

# **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, ...)

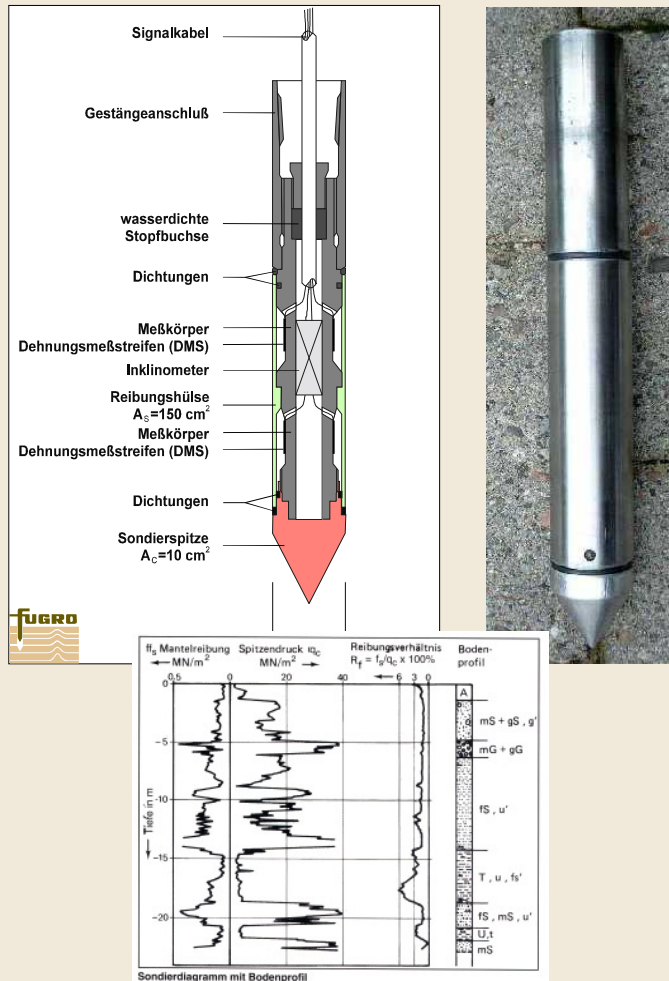
- **auch Rammkernsondierungen, Rammsondierungen, ....**



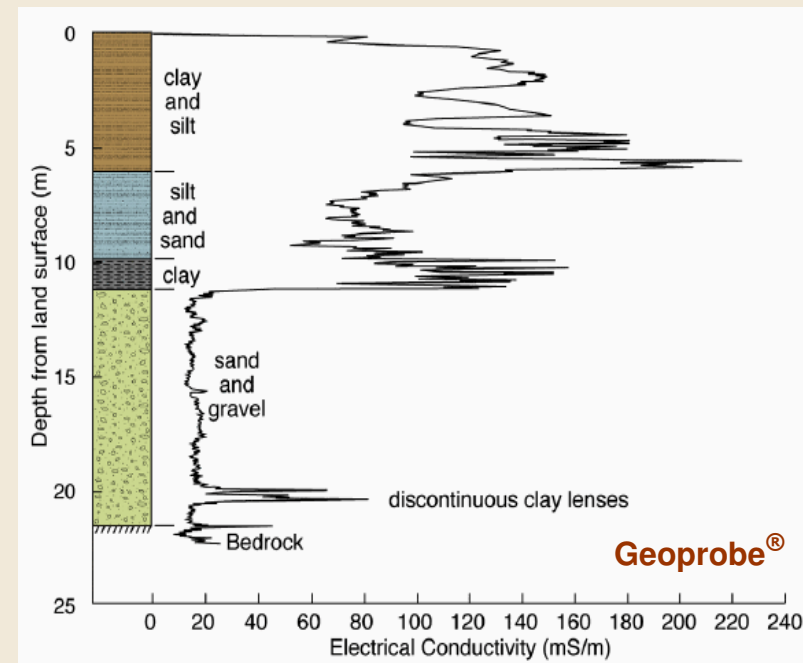


# Sensorsonden – Geologie/Lithologie

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

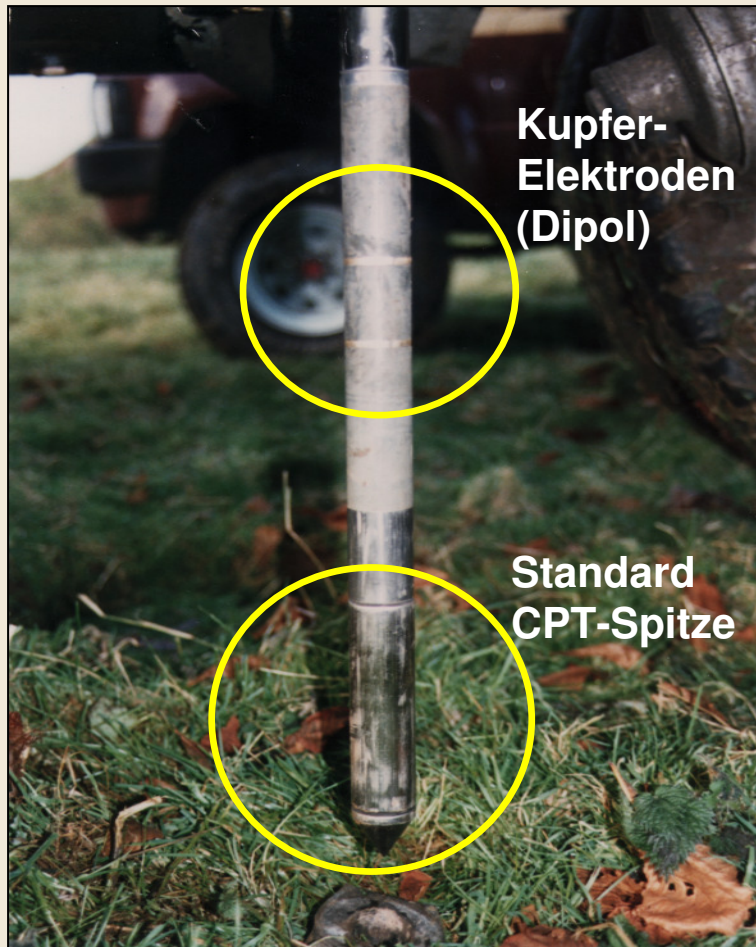


## EC (Electr. Conduct.) – Sonde: Elektrische Formationsleitfähigkeit

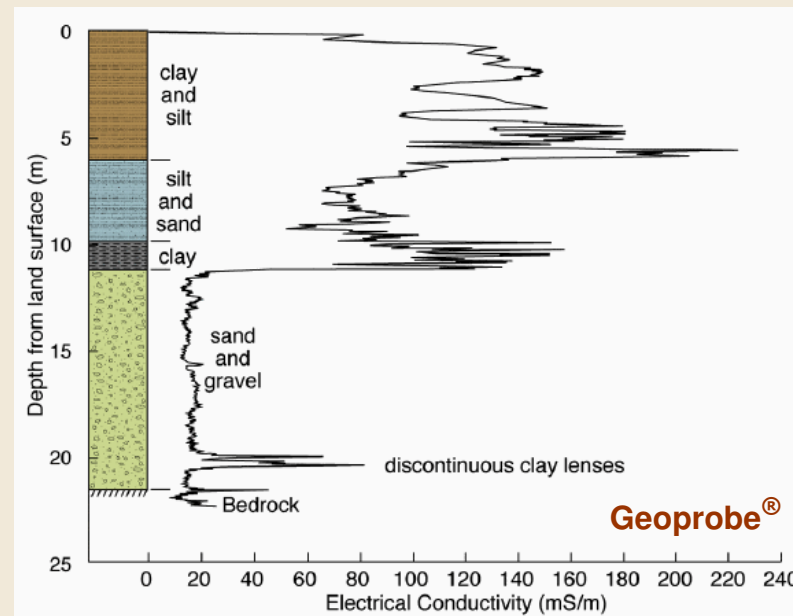


**EC = Electrical Conductivity  
(elektrische Leitfähigkeit)**

## 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  $\sigma_m$ ) 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.**



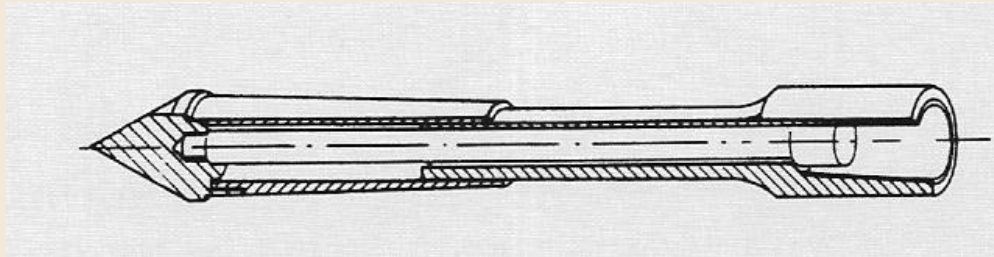
# Beispiele für Leitfähigkeit einiger Materialien

Material	$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$\sigma$ [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)



# Mechanische Drucksondierung

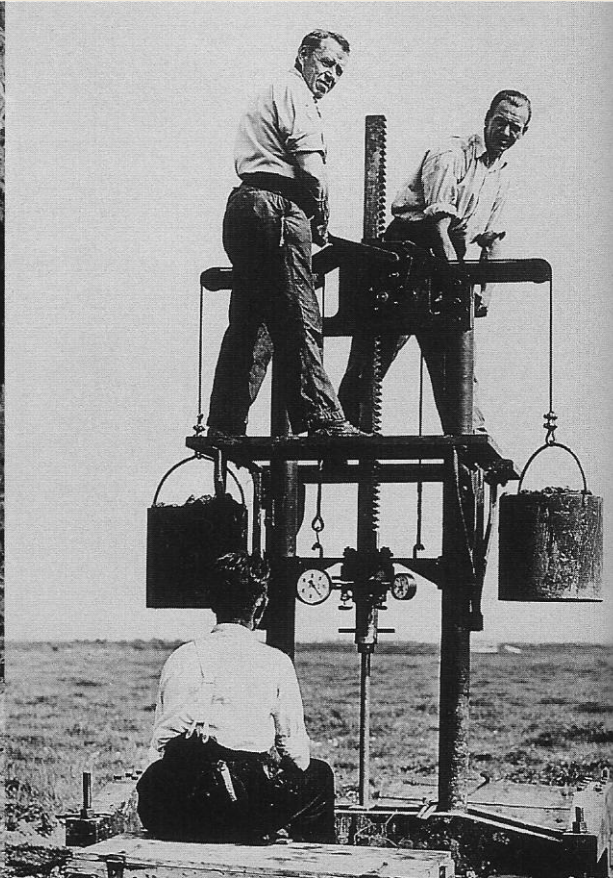


Barentsen´s hand CPT (1962)





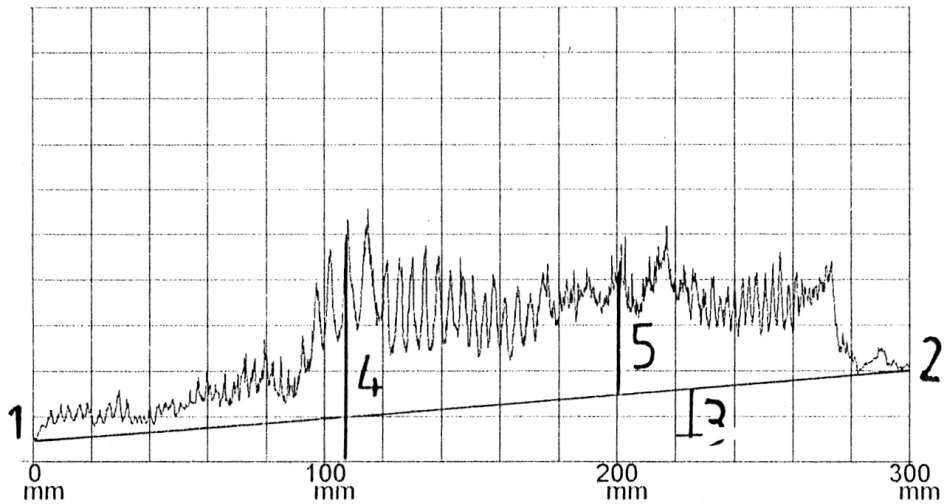
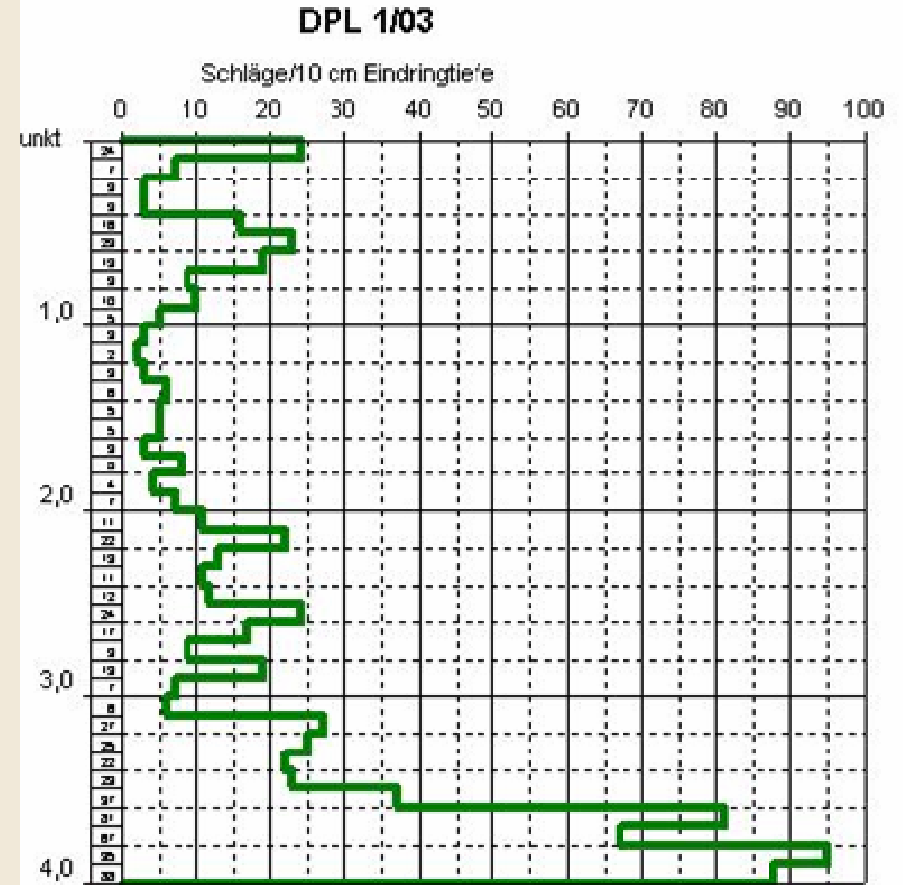
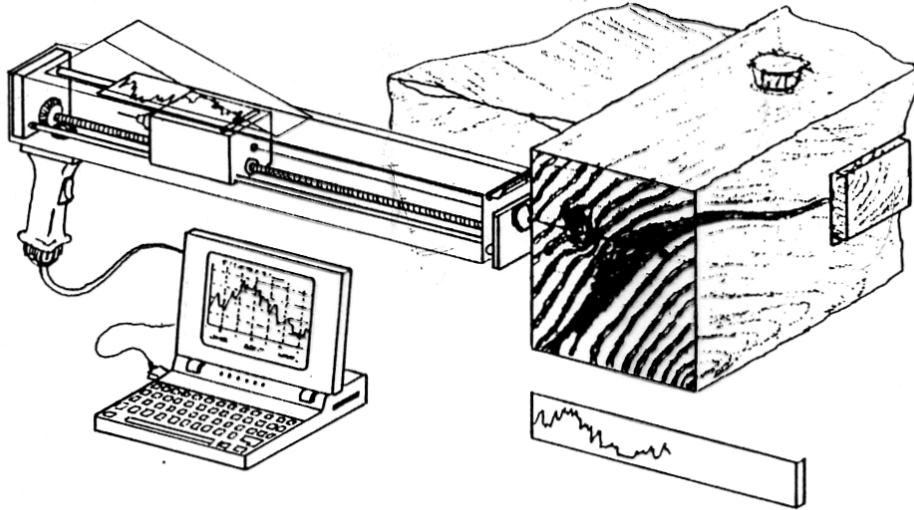
2-ton CPT (1962)



10-ton CPT (1962)



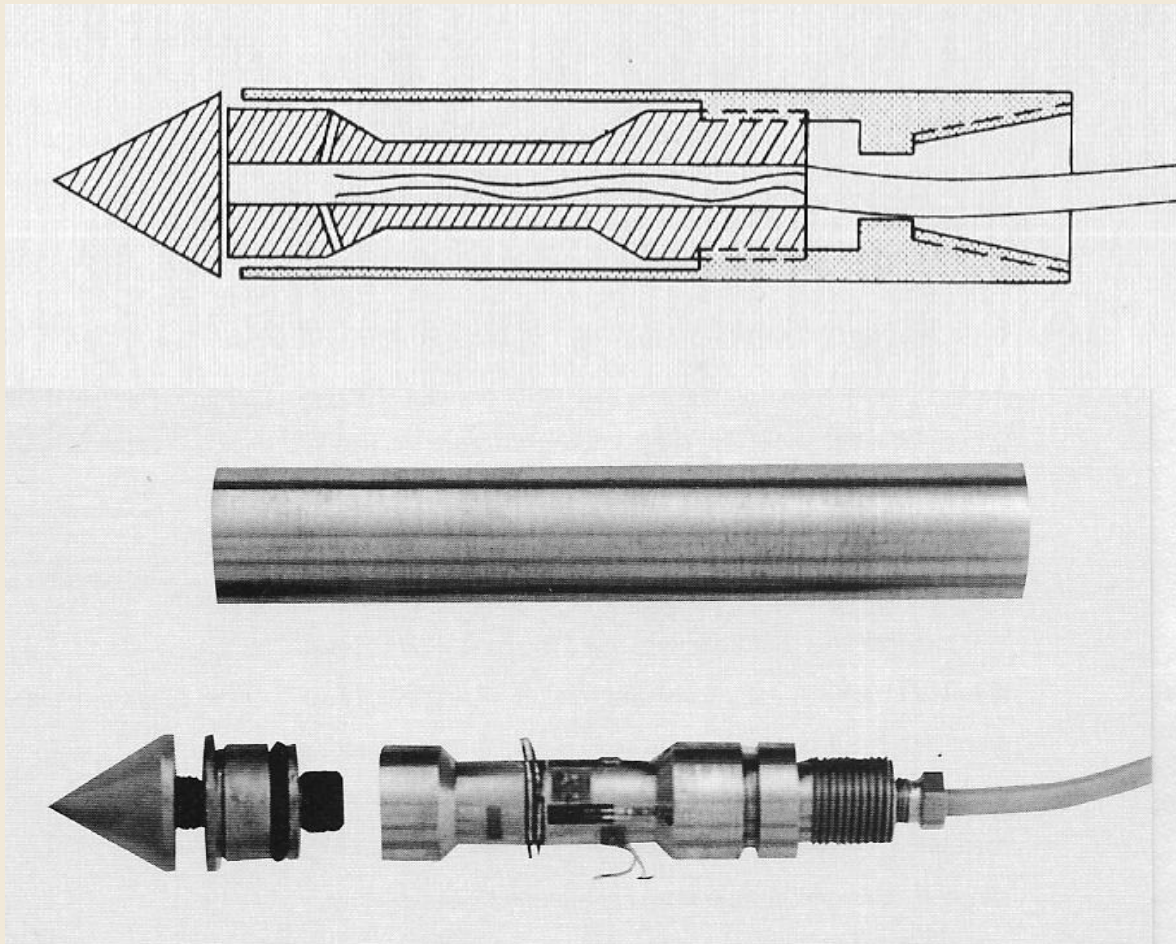
# CPT – Verfahren / Prinzip



Rammsonde

Densitomat







**Eindrücken einer Sondierspitze (hydraulisch) in den Boden**

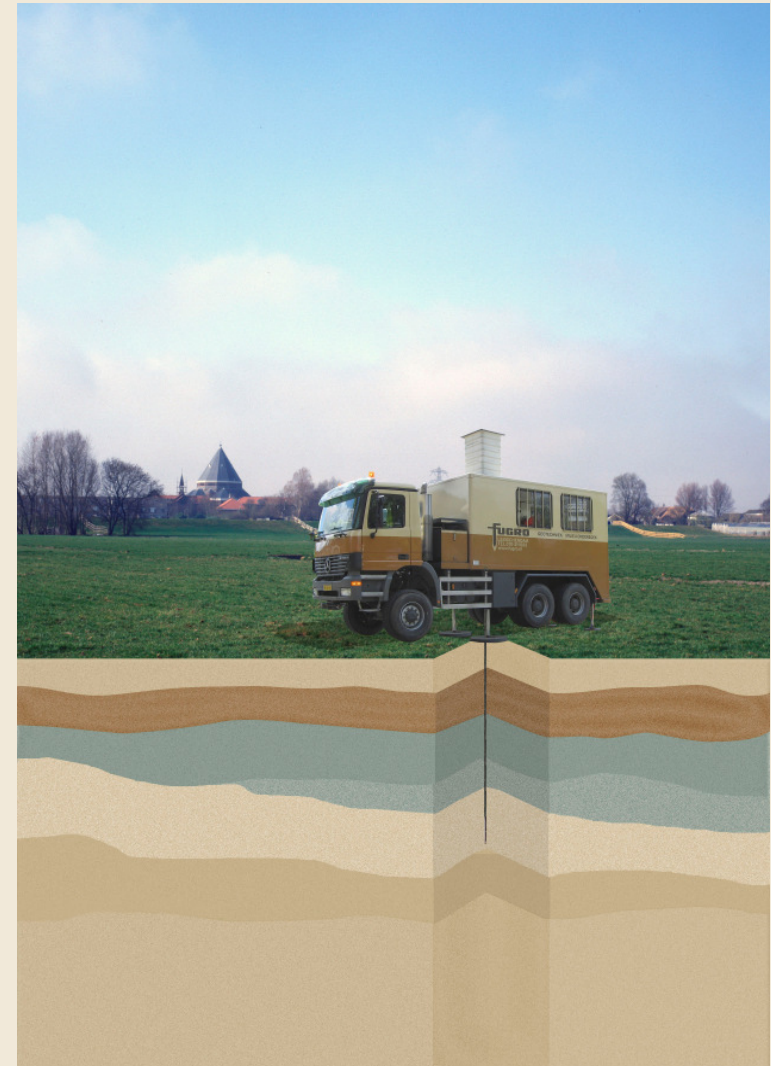
**mit konstanter Geschwindigkeit von 2 cm/sec**

**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 <b>Felduntersuchungen</b> Teil 1: Drucksondierungen		<b>DIN</b> 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		<b>DIN</b>
ICS 93.020	Einsprüche bis 2005-05-31 Vorgesehen als Ersatz für DIN 4094-1:2002-06	
<b>Entwurf</b>		
<b>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</b>		

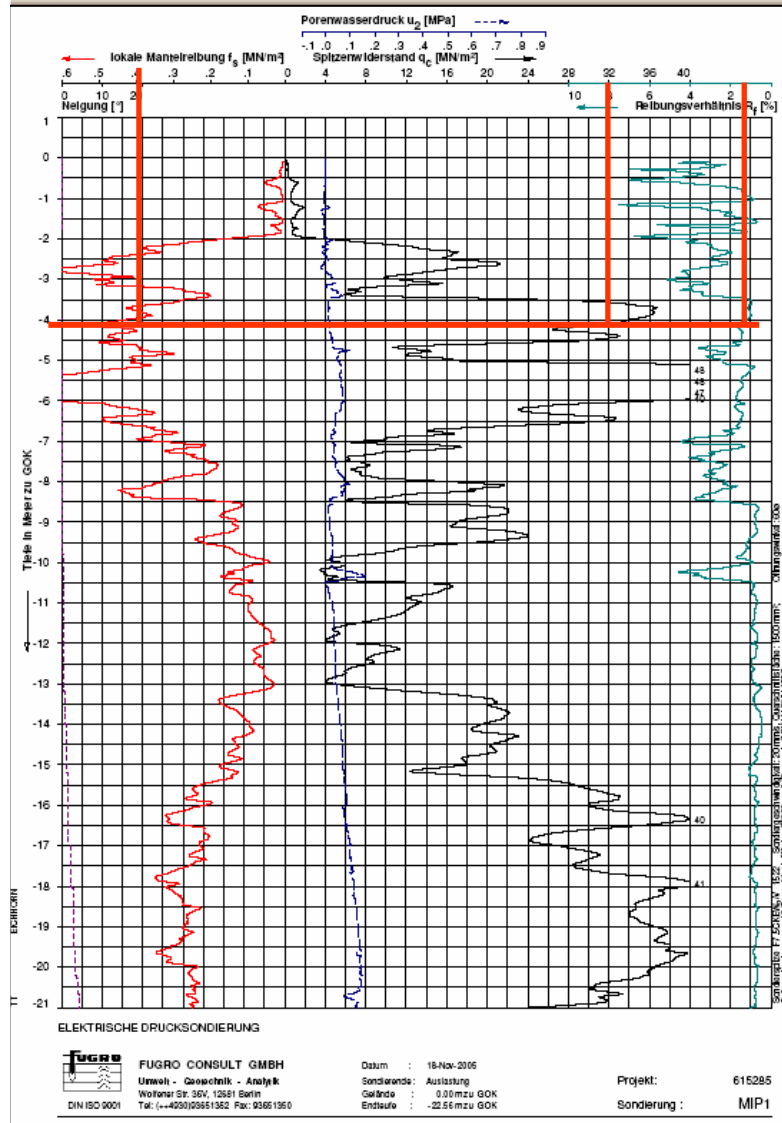


## Guide to cone penetration testing on shore and near shore

J J M Brouwer

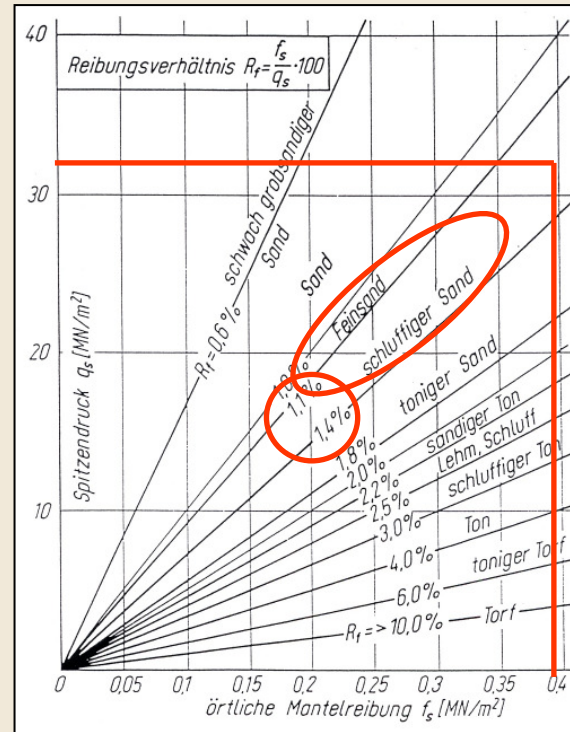


# Sondierdiagramm und Ableitung des Bodenaufbaus



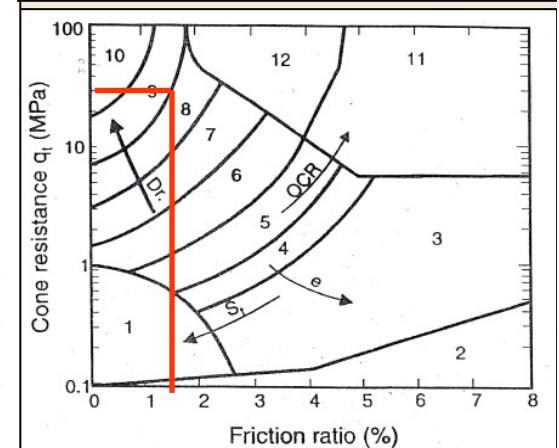
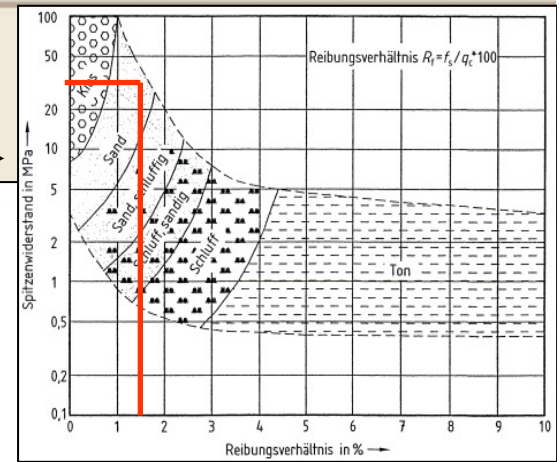
Sondierdiagramm

## 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:**

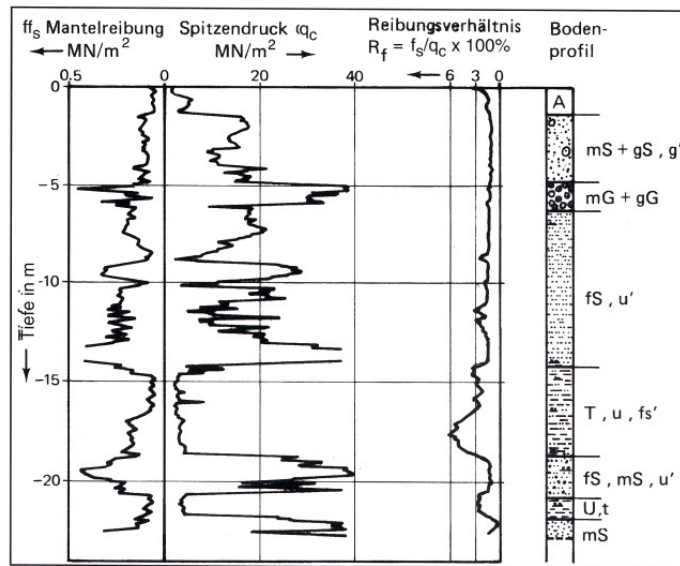
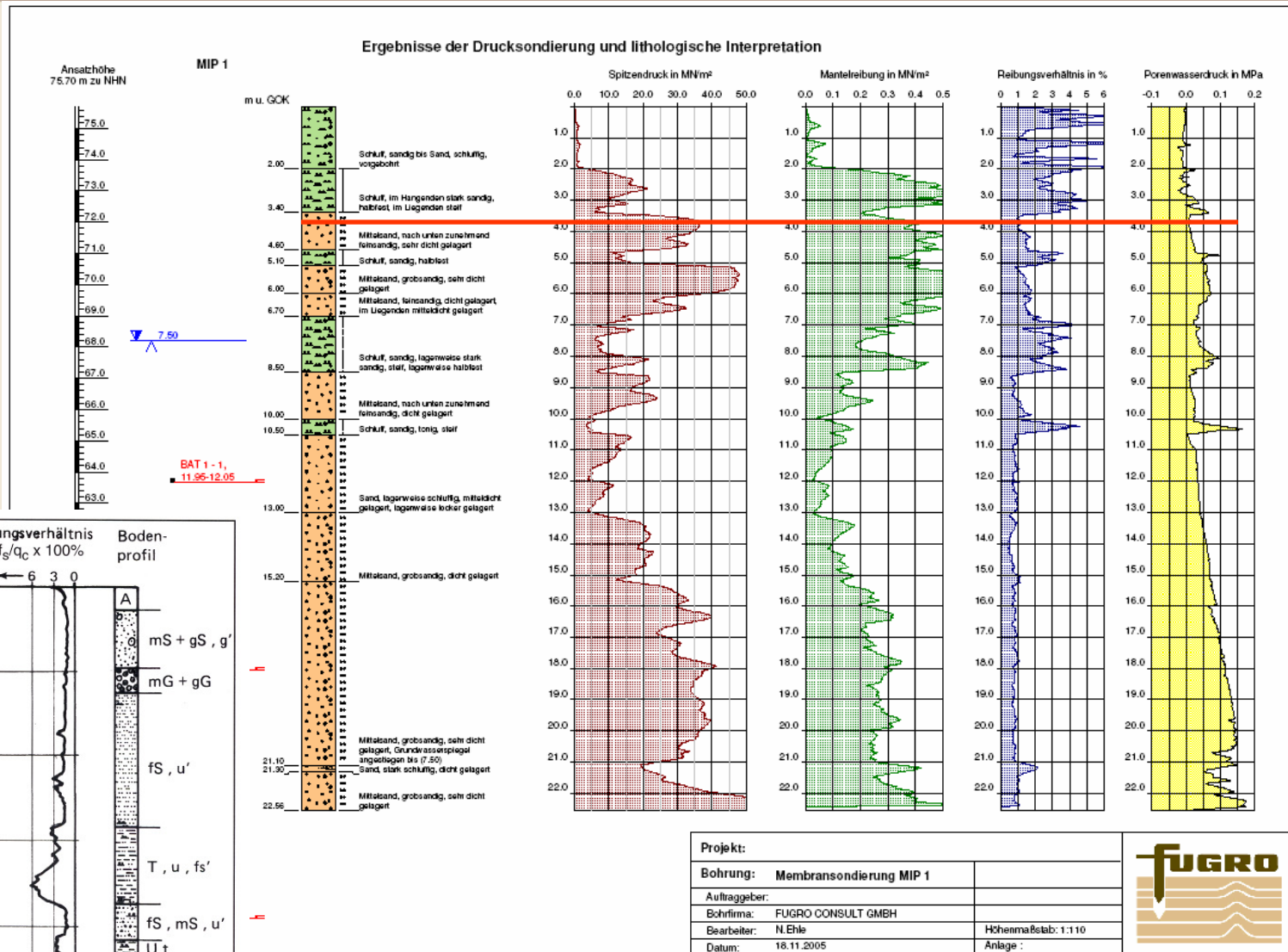
1 Empfindlicher feinkörniger Boden	2 Organisches Material
3 Ton	4 Ton, schluffig bis Ton
5 Schluff, tonig bis Ton, schluffig	6 Schluff, sandig bis Schluff, tonig
7 Sand, schluffig bis Schluff, sandig	8 Sand bis schluffiger Sand
9 Sand	10 Sand, kiesig bis Sand
11 Sehr steife Konsistenz und feinkörnig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

Bodenart 11 und 12 sind überkonsolidiert oder zementiert





# Lithologische Interpretation



**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**

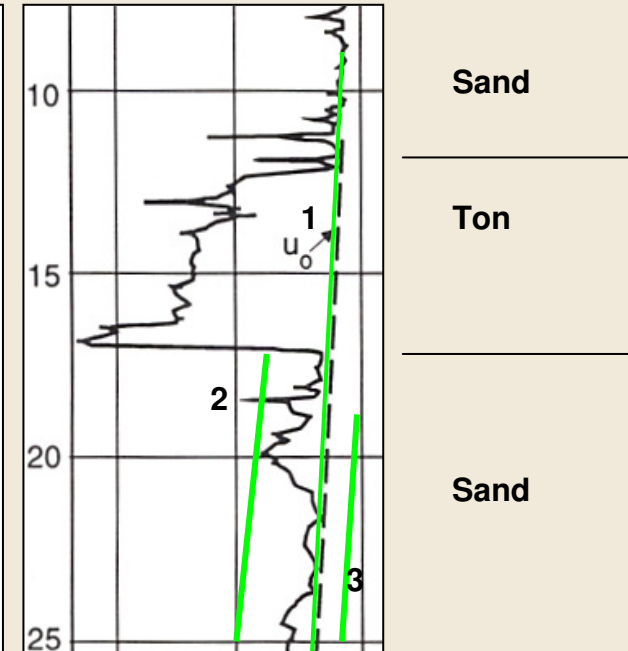
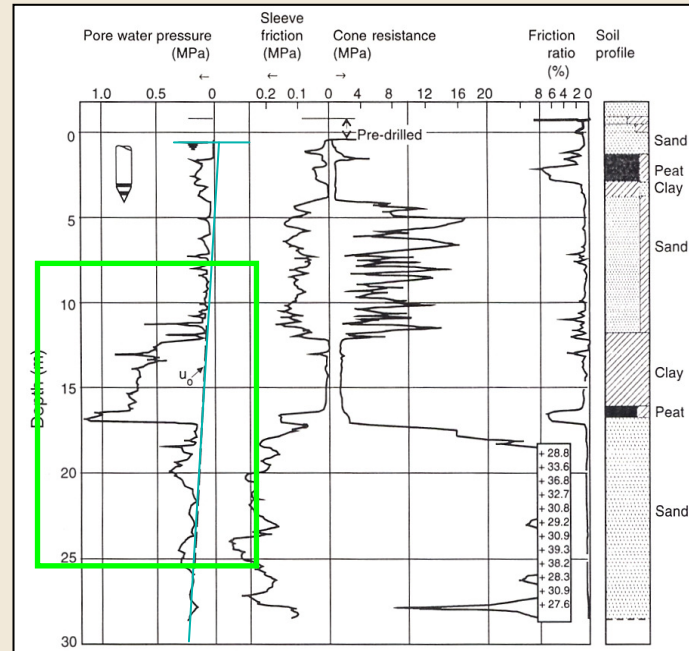
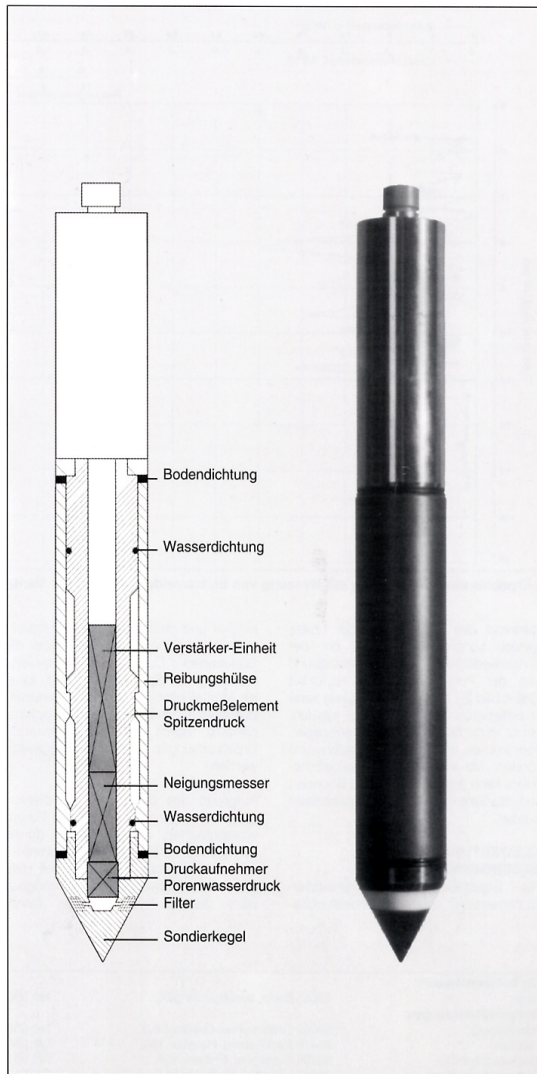


**CPTU = Pore Pressure Cone  
Penetration Testing  
(Porenwasserdrucksondierung)**





# Porenwassermessung und -auswertung



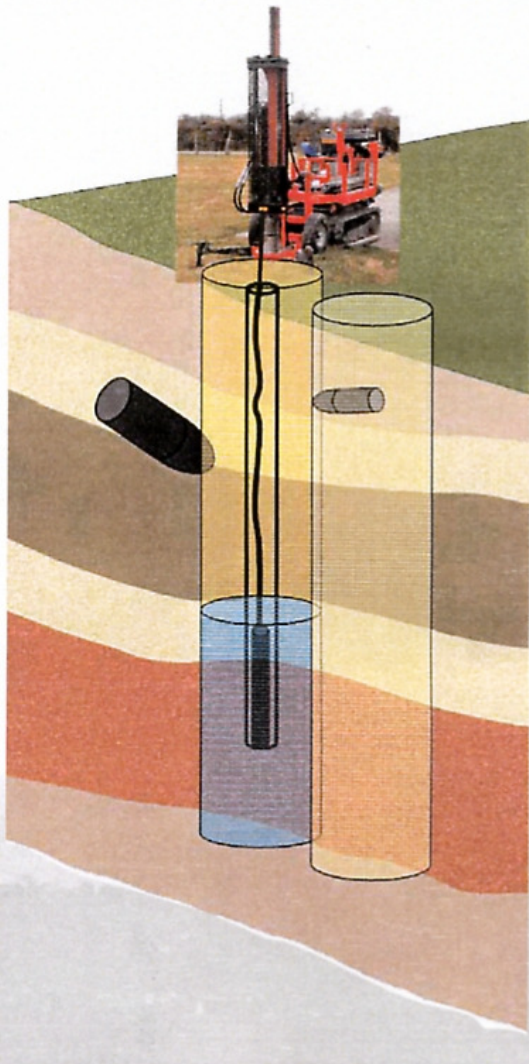
**Beispiel einer CPTU Sondierung nach Cone Penetration Testing in geotechnical practice – Lunne, Robertson, Powell**

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

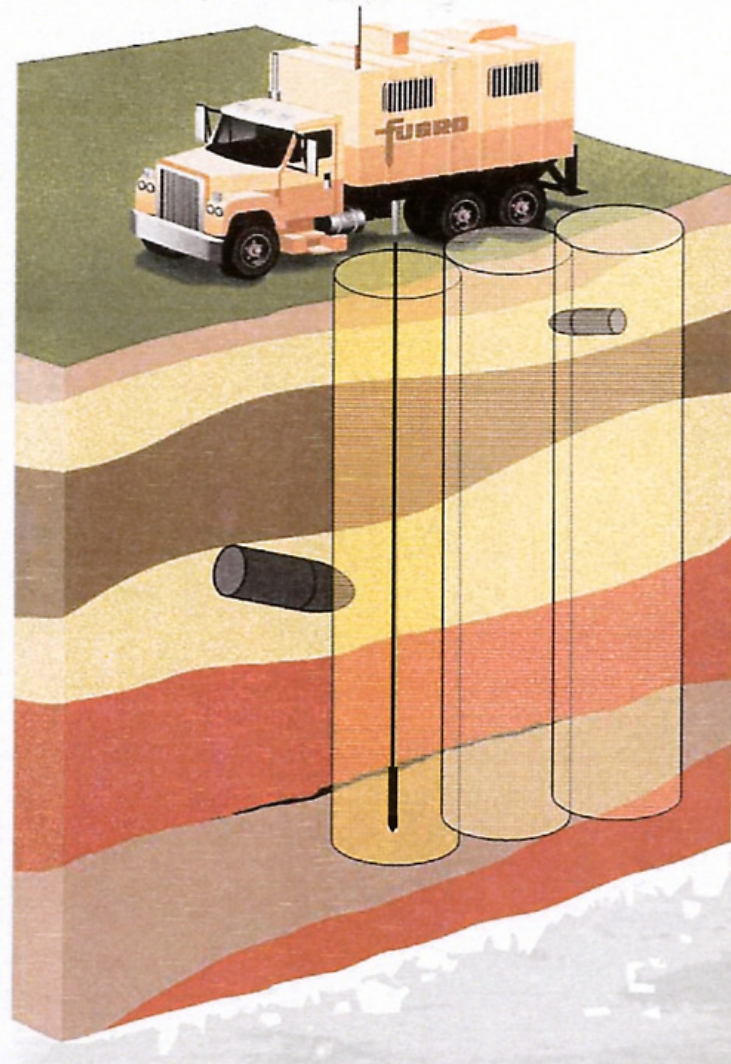
## Porenwasserdruckspitze



# Magnetometersonde (MagCone)



**Bohrung zur Kampfmittelsuche**

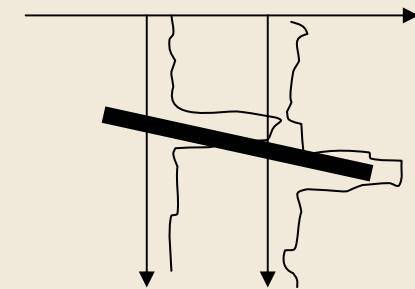


**Magnetometersonde zur Kampfmittelsuche**

**Sonstige  
Anwendungsmöglichkeiten:**

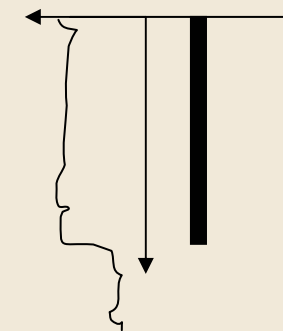
**Ortung von Ankerlagen**

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



**Ortung von Spundwänden**

- Ermittlung der Unterkanten







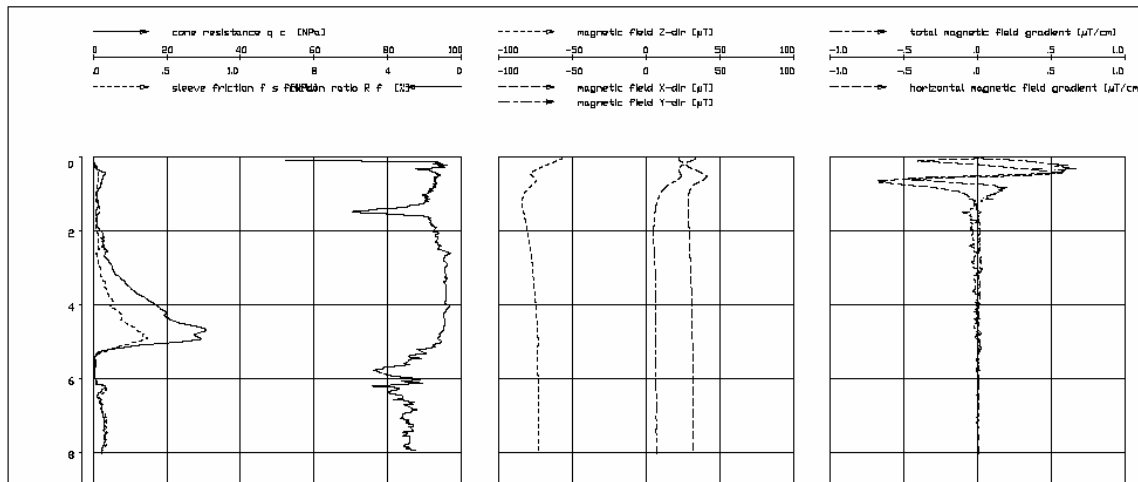
# MagCone - Anwendung und Auswertung



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)

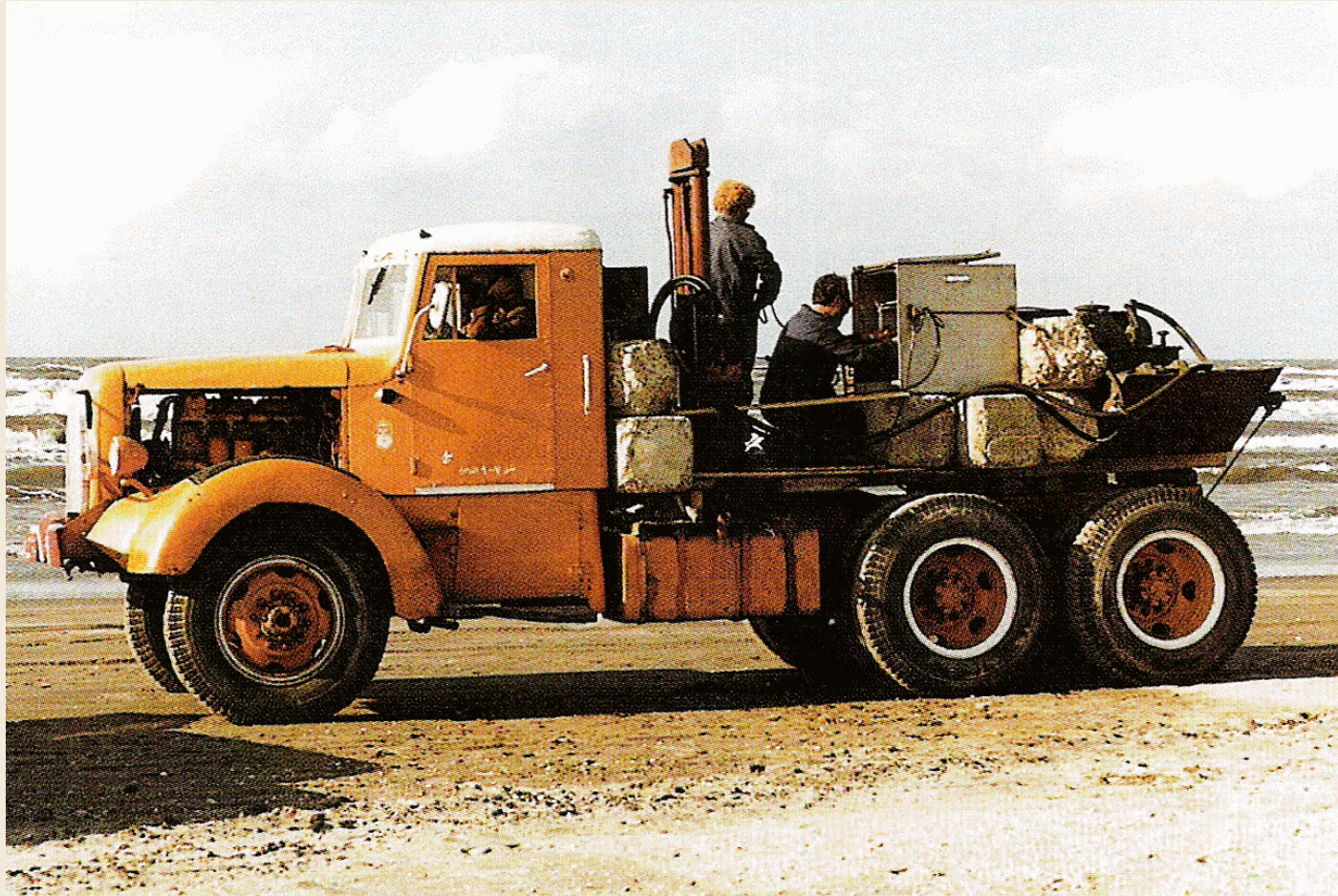






# Historische FUGRO-Drucksonden

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)







# Verschiedene Sondier-LKW's







# LKW's mit Sondierraupen





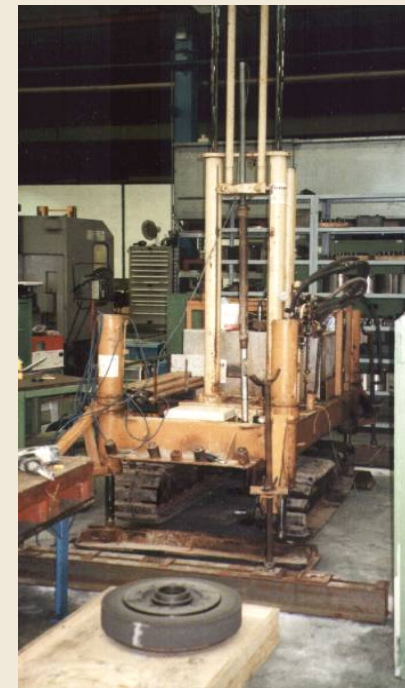
# Track-Trucks







# 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

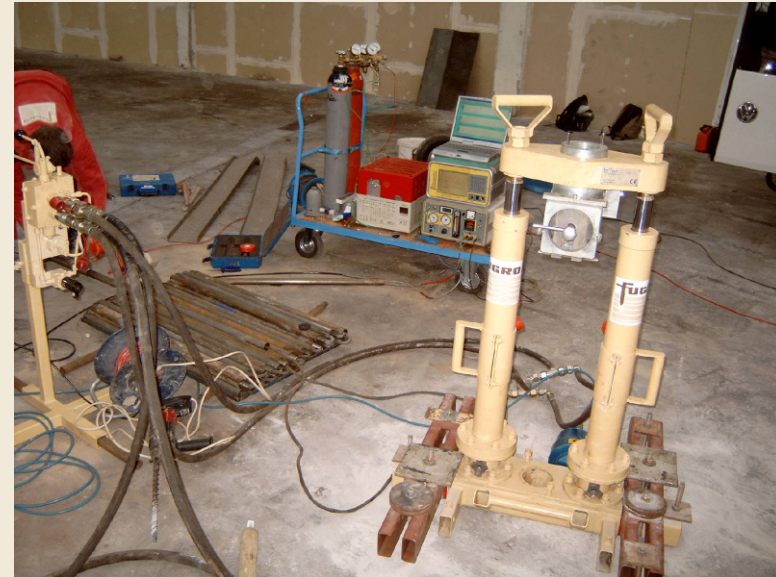




# Drucksondierungen mit losem Sondiergerät



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

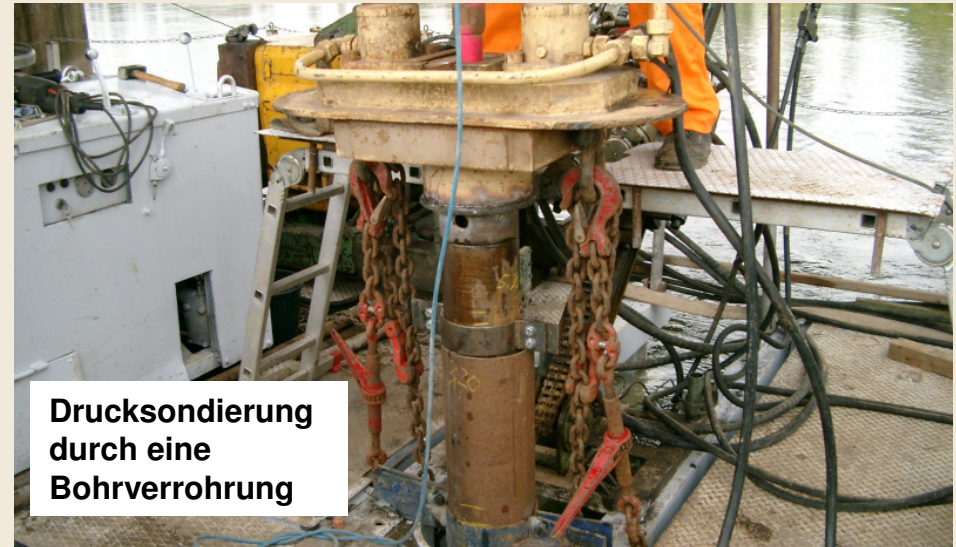




# Spezialeinsätze



**Ballastblockarbeiten  
auf der Elbe**



**Drucksondierung  
durch eine  
Bohrverrohrung**



**Bohrungen und  
Drucksondierungen  
an Brückenfeilern**



**Drucksondieren von der  
Plattform in der Nordsee**





# GEOPROBE-Sondiergeräte

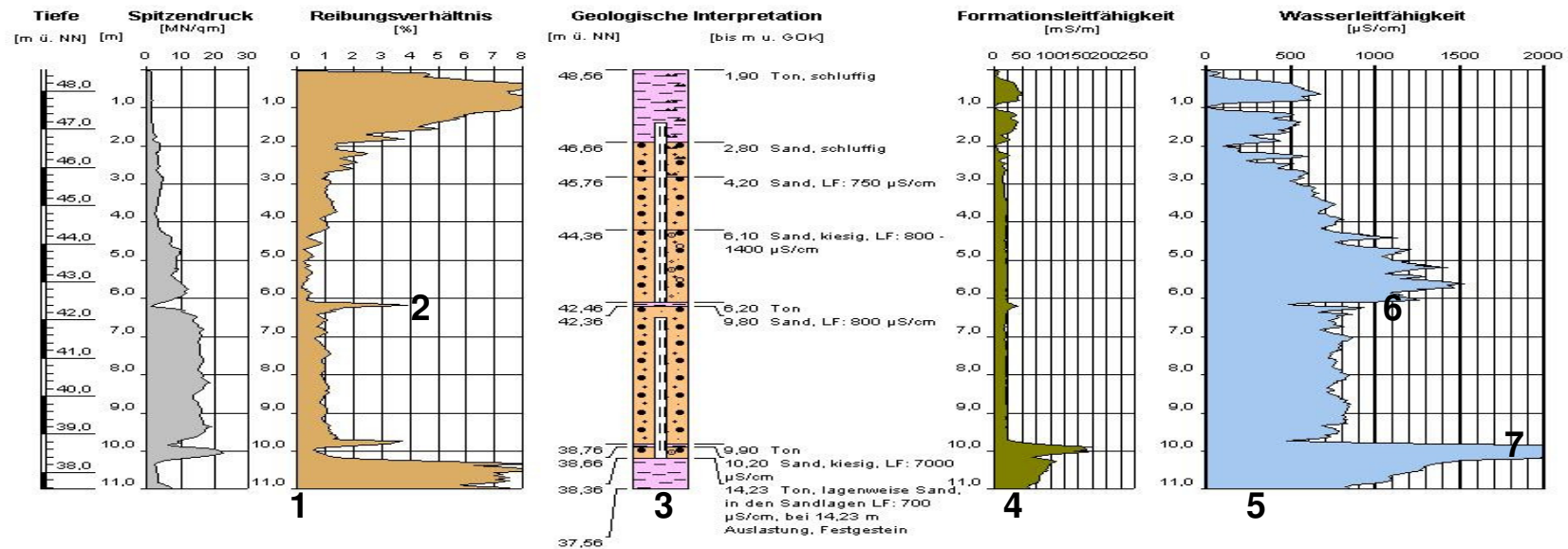




# Fallbeispiele



# Fallbeispiel: LF-Sondierung mit geologischer Interpretation und elektrischen Wasserleitfähigkeiten

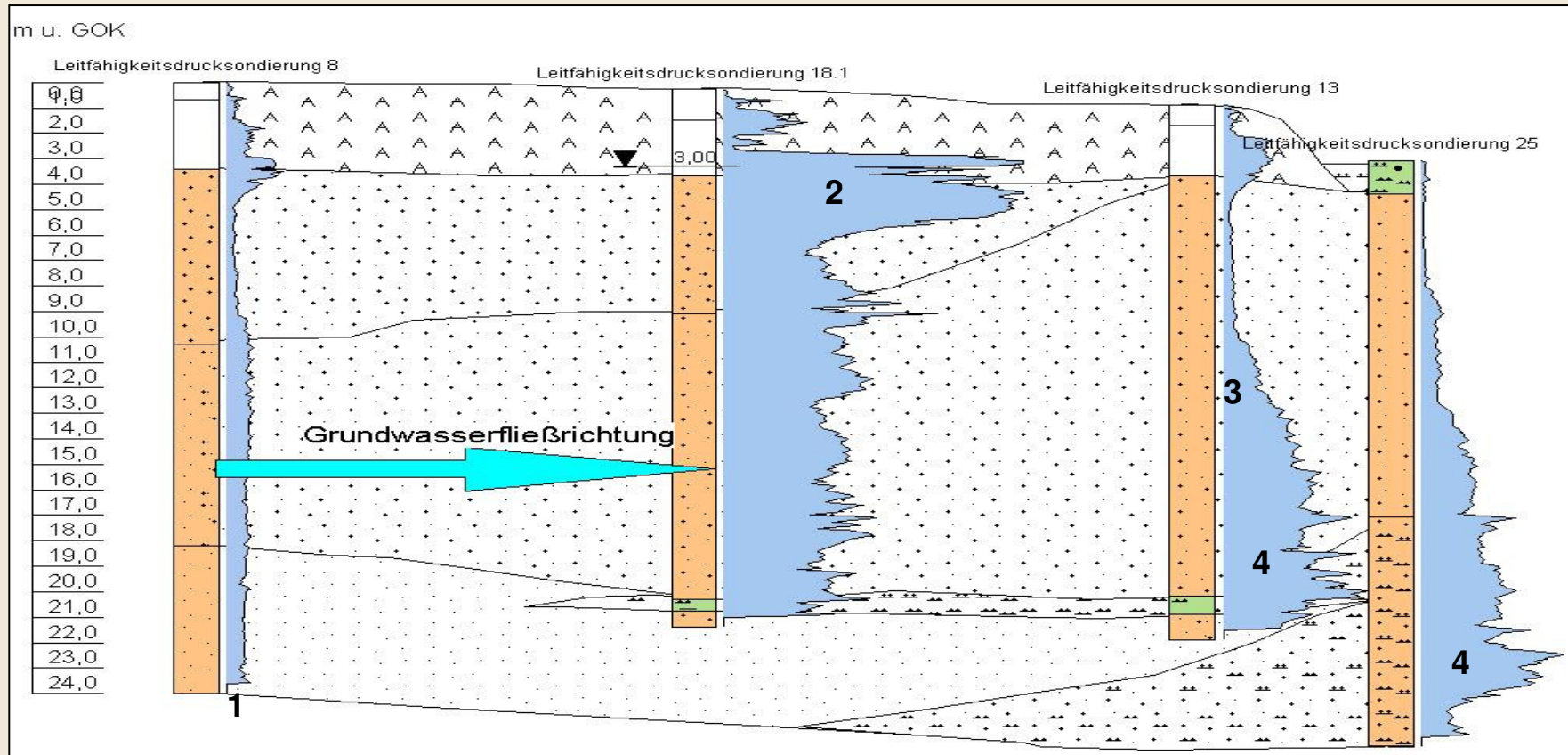


	FUGRO CONSULT GMBH Ehlbeck 15 A 30938 Burgwedel Telefon 05139 - 9894-0 Telefax 05139 - 895709	Geldarbeit am 25.06.2002 - 26.06.2002 Bearbeiter: Alexandra Corrao B Blatt 1 von 1 Zg.-Nr.: LF5-01	Ausdruck am 22.12.2003 Maststab: V 1:50 Format: A 4 Anhang 2	Titel: Grafische Darstellung der Sondierergebnisse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



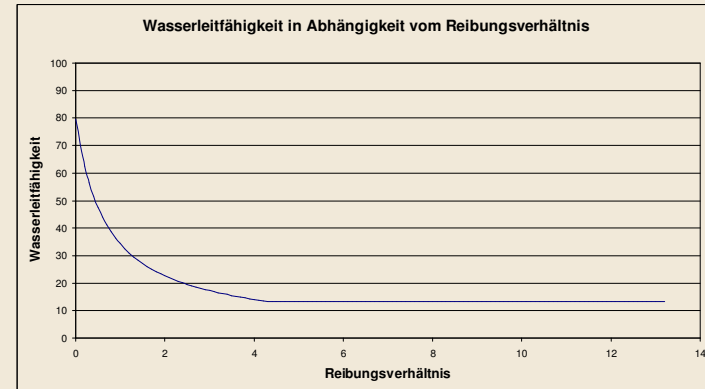
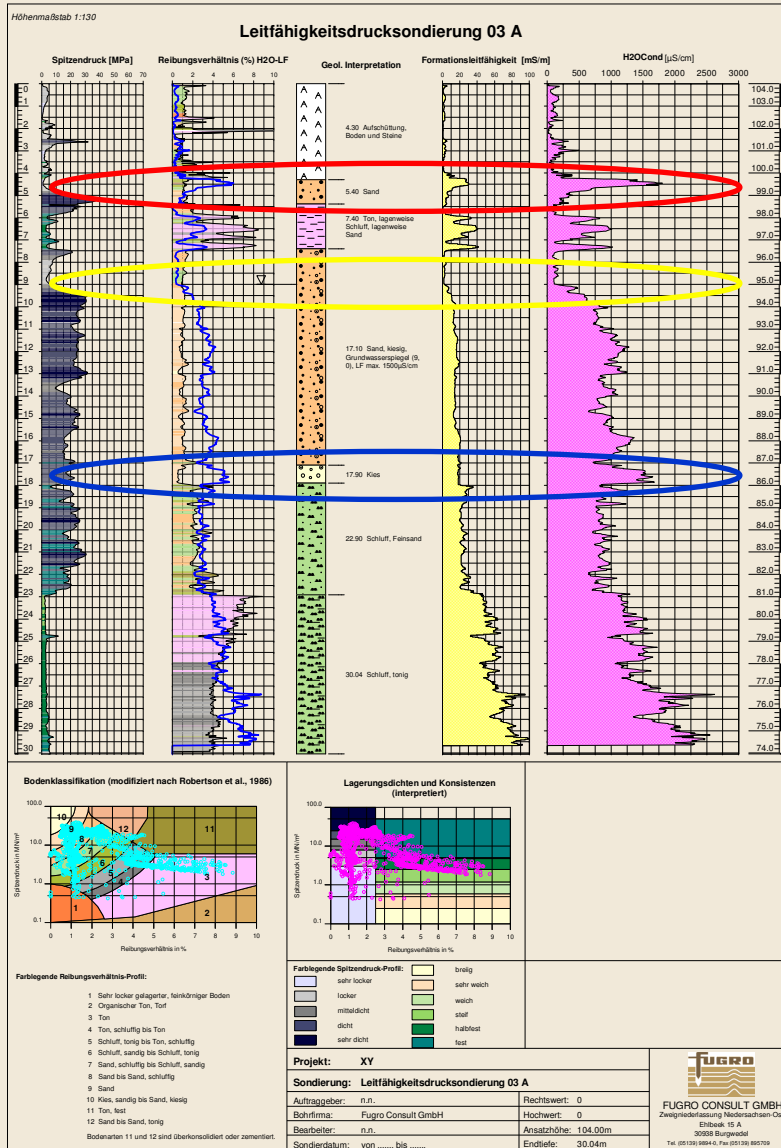
# Fallbeispiel: Profilschnitt mit LF-Drucksondierungen und elektrischen Wasserleitfähigkeiten



- 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

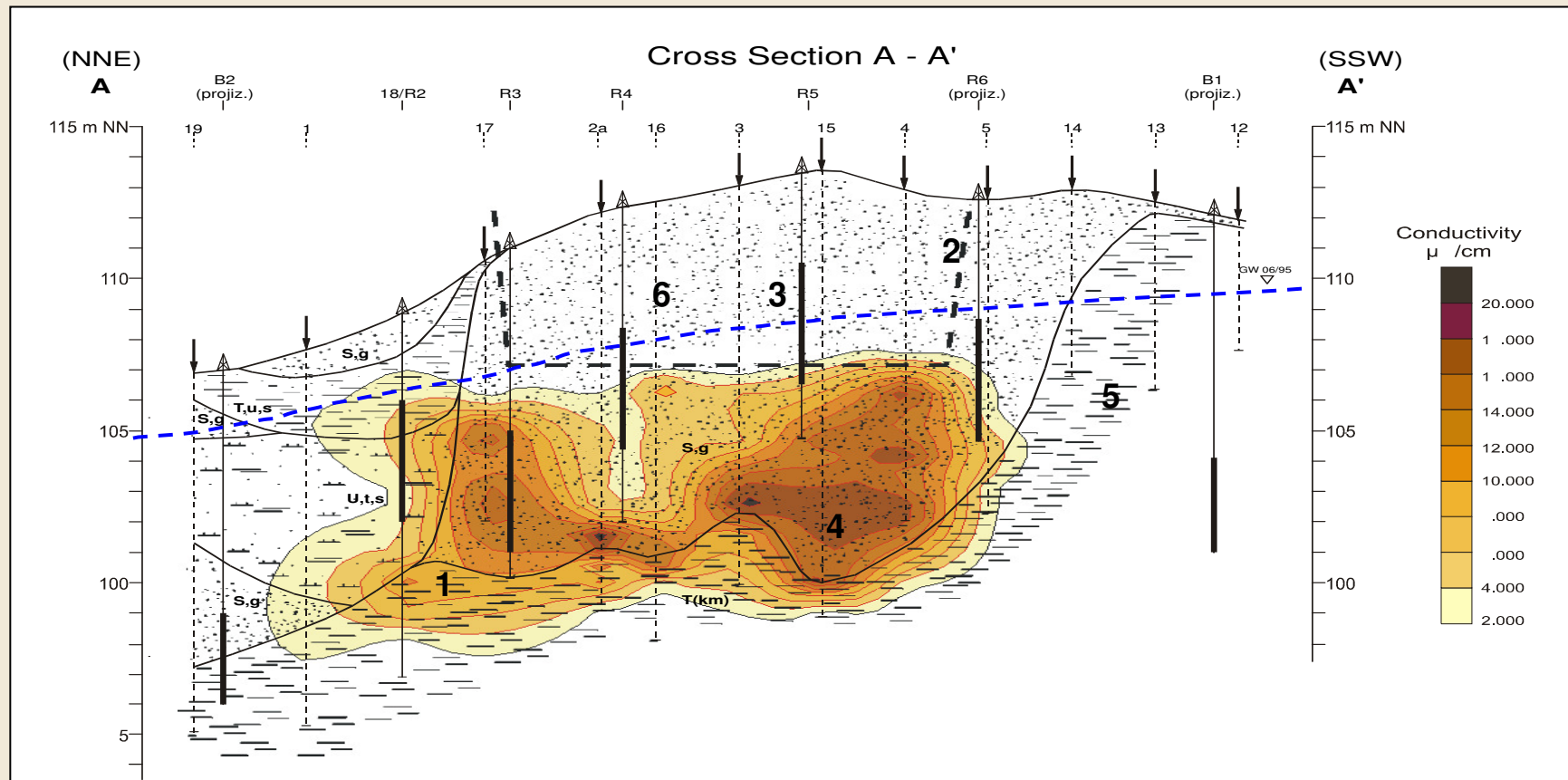
Anstieg der Leitfähigkeit beim Übergang in die gesättigte Bodenzone

Besonders hohe Leitfähigkeiten in Kiesschicht an der Basis des Grundwasserleiters



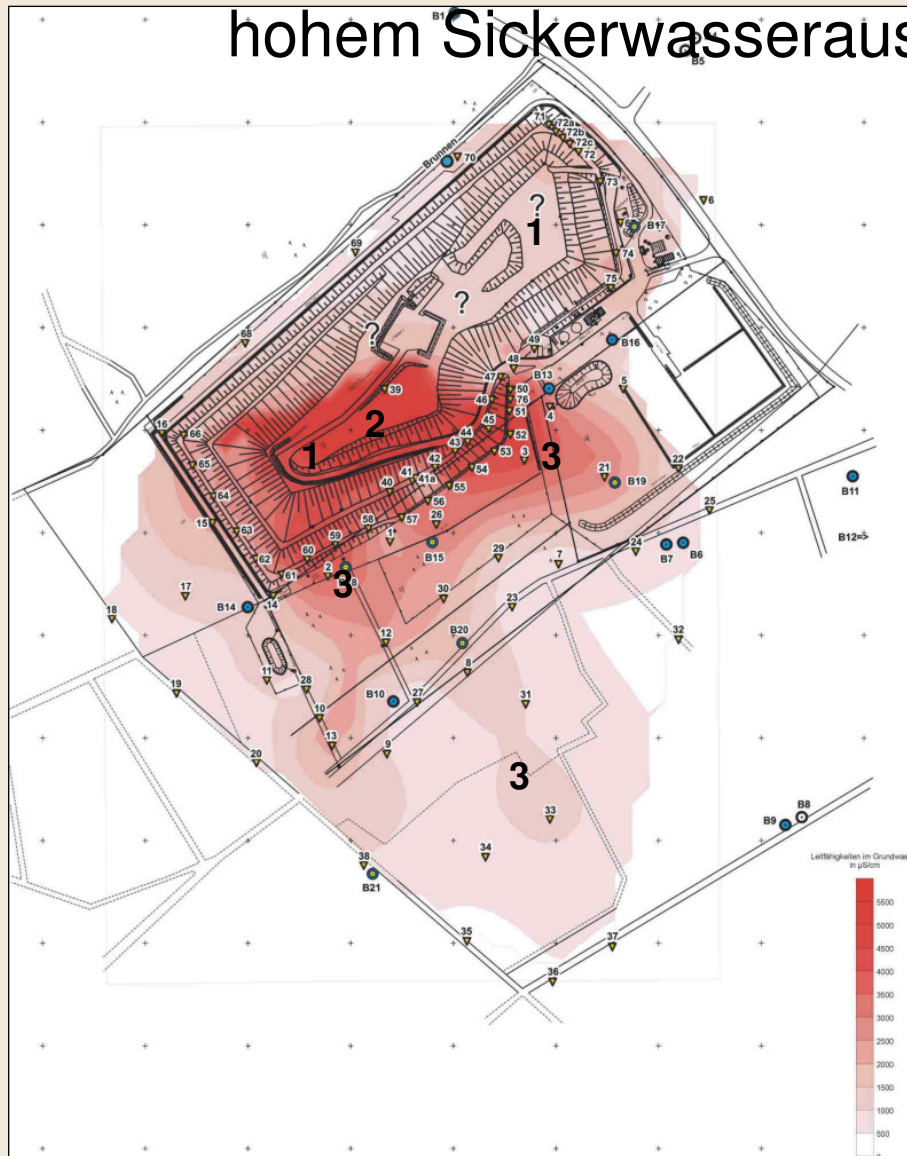


# Fallbeispiel: LF-Querprofil im Abstrom einer Deponie mit hohem Salzaustrag in das Grundwasser



- 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 Keuper-ton als Grundwasserstauer
- 6: Leitfähigkeitsdrucksondierungen

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

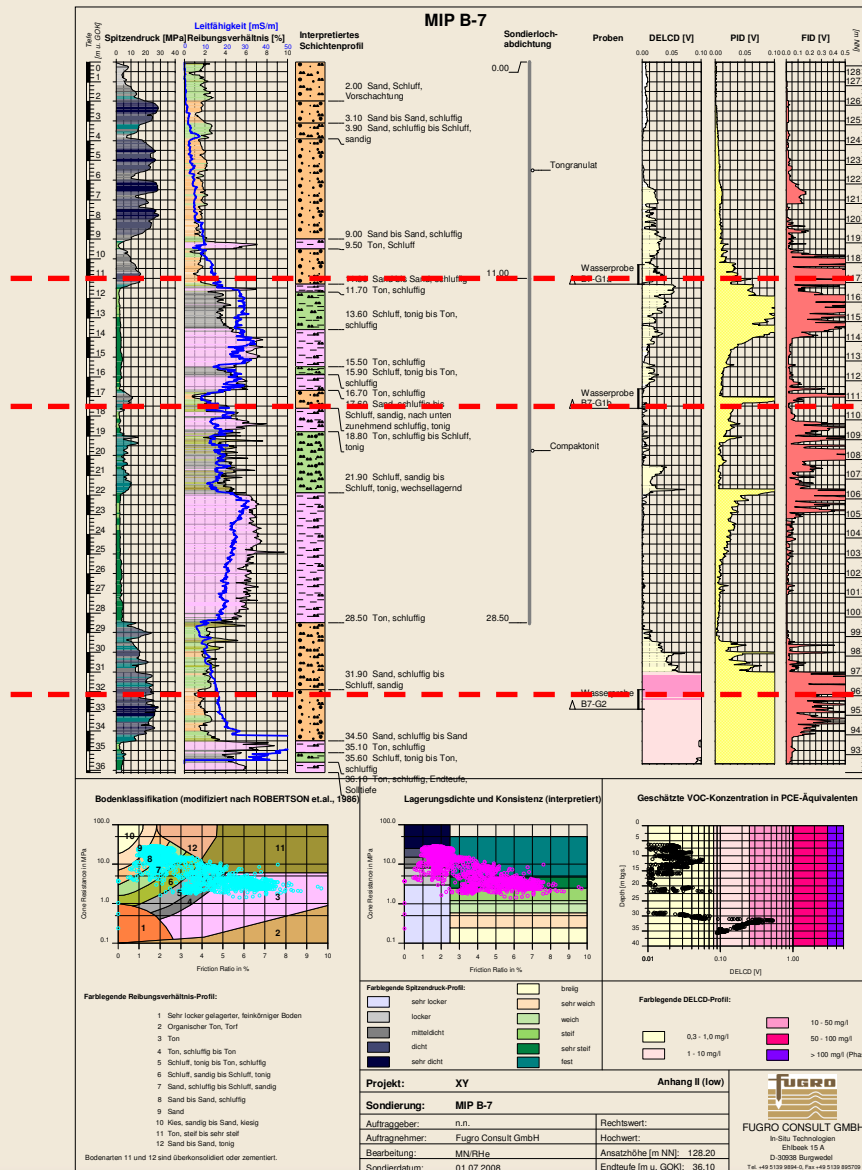


- 1: Deponiekörper
- 2: Bereiche erhöhter Leitfähigkeit im Deponiesickerwasser
- 3: Abstrom kontaminierten Grundwassers von der Deponie





# Fallbeispiel: Drucksondierung mit LF und MIP



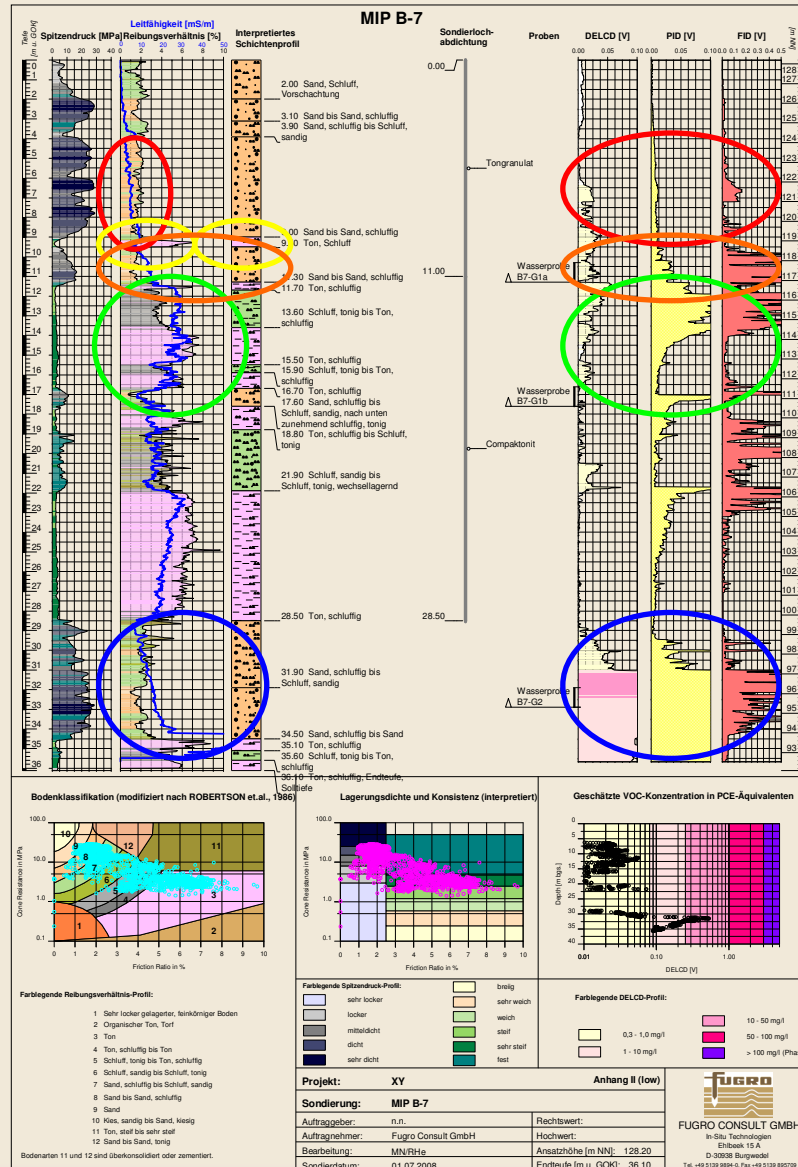
Summe BTEX	mg/l	<b>5,4810</b>
Summe LCKW	mg/l	0,0680
Summe Chlorbenzole	mg/l	0,2905
Summe Dichlorbenzole	mg/l	0,0305
Summe HCH	mg/l	0,0120

Summe BTEX	mg/l	<b>4,9520</b>
Summe LCKW	mg/l	0,1970
Summe Chlorbenzole	mg/l	<b>1,6206</b>
Summe Dichlorbenzole	mg/l	0,1306
Summe HCH	mg/l	0,0654

Summe BTEX	mg/l	<b>1,4800</b>
Summe LCKW	mg/l	<b>2,1210</b>
Summe Chlorbenzole	mg/l	<b>10,7890</b>
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

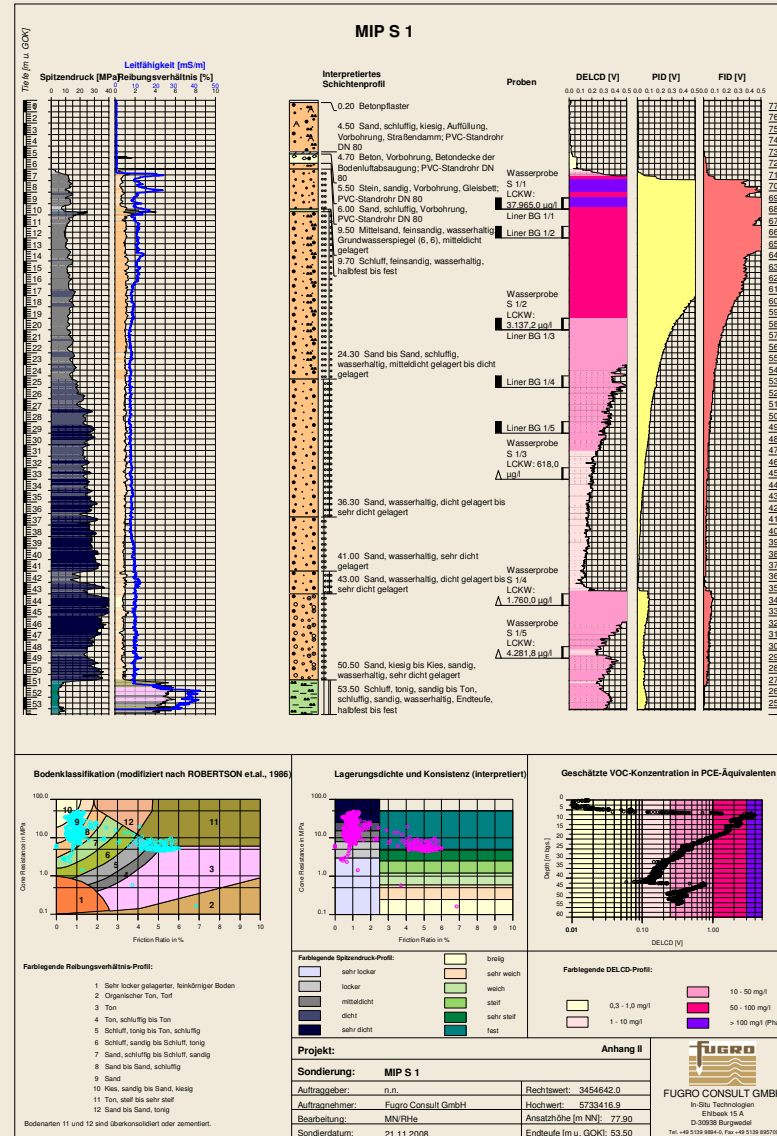
Nach CPT zwei unterschiedliche Schichten, nach LF nicht aufgelöst  
 Möglicher Einfluss von Kontaminationen

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



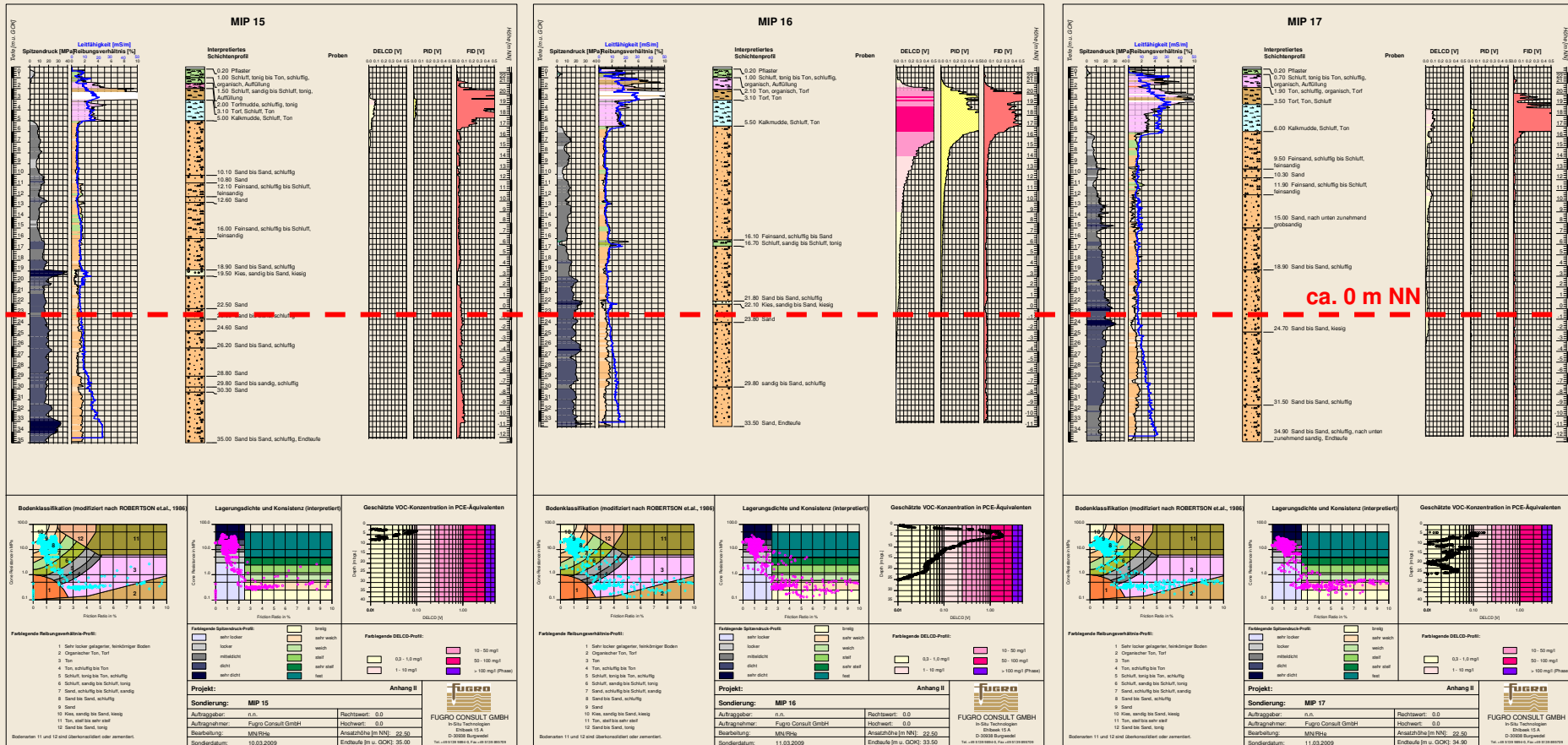


# Fallbeispiel: LCKW-Anreicherung auf einem Liegendstauer - CPT, LF und MIP





# Fallbeispiel: Querprofil mit CPT, LF und MIP







...vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

