Felduntersuchungen Teil 1: Drucksondierungen | | DIN 4094-1 |
| Teilweise Ersatz für DIN 4094:1990-12 und DIN 4094 Bbl 1:1990-12 | | |

Subsoil — Field investigations — Part 1: Cone penetration tests

CONE PENETRATION TESTING

IN GEOTECHNICAL PRACTICE

T. LUNNE, P.K. ROBERTSON
AND J.J.M. POWELL



BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL
An imprint of Chapman & Hall

| | | |
|--|--|------------|
| DEUTSCHE NORM <i>Entwurf</i> | | April 2005 |
| DIN EN ISO 22476-1 | | DIN |
| ICS 93.020 | Einsprüche bis 2005-05-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN 4094-1:2002-06 | |
| Entwurf | | |
| Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck (ISO/DIS 22476-1:2005); Deutsche Fassung prEN ISO 22476-1:2005 | | |

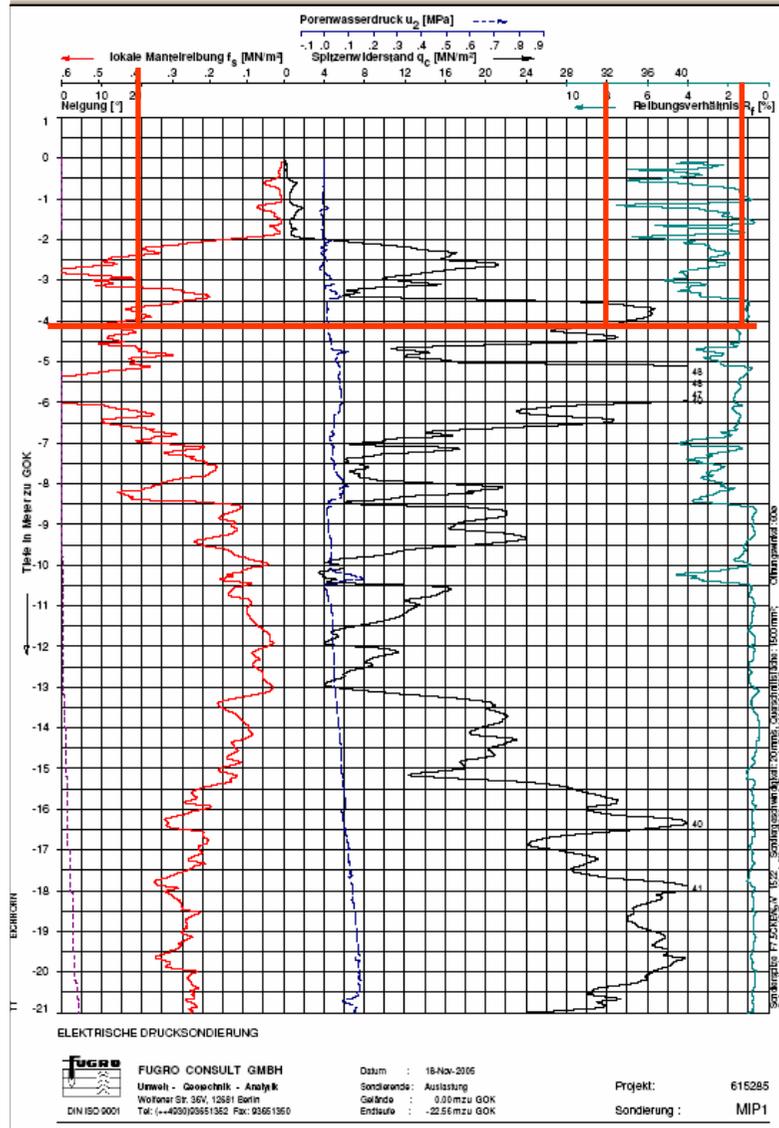


Guide to cone penetration testing on shore and near shore

J J M Brouwer

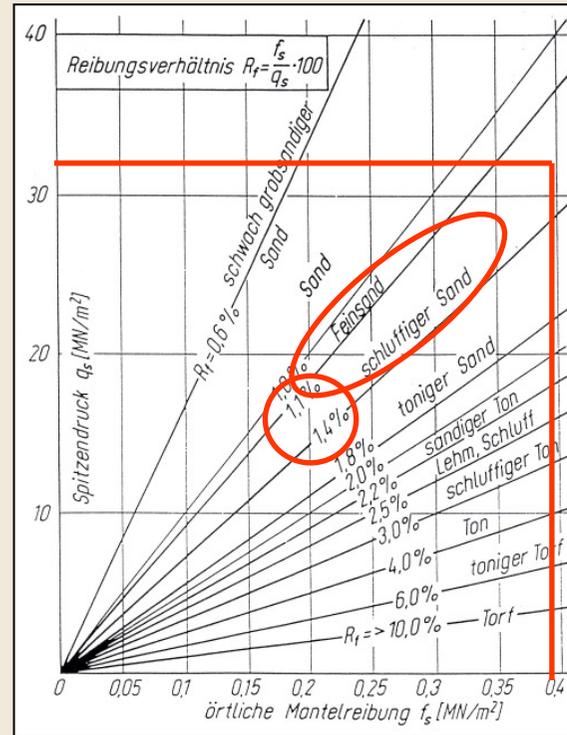


Sondierdiagramm und Ableitung des Bodenaufbaus



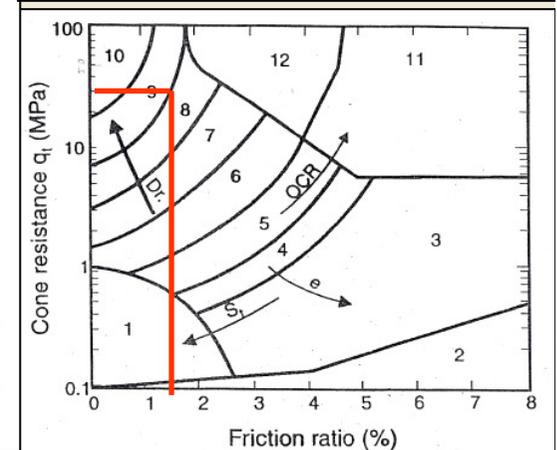
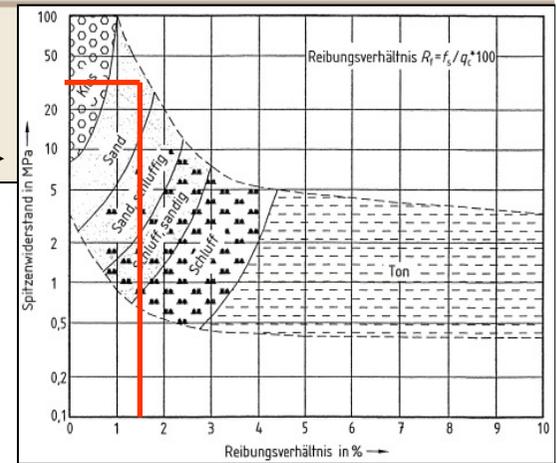
Sondierdiagramm

Auswertediagramm nach DIN 4094/Teil 1 zur näherungsweise Bestimmung von Bodenarten



Auswertediagramm nach FUGRO Handbuch

Auswertediagramm nach Cone Penetration Testing in geotechnical practice – Lunne, Robertson, Powell



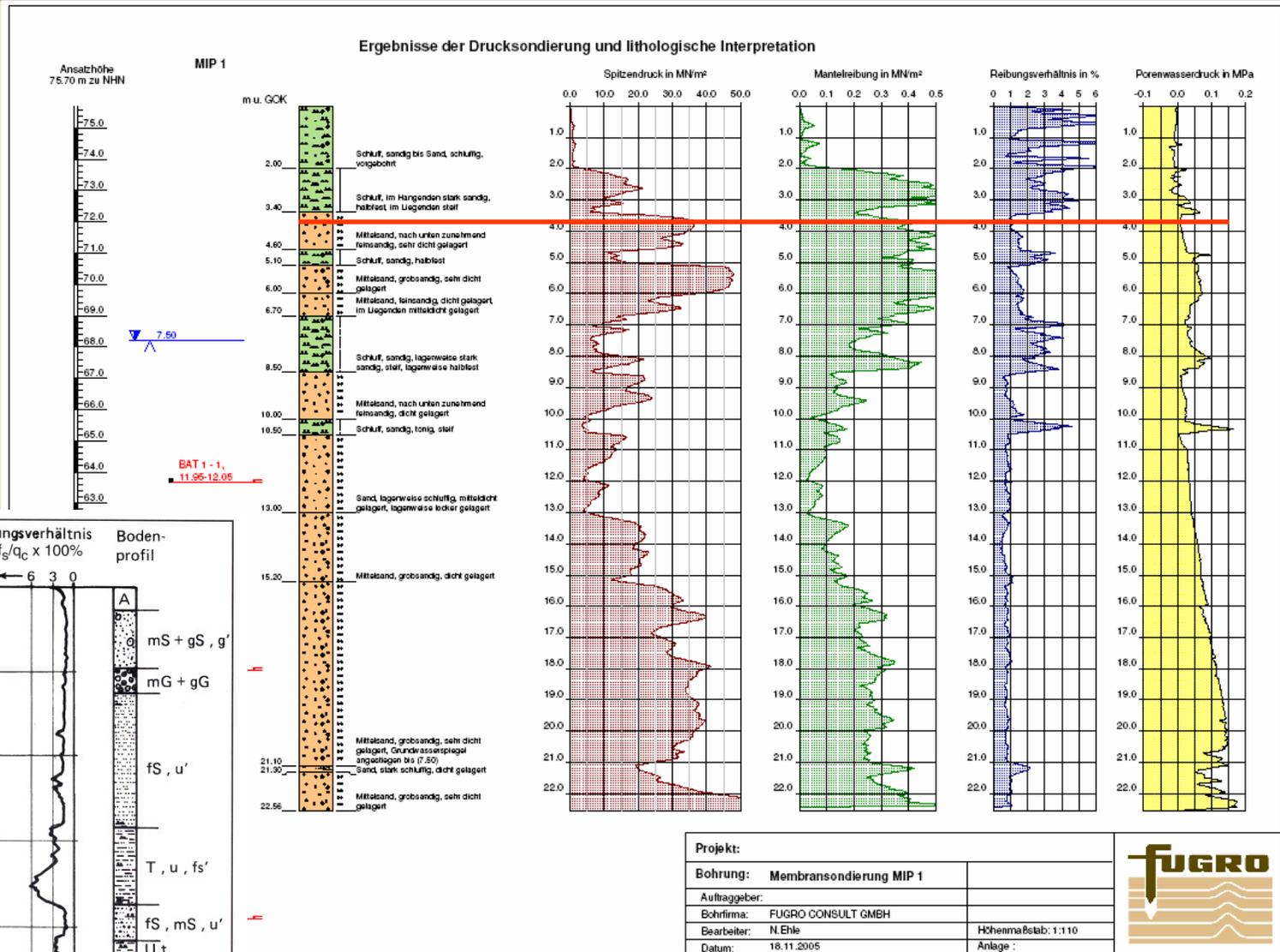
BODENARTEN:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 Empfindlicher feinkörniger Boden | 2 Organisches Material |
| 3 Ton | 4 Ton, schluffig bis Ton |
| 5 Schluff, tonig bis Ton, schluffig | 6 Schluff, sandig bis Schluff, tonig |
| 7 Sand, schluffig bis Schluff, sandig | 8 Sand bis schluffiger Sand |
| 9 Sand | 10 Sand, kiesig bis Sand |
| 11 Sehr steife Konsistenz und feinkörnig | 12 Sand bis Sand, tonig |

Bodenart 11 und 12 sind überkonsolidiert oder zementiert



Lithologische Interpretation



Sondierdiagramm mit Bodenprofil

Beispiel für eine Drucksondierdokumentation mit lithologischer Interpretation



Zusammenfassung – geotechnische Messungen

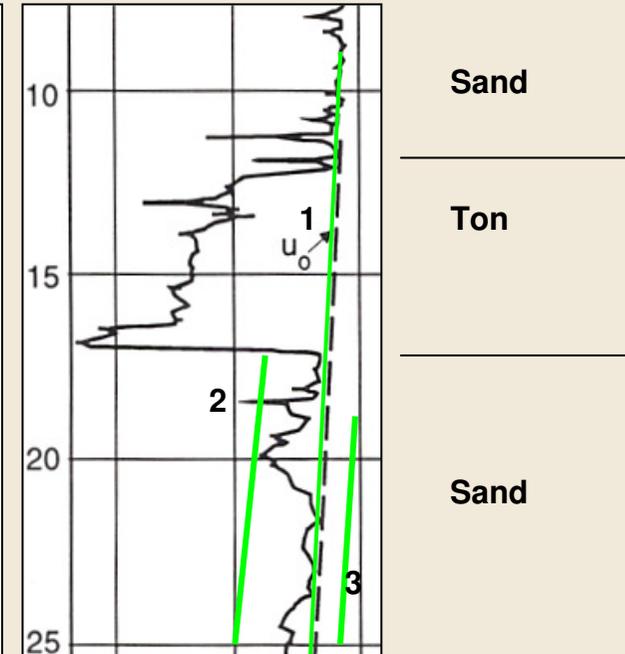
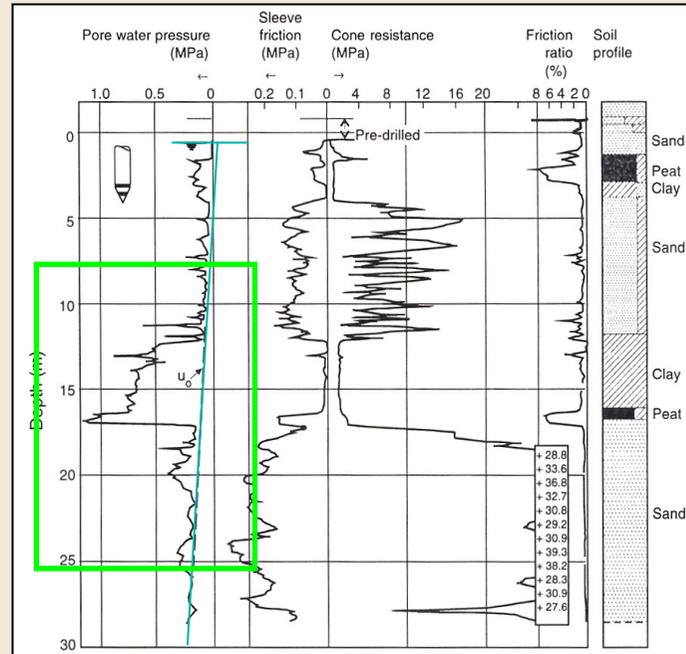
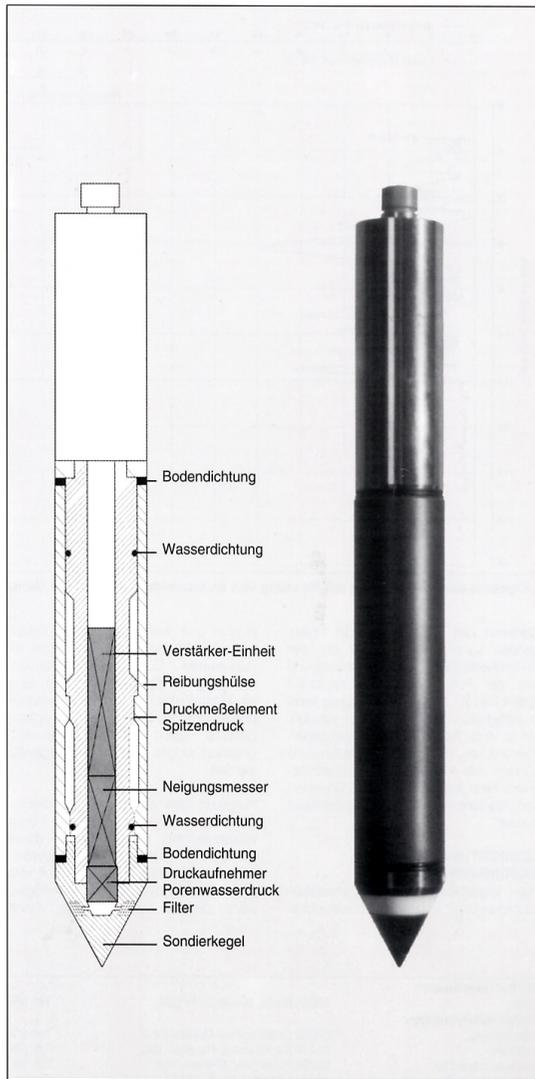
- **Technisches Untersuchungsverfahren für geotechnische Fragestellungen**
- **Gute Erreichbarkeit von Ansatzpunkten durch unterschiedlichste Trägergeräte**
- **Modulares Sondensystem**
- **Große Genauigkeit, hohes Auflösungsvermögen, gute Reproduzierbarkeit**
- **Online-Verfügbarkeit der Daten**
- **Nahezu vollautomatischer Betrieb, der subjektive Ergebnisbeeinflussung verhindert**
- **Arbeiten weitgehend unabhängig von der Witterung**
- **Hohe Erkundungsleistung – ca. 200 Sondiermeter am Tag**
- **Korrelationen von Drucksondierdaten zu über 20 Bodenkennwerten bzw. abgeleiteten Größen (z.B. Bodenschichtung, lithologische Bodenansprache, Lagerungsdichte, undrainierte Kohäsion, Steifemodul)**
- **Möglichkeit zur direkten Ermittlung von Fundament- und Pfahltragfähigkeiten**



**CPTU = Pore Pressure Cone
Penetration Testing
(Porenwasserdrucksondierung)**



Porenwassermessung und -auswertung



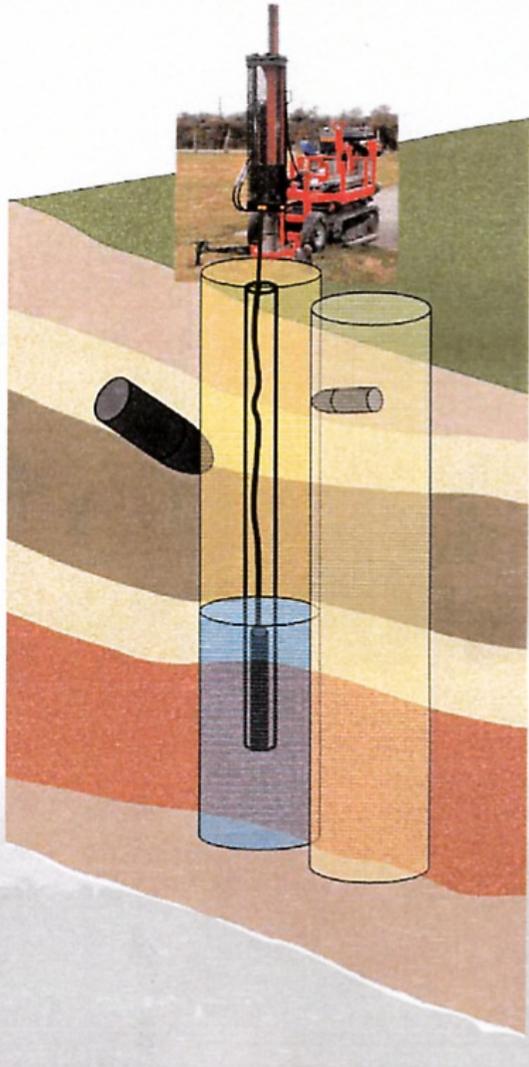
Beispiel einer CPTU Sondierung nach Cone Penetration Testing in geotechnical practice – Lunne, Robertson, Powell

- 1** Zusammenhängende Grundwasserleiter
- 2** Getrennte Grundwasserleiter (unterer GW-Leiter – gespannt)
- 3** Getrennte Grundwasserleiter (unterer GW-Leiter – nicht gespannt)

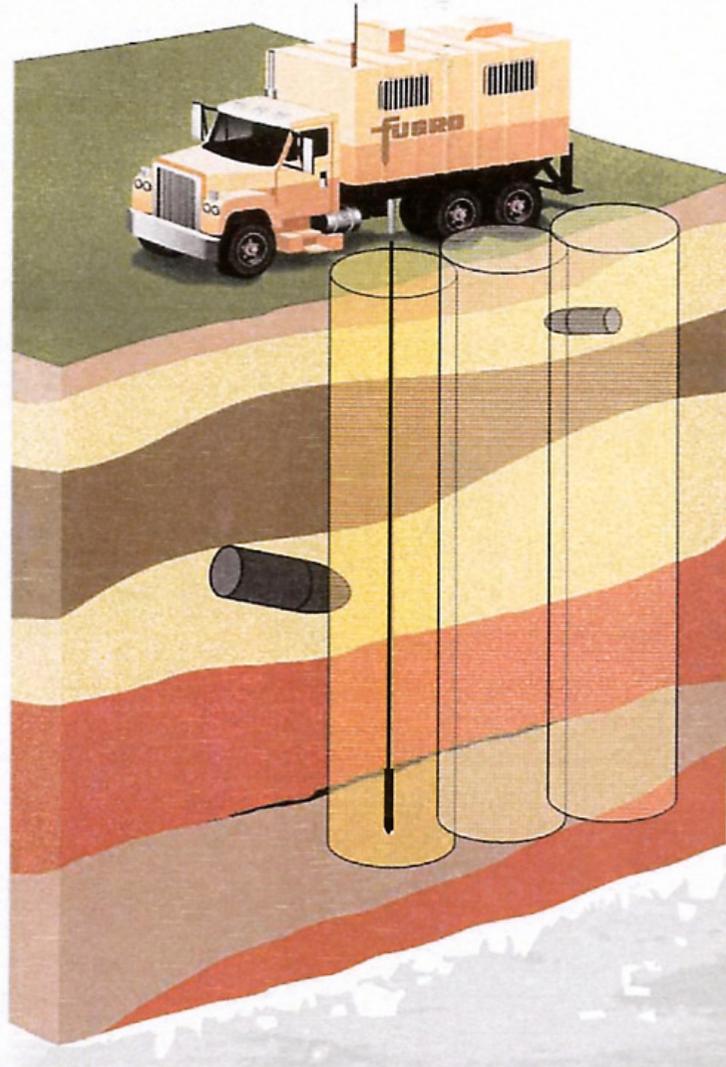
Porenwasserdruckspitze



Magnetometersonde (MagCone)



Bohrung zur Kampfmittelsuche

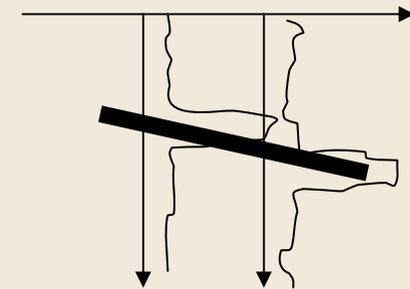


Magnetometersonde zur Kampfmittelsuche

**Sonstige
Anwendungsmöglichkeiten:**

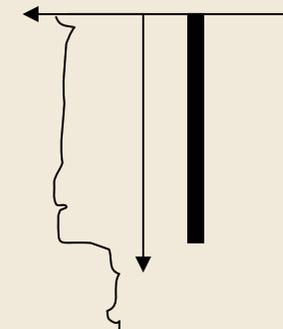
Ortung von Ankerlagen

- Ermittlung der Ankerlänge
- Ermittlung der Ankerneigung
- Ermittlung der Tiefenlage



Ortung von Spundwänden

- Ermittlung der Unterkanten





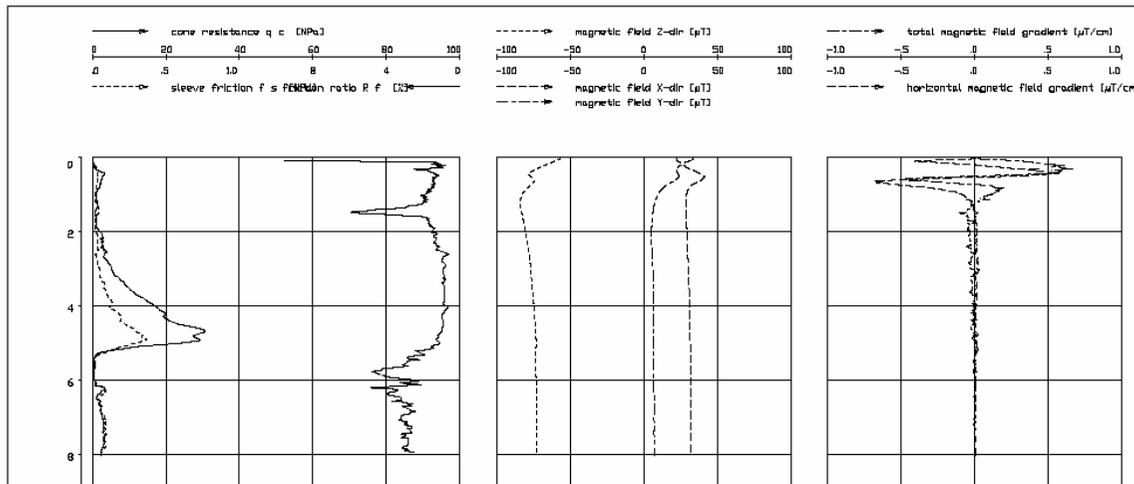
MagCone - Anwendung und Auswertung



Magnetometersonde



Onlineanzeige im Drucksondier - LKW



Auswertung Magnetometersondierung



Drucksonden – verschiedene Trägersysteme für unterschiedliche Anwendungsfälle



Historische FUGRO-Drucksonden

One of FUGRO's first CPT trucks (1962)





Historische FUGRO-Drucksonden

REO 3 in action in Switzerland (1963)





Historische FUGRO-Drucksonden

CPT truck in the Middle East (1974)





Historische FUGRO-Drucksonden

REO 19 (1980)





Historische FUGRO-Drucksonden

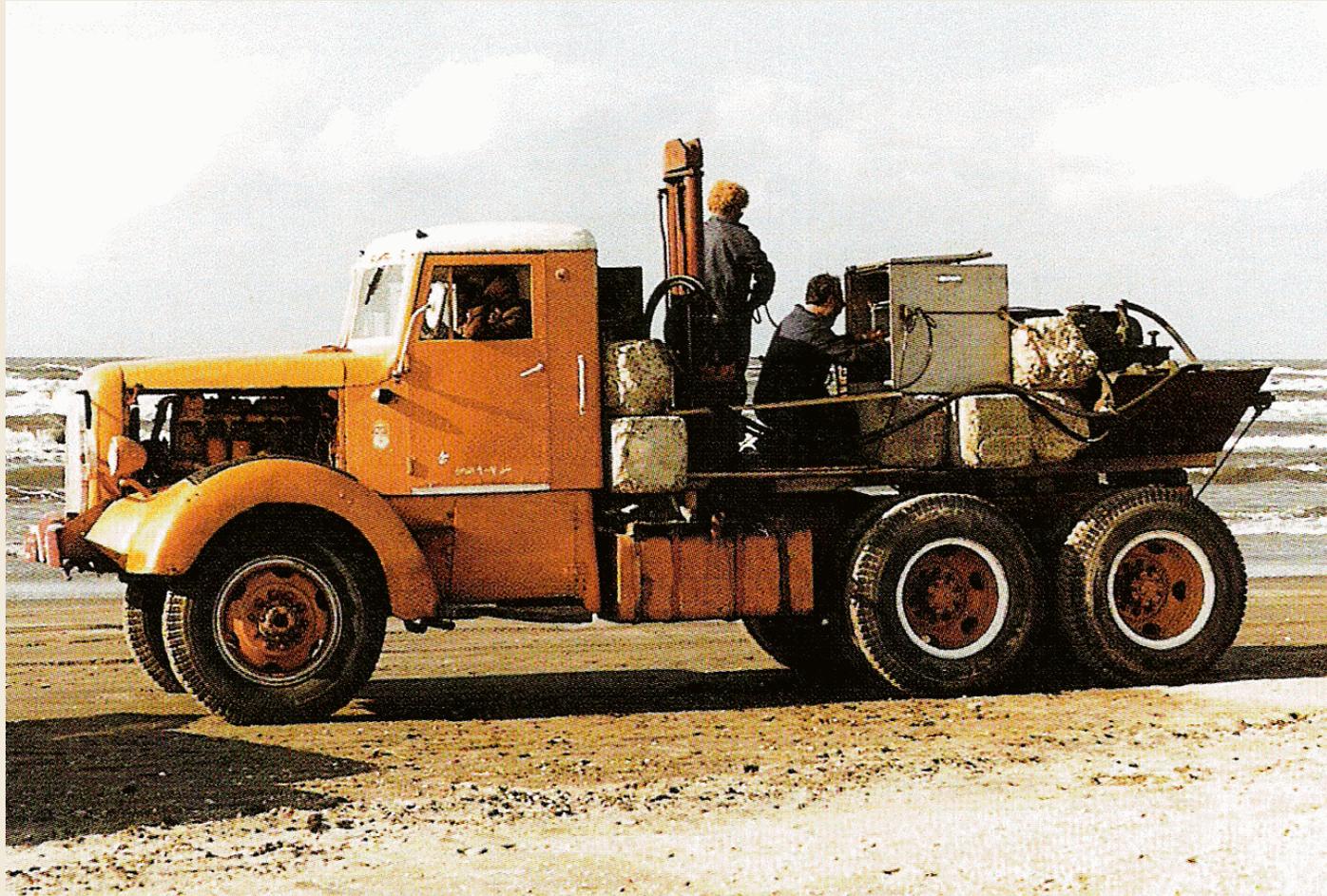
REO 25 in action in Baghdad (1981)





Historische FUGRO-Drucksonden

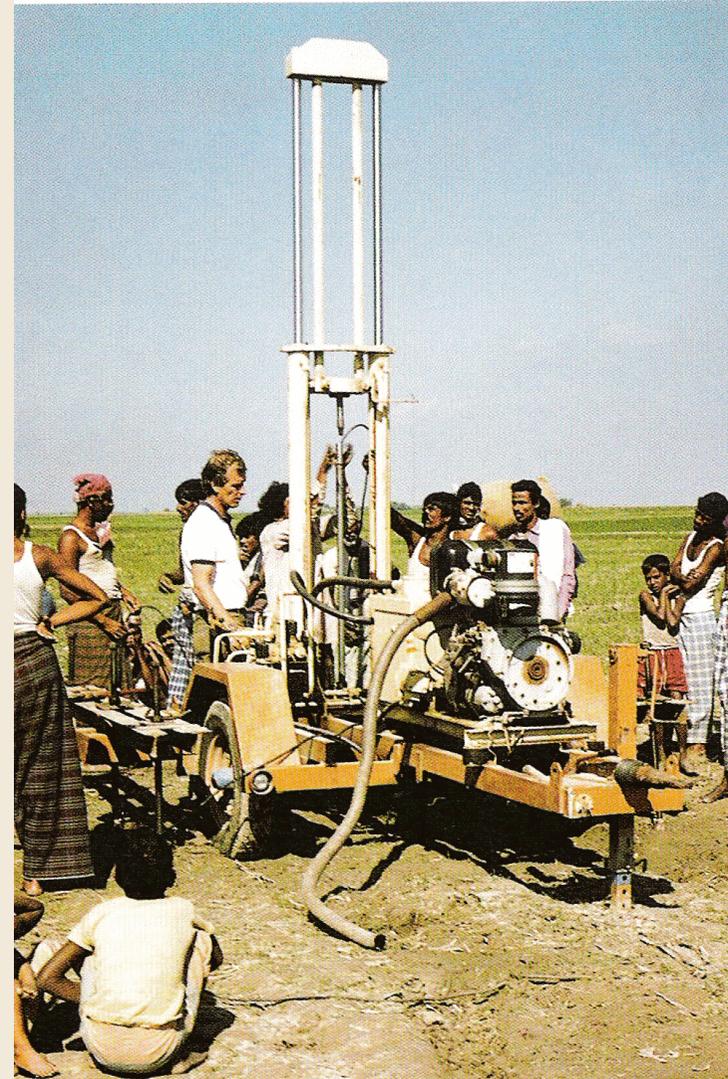
CPT truck in the Middle East (1984)





Historische FUGRO-Drucksonden

Performing CPTs for the Yamuna Bridge in Bangladesh (1984)





Historische FUGRO-Drucksonden

FUGRO's wetland truck in the meadows (1991)



■ Fugro's wetland truck
in the meadows



Verschiedene Sondier-LKW's





LKW's mit Sondierdraupen





Track-Trucks





Kleine Sondierdrauen





Drucksondierungen an Gewässern und Dämmen



Das lose Sondiergerät ist jeweils am Ausleger montiert.



Drucksondierungen im Gleisbereich



Sondierraupe auf Tiefbettwagen



Mini-Sondierraupe auf Plattformwagen





Drucksondierungen mit losem Sondiergerät



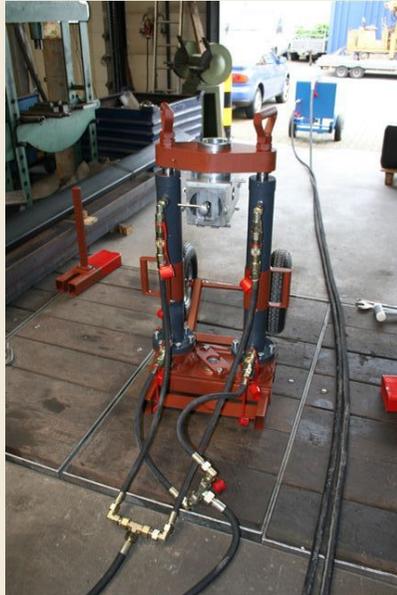
Sondierungen mit CPT und MIP in Gebäuden



Sondierhydraulik mit Schwerlastdübeln am Betonfußboden verankert



Drucksondierungen mit losem Sondiergerät



Looses Sondiergerät
einsatzfertig montiert



Abstützung eines losen
Sondiergerätes gegen
eine Geschosdecke in
einem Parkhaus



Looses Sondiergerät zum
Transport zerlegt



Sondierungen mit losem Gerät auf einer Deichkrone



Ankerbohrungen



Fertig montiertes Gerät



Erdanker



Befestigung der
Sondierhydraulik am Anker



Sondierungen auf dem Wasser





„Schlickrutscher“



„Wattwagen“



Loses Sondiergerät im „Schlickrutscher“

Vorbereitung an Deck



Drucksondierung



Absenken des Ballastblockes



Spezialeinsätze



**Ballastblockarbeiten
auf der Elbe**



**Drucksondierung
durch eine
Bohrverrohrung**



**Bohrungen und
Drucksondierungen
an Brückenfeilern**



**Drucksondieren von der
Plattform in der Nordsee**



GEOPROBE-Sondiergeräte

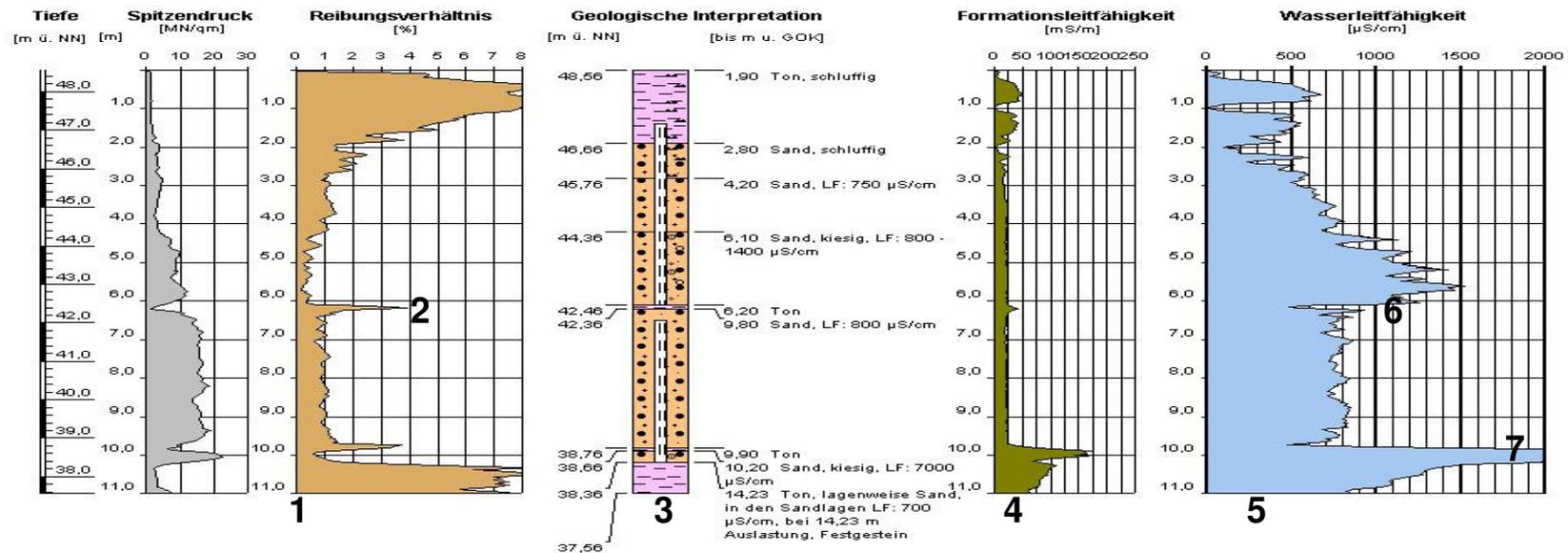




Fallbeispiele



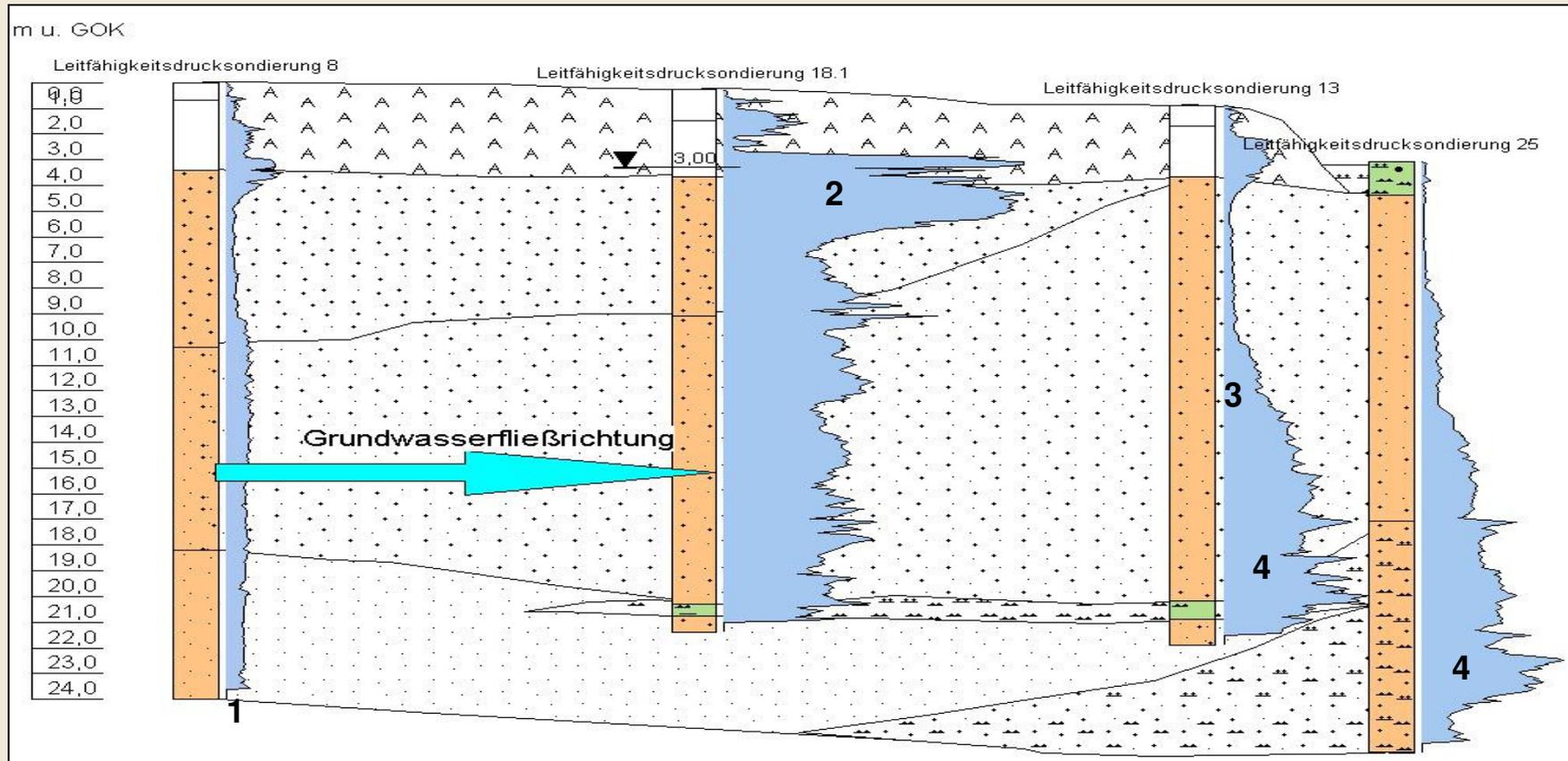
Fallbeispiel: LF-Sondierung mit geologischer Interpretation und elektrischen Wasserleitfähigkeiten



| | | | | | |
|--|---|--|---|---|---------------|
| | FUGRO CONSULT GMBH Ehlbeck 15 A 30938 Burgwedel Telefon 05139 - 9894-0 Telefax 05139 - 895709 | Geldbearbeitung am 25.06.2002 - 26.06.2002 Bearbeiter: Alexandra Corrao B Blatt 1 von 1 Zg.-Nr.: LF5-01 | Ausdruck am 22.12.2003 Maststab: V 1:50 Format: A 4 Anhang 2 | Titel: Grafische Darstellung der Sondierergebnisse Projekt: Sondierung: LF5 - 180900 - 180901 | Auftraggeber: |
|--|---|--|---|---|---------------|

- 1: Das Reibungsverhältnis (berechnet aus dem gemessenen Spitzendruck und der Mantelreibung) gibt Auskunft über die durchteuften Schichten.
- 2: Gering mächtige Schichten sind mit dem Drucksondiersystem deutlich zu erkennen.
- 3: Aus dem berechneten Reibungsverhältnis und dem Spitzendruck wird die geologische Interpretation abgeleitet.
- 4: Die elektrische Formationsleitfähigkeit wird in situ gemessen.
- 5: Die Formationsleitfähigkeit wird mittels Reibungsverhältnis in die elektrische Wasserleitfähigkeit des Fluids im Porenraum (in µS/cm) umgerechnet.
- 6: Auch geringmächtige Stauer können einen deutlichen Einfluss auf die Schadstoffausbreitung besitzen (geringere Leitfähigkeiten unterhalb des Stauers)
- 7: Die höchsten elektrischen Leitfähigkeiten zeigen sich im Beispiel oberhalb des Stauers.

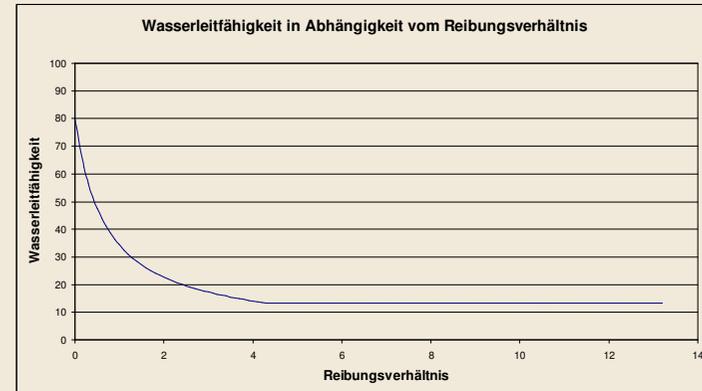
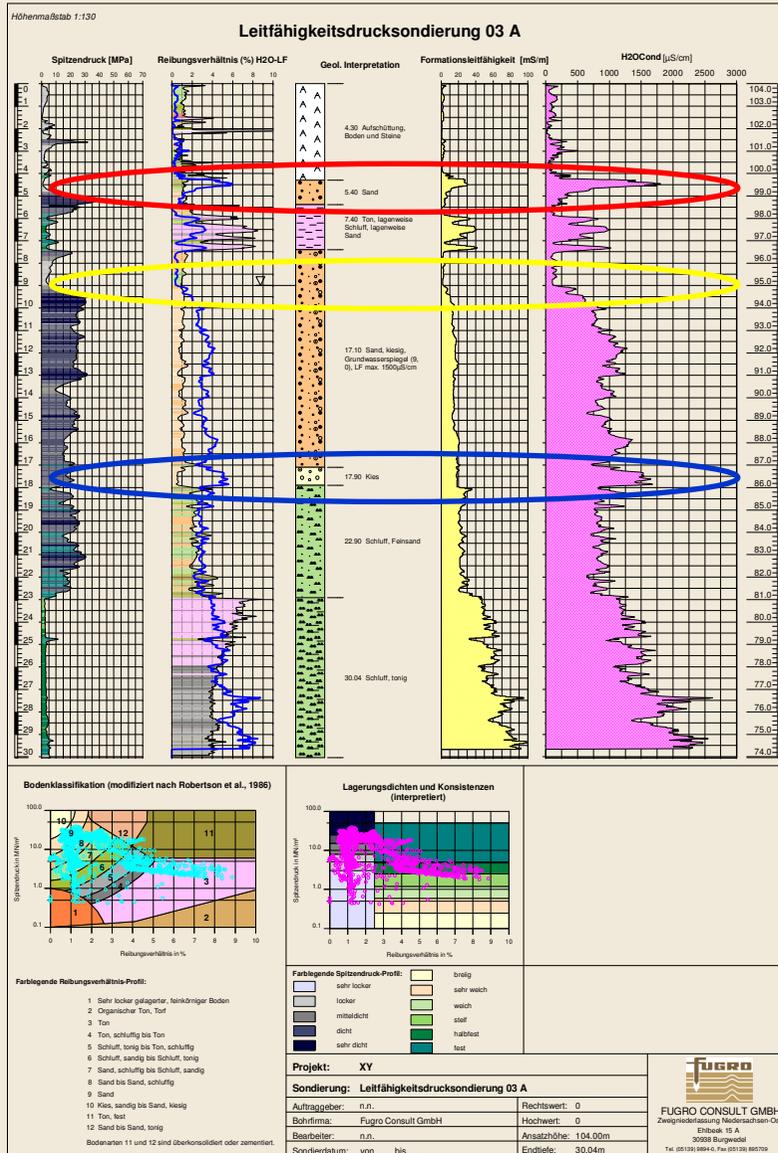
Fallbeispiel: Profilschnitt mit LF-Drucksondierungen und elektrischen Wasserleitfähigkeiten



- 1: Aufgetragen ist der unbelastete Anstrom mit geringen elektrischen Leitfähigkeiten (in blauer Kurve dargestellt)
- 2: Die erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten zeigen einen Austrag aus dem Deponiekörper, bei dem die Deponiesohle im Grundwasser liegt
- 3: Die Kurve zeigt deutlich erhöhte Leitfähigkeiten des Grundwassers unterhalb der Deponie
- 4: Im weiteren Abstrom ist das tiefere Absinken des belasteten Grundwassers zu erkennen.
(guter Standort zum Errichten einer Abstrommessstelle mit Filterstrecken in den als belastet erkannten Teufenbereichen)



Fallbeispiel: LF-Drucksondierung mit Formationsleitfähigkeit und Wasserleitfähigkeit



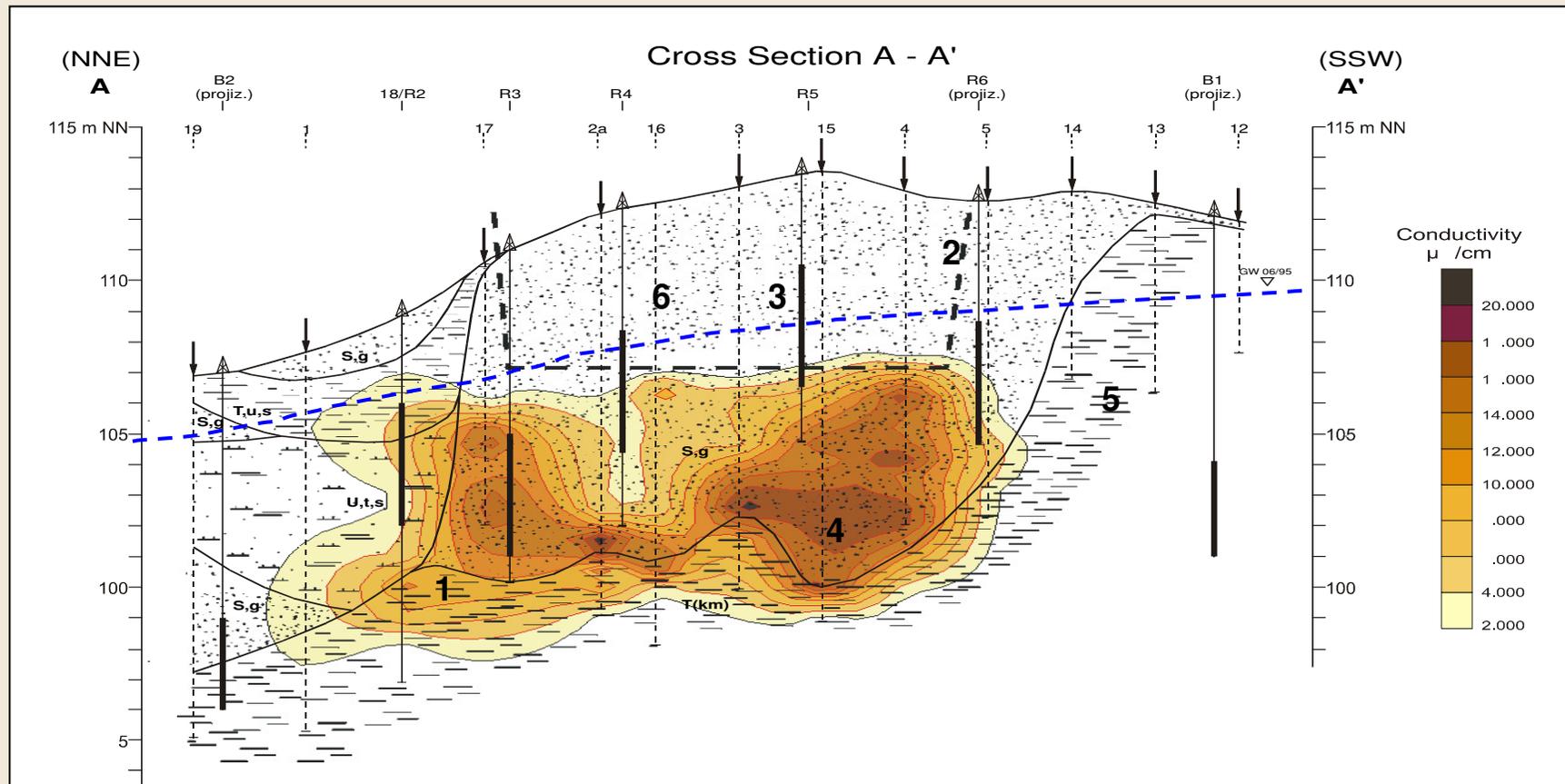
Kontaminiertes Sickerwasser an der Basis der Auffüllungsschicht

Anstieg der Leitfähigkeit beim Übergang in die gesättigte Bodenzone

Besonders hohe Leitfähigkeiten in Kiesschicht an der Basis des Grundwasserleiters

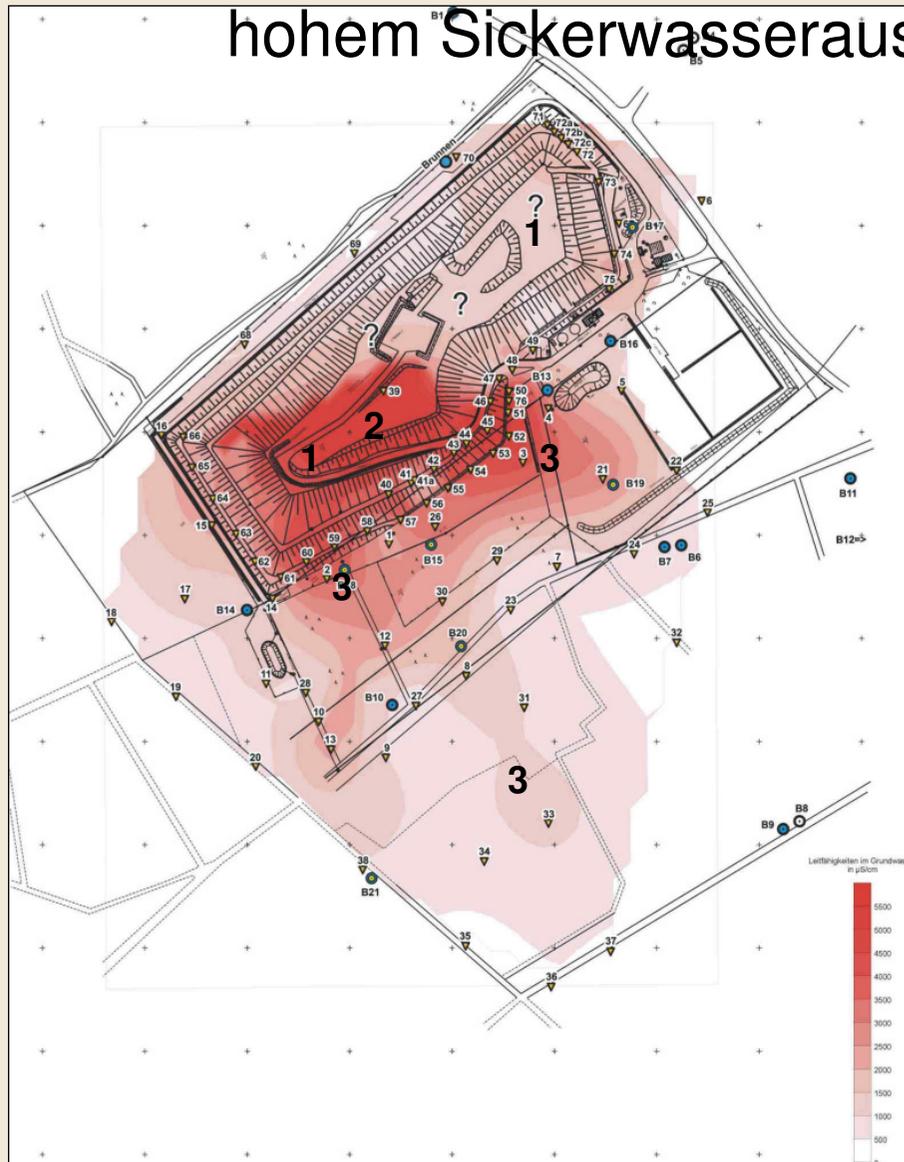


Fallbeispiel: LF-Querprofil im Abstrom einer Deponie mit hohem Salzaustrag in das Grundwasser



- 1: Basis des quartären Grundwasserleiters mit ausgeprägter Morphologie
- 2: Deponieausdehnung (projiziert)
- 3: Vorhandene, ungeeignet verfilterte Grundwassermessstellen
- 4: Hohe elektrische Leitfähigkeiten des Grundwassers im Abstrom der Deponieanlage.
Die belasteten Bereiche entsprechen der Quartärbasis.
- 5: Unbelasteter Keuperton als Grundwasserstauer
- 6: Leitfähigkeitsdrucksondierungen

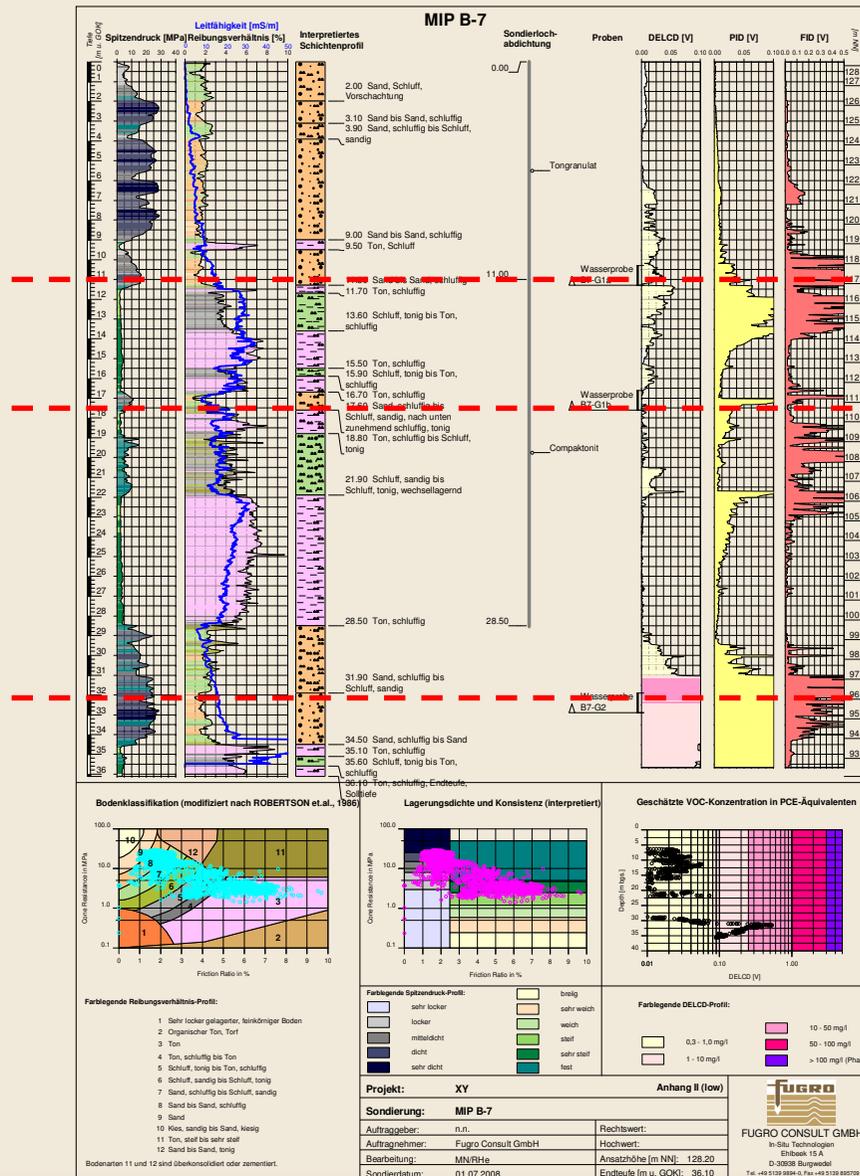
Fallbeispiel: Horizontalverteilung der elektr. Leitfähigkeit im Abstrom einer Deponie mit hohem Sickerwasseraustrag in das Grundwasser



- 1: Deponiekörper
- 2: Bereiche erhöhter Leitfähigkeit im Deponiesickerwasser
- 3: Abstrom kontaminierten Grundwassers von der Deponie



Fallbeispiel: Drucksondierung mit LF und MIP



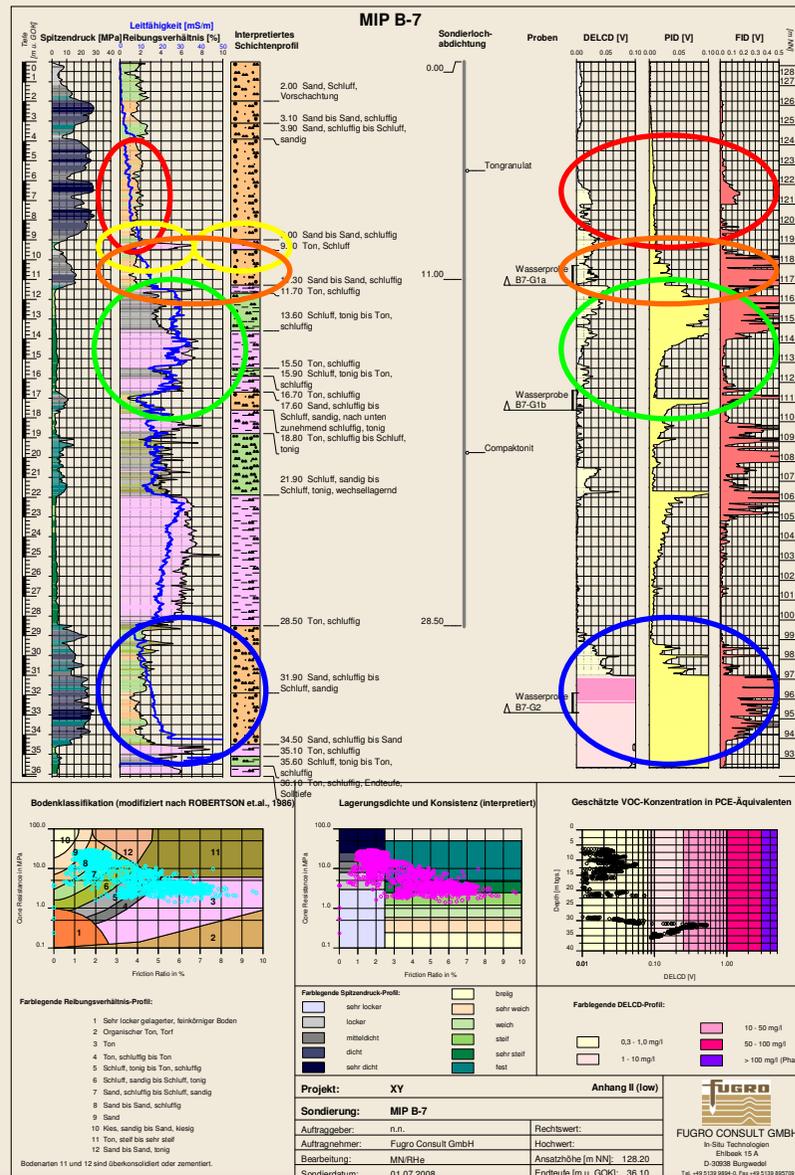
| | | |
|----------------------|------|---------------|
| Summe BTEX | mg/l | 5,4810 |
| Summe LCKW | mg/l | 0,0680 |
| Summe Chlorbenzole | mg/l | 0,2905 |
| Summe Dichlorbenzole | mg/l | 0,0305 |
| Summe HCH | mg/l | 0,0120 |

| | | |
|----------------------|------|---------------|
| Summe BTEX | mg/l | 4,9520 |
| Summe LCKW | mg/l | 0,1970 |
| Summe Chlorbenzole | mg/l | 1,6206 |
| Summe Dichlorbenzole | mg/l | 0,1306 |
| Summe HCH | mg/l | 0,0654 |

| | | |
|----------------------|------|----------------|
| Summe BTEX | mg/l | 1,4800 |
| Summe LCKW | mg/l | 2,1210 |
| Summe Chlorbenzole | mg/l | 10,7890 |
| Summe Dichlorbenzole | mg/l | 0,6090 |
| Summe HCH | mg/l | 0,4595 |



Fallbeispiel: Drucksondierung mit LF und MIP



Nach CPT wird der Sand nach unten zunehmend grober, nach LF tendenziell eher feinkörniger
Möglicher Einfluss von Kontaminationen

Nach CPT lokaler Stauer (Tonschicht), wird nach LF nicht erkannt

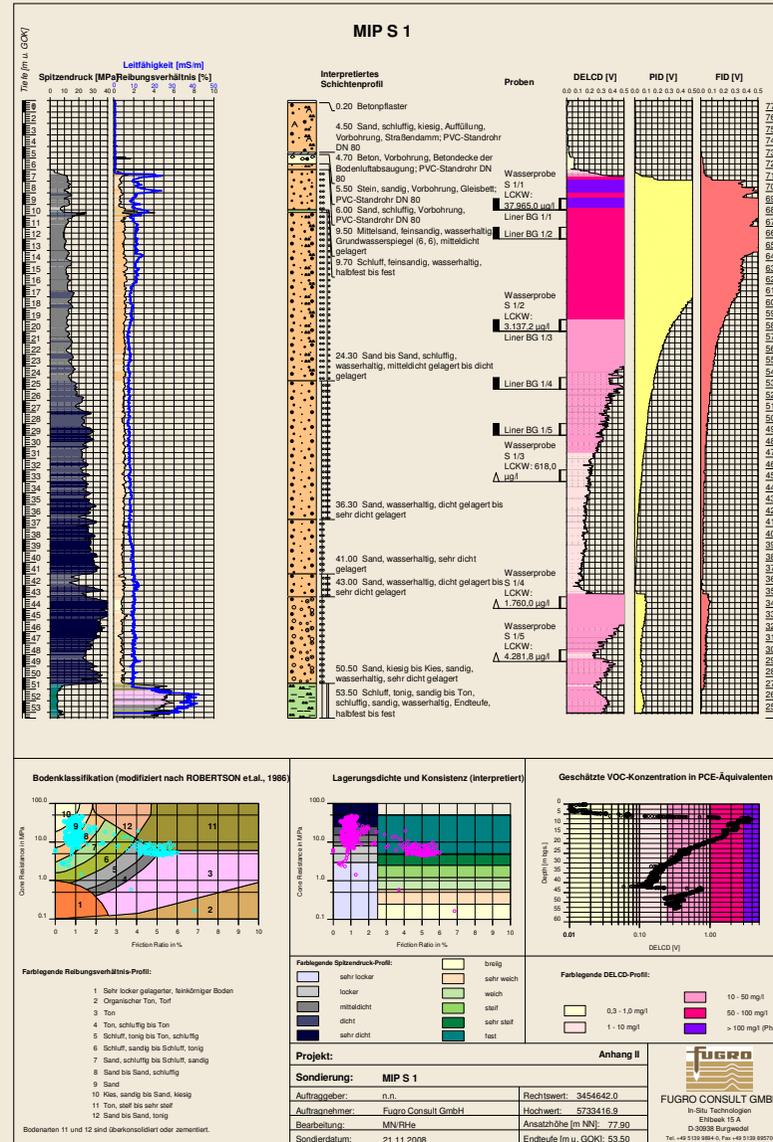
Nach CPT wird der Sand nach unten zunehmend grober, nach LF tendenziell eher feinkörniger
Möglicher Einfluss von Kontaminationen

Nach CPT zwei unterschiedliche Schichten, nach LF nicht aufgelöst
Möglicher Einfluss von Kontaminationen

Nach CPT wird der Sand nach unten zunehmend grobkörniger, nach LF tendenziell eher feinkörniger/schluffiger
Möglicher Einfluss von Kontaminationen

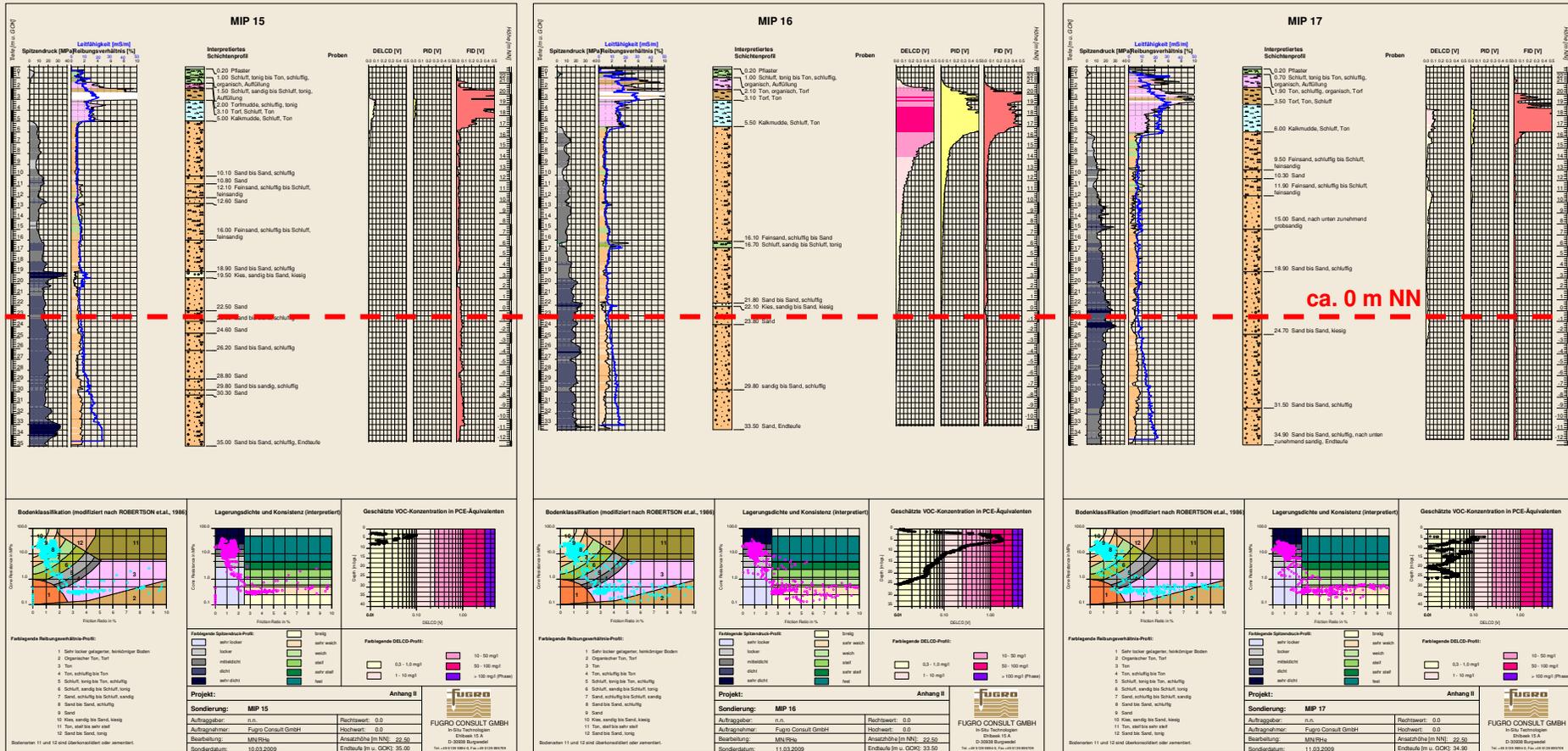


Fallbeispiel: LCKW-Anreicherung auf einem Liegendstauer - CPT, LF und MIP





Fallbeispiel: Querprofil mit CPT, LF und MIP





...vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

