

Österreichische Gesellschaft für Geomechanik  
Sektion Bodenmechanik und Grundbau

# **Interner Zwischenbericht Arbeitsgruppe Sondierungen**



Herausgeber: Österreichische Gesellschaft für Geomechanik  
Fachsektion Bodenmechanik und Grundbau  
A-5020 Salzburg, Bayerhamerstrasse 14  
Tel.: +43 (0)662 875519, Fax: +43 (0)662 886748  
E-mail: [salzburg@oegg.at](mailto:salzburg@oegg.at)  
<http://www.oegg.at>

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

© ÖGG Salzburg 2013

## Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Sondierungen

Dipl.-Ing. **Udo Behrens**  
Fugro Consult GmbH

Dipl.-Ing. **Jens Hoffmann**  
STRABAG AG – Zentrale Technik

Dipl.-Ing. Dr.techn **Ansgar Kirsch**  
ILF Beratende Ingenieure ZT GmbH

Dipl.-Ing. Dr. **Martin Moser**  
Bautechnisches Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg

Ing. Thomas **Pirkner**  
Vereinigung Österr. Bohr-, Brunnenbau- und Spezialtiefbauunternehmungen

Mag. Dr. **Michael Premstaller**  
Premstaller Geotechnik

Dipl.-Ing. Dr. **Václav Račanský**  
Keller Grundbau GmbH

Dipl.-Ing **Michael Sachsenhofer**  
PORR AG

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Hartmut Schuller**  
INSITU Geotechnik ZT GmbH

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Helmut F. Schweiger** M.Sc  
Technische Universität Graz

Dipl.-Ing. **Ben Telkamp**  
Fugro GeoServices B.V.

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christoph Wiltafsky**  
GDP ZT GmbH



## Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort.....	6
2	Verfahren .....	7
3	Definitionen und Regelwerke.....	8
4	Status Quo / Ist-Zustand.....	10
5	Zusammenfassung / weitere Vorgangsweise.....	13
6	Literatur .....	14
6.1	Verwendete und Weiterführende Literatur.....	14
6.2	Regelwerke.....	16
7	Anhang A .....	17

# 1 VORWORT

Mitte 2012 wurde eine Arbeitsgruppe der ÖGG Fachsektion Bodenmechanik und Grundbau eingerichtet, welche sich als Ziel die Erstellung von Empfehlungen zur Auswertung und Interpretation von Sondierungen für bautechnische Belange gesetzt hat. Hintergrund ist, dass zwar Regelwerke (Normen) für die technische Ausführung von Baugrundsondierungen vorhanden sind, zur Auswertung jedoch keine allgemein gültigen und/oder für Österreich anwendbaren Werke vorliegen. Für die Niederlande z.B. liegen umfangreiche Daten und Veröffentlichungen zur Auswertung von Sondierungen vor. Dementsprechend sollten die in Österreich vorhandenen Erfahrungen zusammengetragen und analysiert sowie mit Ansätzen aus der Literatur korreliert werden und die Erkenntnisse dann als Richtlinie veröffentlicht werden.

Die Empfehlungen sollten sich an Fachpersonen, die sich mit der Auswertung von Baugrundsondierungen beschäftigen, richten. Dabei sind weitreichende Kenntnisse der Geotechnik und bodenmechanische Zusammenhänge vorausgesetzt. An eine rein schematische Anwendungsmöglichkeit der Empfehlungen ohne geotechnisch kompetente Beurteilung ist nicht gedacht.

Die Arbeitsgruppe hat sich in den ersten Sitzungen dazu entschieden, sich zunächst auf Drucksondierungen (Cone Penetration Test - CPTu) zu beschränken. Rammsondierungen, Bohrlochrammsondierungen (BRG), etc. werden somit nicht behandelt.

In den Niederlanden wurden seit den 1960er Jahren eine große Datenbasis zu CPTu-Versuchen zusammengetragen und über Jahre viele Korrelationen entwickelt. Trotzdem ist auch dort eine geotechnische Beurteilung mit Sachverstand nötig, es gibt keine allgemeingültigen Auswertungsroutinen. D.h. bei Projekten, wo keine CPTu-Daten zum Vergleich vorliegen, muss man auch in den Niederlanden direkte Aufschlüsse vorsehen. Vor einer unhinterfragten Verwendung von Auswertungssoftware wird abgeraten.

Nachdem ein erster Ansatz zur Korrelation von Auswertungsroutinen aus der Literatur zu den in Österreich vorhandenen Böden keine eindeutigen Ergebnisse brachte, hat sich die Arbeitsgruppe dazu entschieden, über die bisherigen Erkenntnisse einen Zwischenbericht zu verfassen. Der gegenständliche Zwischenbericht stellt die Grundlagen und Erfahrungen der Arbeit an dem Thema zusammen, gibt einen Überblick zum aktuellen Stand der CPTu-Auswertung, zeigt die bisherigen Erkenntnisse der Arbeitsgruppe sowie Empfehlungen zur weiteren Vorgangsweise.

Im September 2013,

*Die Verfasser*

## 2 VERFAHREN

Bei einer Drucksondierung (engl. Cone Penetration Test - CPT) wird eine Sonde mit konstanter Geschwindigkeit von 20 mm/s in den Boden hineingedrückt. Dabei werden Spitzendruck und Mantelreibung gemessen. Es gibt weiters die Möglichkeit zusätzlicher Aufzeichnungen: Die gängigsten Verfahren sind dabei die Messung des Porenwasserdrucks (CPTu) und seismische Aufzeichnungen (SCPTu).

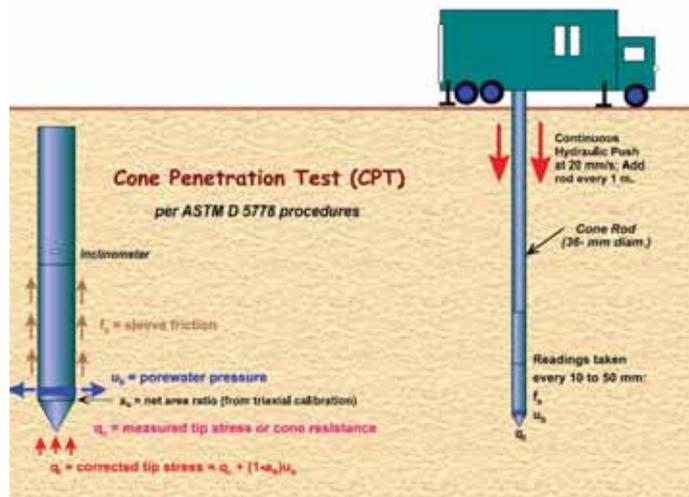


Abb. 1: Ausführung einer Drucksondierung (Mayne et al. 2001)

Die Versuchsergebnisse werden zur Bestimmung der Schichtung, zur Klassifizierung der Bodenarten und zur Abschätzung von geotechnischen Bodenkennwerten eingesetzt.

### Sondentypen

Bei Drucksondierungen wird zwischen der mechanischen Sondierung (vgl. EN ISO 22476-12) und der heutzutage üblichen elektrischen Sondierung (vgl. EN ISO 22476-1) unterschieden.

Die generellen Abmessungen und Herstelltoleranzen einer (elektrischen) Sonde sind z.B. in EN ISO 22476-1, Abschnitt 4.4 und 4.5 beschrieben (vgl. Abb. 2). Hinsichtlich der Abmessungen werden in der DIN 4094-1 zwei Sonden erläutert:

- CPT10 (Grundfläche 10cm<sup>2</sup>, Kegeldurchmesser 35,7mm)
- CPT15 (Grundfläche 15cm<sup>2</sup>, Kegeldurchmesser 43,8mm)

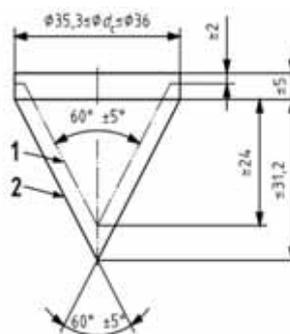


Abb. 2: Abmessungen (lt. EN ISO 22476-1)

In EN ISO 22476-1 werden Abweichungen folgendermaßen beschrieben: „Reibungshülsen mit einem äußeren Durchmesser zwischen 25 mm und 50 mm dürfen für spezielle Zwecke ohne Ansatz von Korrekturfaktoren benutzt werden, wenn sie mit Kegeln des entsprechenden Durchmessers benutzt werden. Das Verhältnis der Länge zum Durchmesser sollte vorzugsweise 3,75 betragen. Verhältniswerte zwischen 3 und 5 sind zulässig“ (Abschnitt 4.5).

Für die Messung des Porenwasserdruckes gibt es prinzipiell 3 verschiedene Anordnungen, wobei die Position „u2“ u.a. lt. EN ISO 22476-1: 2013 bevorzugt verwendet werden soll (vgl. Abb. 3).

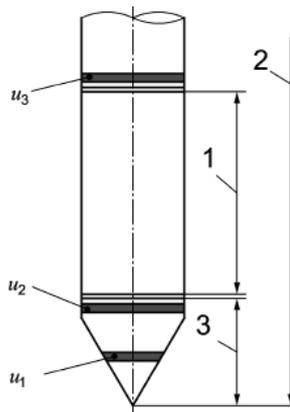


Abb. 3: Anordnung der Filterelemente (EN ISO 22476-1)

### 3 DEFINITIONEN UND REGELWERKE

Im Vorfeld der verbindlichen Einführung der neuen Normengeneration im Juni 2012 wurde die geotechnische Untersuchung für bautechnische Zwecke in Österreich durch die ÖNorm B 4402:2003-12 geregelt. Unter Abs. 7.5.4. findet sich ein singulärer Hinweis auf die Möglichkeit der Anwendung von Drucksondierungen (CPT/CPTu) zur Erkundung von Lagerungsdichte und Festigkeitseigenschaften im Zusammenhang mit direkten Aufschlüssen. Weitere Angaben und Empfehlungen, die Abwendbarkeit und Versuchsdurchführungen bzw. die Interpretation der Versuchsergebnisse betreffend, waren nicht Gegenstand der damaligen nationalen Normung.

Nicht zuletzt diesem Umstand geschuldet erfolgte im Bedarfsfall ein Rückgriff auf die DIN 4094-1:2002-06. Die bis Jänner 2013 gültige DIN 4094-1 enthielt zweckmäßige Empfehlungen zum Anwendungsbereich von Drucksondierungen sowie zur Ableitung von geotechnischen Parametern, wie Lagerungsdichte, Reibungswinkel und Steifemoduln unter Verwendung beispielhafter Korrelationen. Weiters waren sowohl Angaben zu gerätetechnischen Anforderungen und Toleranzen als auch ausführungsrelevante Aspekte Gegenstand der Norm.

Zwischenzeitlich, d.h. im Zuge der Einführung der neuen geotechnischen Normengeneration in Deutschland, wurde die DIN 4094-1 durch die EN ISO 22476-1 ersetzt und regelt, dem Wesen einer Ausführungsnorm entsprechend, Geräteanforderungen sowie die Durchführung und die Ergebnisdarstellung von elektrischen Drucksondierungen und Drucksondierungen mit der Piezospitze als Teil von geotechnischen Untersuchungen und Versuchen nach EN 1997-1 und EN 1997-2. Gegenüber DIN 4094-

1:2002-06 wurden in der EN 1997-2 bzw. im zugehörigen nationalen Anhang ÖNorm B 1997-2 die Möglichkeit des Einsatzes von Drucksondierungen mit gleichzeitiger Messung des Porenwasserdrucks (CPTu) aufgenommen sowie vier Anwendungsklassen eingeführt, die Hinweise zur Wahl der Art der Drucksondierung, zur erforderlichen Genauigkeit und zur Häufigkeit der Datenerfassung geben sollen. Nach Ansicht der Verfasser ist die derzeitige Formulierung der Anwendungsklassen durch ein Großmaß an Interpretationsbedarf nicht praxisgerecht. Brauchbare Angaben zur Anwendung der Drucksondierung in gemischtkörnigen Böden oder bei Wechsellagen sind nicht abzuleiten.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die Verwendung von *mechanisch* messenden Drucksonden nunmehr separat mit EN ISO 22476-12 geregelt worden ist, wenngleich diese Systeme in der heutigen Praxis nur noch regional gebräuchlich sind. Für Aussagen zur Verwendung dieses Sondentyps sind weitere drei Anwendungsklassen eingeführt worden.

Die ehemals in DIN 4094-1:2002-06 enthaltenen Empfehlungen und Korrelationen zur Ableitung ausgesuchter geotechnischer Parameter fanden in der EN 1997-2, Anhang D entsprechenden Eingang. Neben dem bereits in der ÖNorm B 4402 enthaltenem Hinweis auf die Notwendigkeit ergänzender direkter Aufschlüsse beinhaltet die EN 1997-2:2003-12 eine gegenüber EN ISO 22476 vereinfachte Übersicht zur Anwendbarkeit verschiedenartiger Sondierungen, inklusive der allgemeinen, breiten Anwendungsgrenzen von Drucksondierungen. Deziert werden grobe und feine Böden unterschieden, die wiederum unter Rückgriff auf ISO 14688-1 den Bodenarten Sand und Kies bzw. Ton und Schluff zugeordnet werden können. Hinweise zum Umgang mit gemischtkörnigen Böden und Wechsellagerungen sind dem Regelwerk nicht zu entnehmen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass

- es im Rahmen der Harmonisierung der Europäischen Vorschriften mit einer Aufgliederung der Normen und Regelwerke in Anwendungs- und Ausführungsnormen für das Verfahren der Drucksondierung nicht gelungen ist, für die Bandbreite der Praxis erschöpfende Empfehlungen für den Anwender eindeutig und übersichtlich zu formulieren.
- die Beschreibung der Anwendungsklassen in der EN ISO 22476-1 bzw. EN ISO 22476-12 in der vorliegenden Form komplex erscheint und hilfreiche Aussagen bei Vorliegen *gemischtkörniger* Böden nicht getroffen werden bzw. werden können.
- die Beschreibung der Anwendbarkeit von Drucksondierungen in der ÖN EN 1997-2:2010 zwar verständlich aber dennoch sehr allgemein ausfällt. Vor dem Hintergrund des übergeordneten Charakters der Norm und der behandelten Bandbreite an Sondiermethoden ist dies jedoch erschöpfend.
- die im Anhang D der EN 1997-2 enthaltenen Angaben zu Korrelationen nur für wenige, ausgewählte geotechnische Parameter sowie mehrheitlich für die Boden Gruppen Sand und Ton gelten. Empfehlungen und Hinweise, auch Vorbehalte, zum Umgang mit *gemischtkörnigen* Böden oder Besonderheiten bei den in Österreich häufigen Wechsellagerungen sind nicht enthalten.

## 4 STATUS QUO / IST-ZUSTAND

Es gibt eine Mehrzahl von Korrelationen und Ableitungen, die auf dem Vergleich mit Ergebnissen aus den direkten Versuchen basieren. Diese sind oft nur regional gültig, weil Eigenschaften wie Kornform, Lagerung, Mineralogie, Mineralhärte, usw. einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse haben. Deswegen ist eine Generalisierung und Festlegung auf ein Verfahren nicht zielführend, da die Geologie auch lokal und kleinräumig starken Variationen unterliegt.

Die derzeit vorhandene Datengrundlage für den Raum Österreich lässt eine gesicherte statistisch basierende Korrelation im Zweifelsfall nicht zu. Am ehesten ist die Klassifizierung und Ableitung von Bodenarten/-typen möglich, wobei diese hauptsächlich bei organischen Böden Schwierigkeiten bereitet und oft zu falschen Schlussfolgerungen führt. Eine Ableitung anderer Parameter bedarf zusätzlicher direkter Aufschlüsse (Bohrungen) mit ungestörter Probeentnahme und Laborversuchen zur Bestimmung der bodenmechanischen Kennwerte. Nur so lässt sich eine Datengrundlage schaffen, die später zur Erstellung der regional gültigen Korrelationen beitragen kann.

Es ist zu bemerken, dass selbst die in der DIN 4094 angegebenen vereinfachten Ableitungsverfahren mit Bedacht anzuwenden sind, da es nicht selten zu erheblichen Abweichungen zwischen abgeleiteten Werten aus Daten indirekter Verfahren (Sondierungen) und ermittelten Werten aus direkten Verfahren (Laborversuche an ungestörten Proben) kommt.

Trotzdem wurden alle Mitglieder der Arbeitsgruppe aufgefordert, ihre eigenen Erfahrungen mit Drucksondierungen, in Form einer ausgefüllten Tabelle, einzutragen. Die Tabelle 1 beinhaltet die bekanntesten Korrelationen. Verschiedene Bodenart wurden in drei Gruppen unterteilt. Das Ziel war es, die Eignung der einzelnen Korrelationen dreistufig mit -, 0, + (schlecht, mäßig, gut) zu benoten. Die Korrelationen, bei denen keine Erfahrungen der Befragten vorlagen, sollten freigelassen werden.

**Tabelle 1: Korrelationsmatrix**

		Befragte					A	B	C	D	E					
Soil behaviour type (SBT)	eigene Korrelation <sup>1</sup>								+							
	Diagramm "DIN 4094"			0						+						
	über "Ic" von Jefferies & Been									0						
	über "Ic" von Robertson & Wride					0				0						
	Diagramm "Fugro"			0		+ <sup>6</sup>				+						
	Robertson, 1990		0			0				+						
	Robertson, 1986		-			-					+					
E <sub>s</sub>	eigene Korrelation <sup>1</sup>			+				+			+					
	Es (konvertiert Ideal elastisch) von E (Robertson 2009)			-				-			-					
	NC Lunne and Christophersen, 1983			+												
	OC Lunne and Christophersen, 1983			+												
	Mayne, 2001	0		-				-		0	-					
	Robertson, 2009	0		-				-			-					
	Spannungsabh Steifemodul, Bandbreite DIN 4094-1, D5	+	0	+	0		+	+			+					
	mittlerer Steifemodul, Bandbreite DIN 4094-1, D6	0		+ 0	0		+ 0	0 0		0 0	+ 0					
G <sup>3</sup>	eigene Korrelation <sup>1</sup>			0				-. <sup>5</sup>		0 <sup>5</sup>	0					
	empirisch: Senneset et al. 1982, Bandbreite, Nke=6- 12					0			-		0					
	empirisch: Aas et al. 1986, Bandbreite, Nkt=8- 16					+			0 0		0					
	theoretisch: Baligh (1975)										0					
	theoretisch: Vesic (1975)										0					
γ	eigene Korrelation <sup>1</sup>															
	Mayne et al, 2010	0		-				-			-					
	Robertson, 2010	0	0	0		0	0				0					
	Robertson, 1986, abgeleitet aus SBT	+		+				+		0	0					
OCR	eigene Korrelation <sup>1</sup>			-				-			-					
	Powell et al. 1988			0				0			0					
	Demers & Leroueil, 2002										0					
	Mayne, 2005									0	0					
	Mayne et al, 2009			0				0			0					
	Mayne, 2007		0	0		0										
σ' <sub>v</sub>	eigene Korrelation <sup>1</sup>			+				0		-	-					
	Hutchinson, J.N. (2001)	0		+						-	-					
	EN 1997 - 2 Anhang D.2	0	+ 0	+	+	0	+			-	+					
	Robertson and Campanella (1983)	0	0	+				0		-						
	Kulhawy and Mayne (1990)	0	0	+				0		-						
	Sunneset et al, 1988	0								-	-					
	Mayne NTH (2005)	0								-	-					
<b>Bodenart</b>		grobkörnig <sup>2</sup>					gemischtkörnig <sup>3</sup>					feinkörnig <sup>4</sup>				
<b>Befragte</b>		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E

"+ = gut, 0 = mittel, - = schlecht"

<sup>1</sup> eigene Korrelation.

<sup>2</sup> grobkörnige Böden: Gemische, deren Feinkornanteil weniger als 5 % der Masse beträgt. Lt. ÖNORM B 4400-1:2010.

<sup>3</sup> gemischtkörnige Böden: Gemische, deren Feinkornanteil 5 % bis 40 % der Masse beträgt. Lt. ÖNORM B 4400-1:2010.

<sup>4</sup> feinkörnige Böden: Gemische, deren Feinkornanteil mehr als 40 % der Masse beträgt. Lt. ÖNORM B 4400-1:2010.

#### Kommentare Befragte C:

<sup>5</sup> eigene Korrelation 1 [DIN 4094,  $N_k \sim 10 - 20$ ]\* ....  $N_k \sim 10 - 20$  abhängig von Bodenart, z.B. Seeton  $N_k \sim 16 - 20$ , sehr weiche organische Böden (Schlick)  $N_k < 10$ , sehr steife, überkonsolidierte Böden  $N_k > 20$  (s. Jorß 1998, Gebrelesassie/Kempfert 2003, Kempfert/Gebrelesassie 2006)

<sup>6</sup> außer organische Böden

#### Kommentare Befragte D:

$\phi$  eigene Korrelation: Robertson 2010

OCR eigene Korrelation: Robertson 2010

$C_u$  eigene Korrelation: Robertson 2010; Werte etwa 5 bis 10-mal so hoch wie "üblich"; was ist richtig?

Es eigene Korrelation: Robertson 2010; Werte um ca. 100 % zu hoch!

SBT eigene Korrelation: Robertson 2010; Werte meist etwas zu fein!

Aus der Tabelle lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Bei der Bestimmung von OCR (Over-Consolidation Ratio) liegen unter den Befragten nur wenige Erfahrungen vor.
- Bei der Bestimmung der Bodenwichte wurden beide Korrelationen von Robertson als mäßig bis gut eingestuft. Weil sich jedoch die Bodenwichte aus Bodentyp und Lagerung bzw. aus der Konsistenz gut abschätzen lässt, spielen diese Korrelationen eine untergeordnete Rolle.
- Bei der Bestimmung des Reibungswinkels wurde die im EN 1997 – 2, Anhang D.2 angeführte Korrelation, als am ehesten hilfreich für grobkörnige Böden ausgewählt. Bei gemischtkörnigen und feinkörnigen Böden liegen keine bzw. schlechte Erfahrungen vor.
- Bei der Bestimmung der undrained Scherfestigkeit wurde die empirische Korrelation von Aas et al. 1986, mit einer Bandbreite des Parameters  $N_{kt}=8\sim 16$  als mäßig gut angegeben.
- Bei der Bestimmung des Steifemoduls wurden beide Korrelationen, die in der DIN angegeben werden, zwischen mäßig und gut eingestuft. Hauptsächlich wurde die Korrelation für die spannungsabhängige Steifigkeit positiv bewertet.
- Beim „Soil Behaviour Type“ wurde das Diagramm der Fa. Fugro und das von Robertson (1990) ein wenig besser bewertet, als die anderen.

Zur Auswertung sei angemerkt:

- Aufgrund mangelnder Erfahrungen und der beschränkten Anzahl an Befragungen, ist die Aussagekraft der Tabelle beschränkt. Zudem liegt teilweise keine ausreichende Erfahrung der Befragten mit den angeführten Korrelationen vor
- Es gibt nur sehr wenige Beispiele in Österreich, wo gleichzeitig CPT-Werte und Laborwerte bzw. direkte Baugrundaufschlüsse und (noch besser) Baustellenmessungen (z.B. Setzungsmessungen) vorliegen
- Auch die bewerteten Korrelationen haben teilweise keine klaren Tendenzen gezeigt, die eindeutige Empfehlungen ermöglichen

## 5 ZUSAMMENFASSUNG / WEITERE VORGANGSWEISE

Nachdem zu den Drucksondierungen eine Vielzahl von Korrelationen und Ableitungen bekannt sind, die jeweils auf regionalen Erfahrungswerten beruhen und die Geologie in Österreich lokal variiert, ist eine Generalisierung und Festlegung auf ein (oder mehrere) Verfahren für Österreich nicht zielführend. Selbst die in der ÖNORM EN 1997-2 (2010-08-15) angegebenen, vereinfachten Ableitungsverfahren sind mit Bedacht anzuwenden. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass insbesondere für gemischtkörnige Böden, wie sie in Österreich häufig vorkommen, keine ausreichenden Grundlagen existieren. Mit lokalen Informationen auf einer größeren Datengrundlage sollte jedoch eine Festlegung für einzelne Gebiete (Salzburger Becken, Zell am See, Ennstal, Klagenfurter Becken, Bodensee-Raum) möglich sein. Ebenso könnte man Bodenarten, wo Drucksondierungen nicht als adäquates Mittel zur Untersuchung angesehen werden, benennen und ggf. auch lokale Zuordnungen treffen bzw. Beispiele benennen. Fazit bleibt jedoch, dass auch regionale Empfehlungen für Österreich auf der derzeit vorliegenden Datengrundlage nicht ableitbar sind. Folglich benötigt man zur Interpretation von Drucksondierungen immer auch einen direkten Aufschluss bzw. bekannte Untergrundverhältnisse.

Als weitere Vorgangsweise wird vorgeschlagen, vorhandene Aufschlussdaten zu sammeln und weitere Baugrunderkundungen (Drucksondierungen kombiniert mit z.B. Kernbohrungen, Rammsondierungen und Laborversuchen) zu begleiten, um eine größere Datenbasis zu schaffen. Die Daten sind regional zusammenzufassen und auszuwerten bzw. regionale Anpassungen (aufgrund Vorgeschichte (POP/OCR), etc.) vorzunehmen, wobei lokale Kenntnisse erforderlich sind. Grundsätzlich wird vorgeschlagen, insbesondere auch große Auftraggeber / Bauherrn (z.B. ÖBB, ASFINAG, etc.) in die Datensammlung einzubeziehen. Für das Sammeln der Daten wird eine Koordination erforderlich. Die Finanzierung einer solchen Koordination und die Finanzierung von Baugrundaufschlüssen zur Erweiterung der Datengrundlage sind zu diskutieren. Mit einer erweiterten Datengrundlage können in einem weiteren Schritt dann regionale Festlegungen getroffen werden.

## 6 LITERATUR

### 6.1 VERWENDETE UND WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- Bellotti R., Ghionna V.N., Jamiolkowski M., and Robertson P. K.: Design parameters of cohesionless soils from in-situ tests, in Proceedings of Transportation, Research Board Conference, Washington, 1989
- Butcher A. P., Campanella R.G., Kaynia A.M. and Massarsch K. R.: Seismic cone downhole procedure to measure shear wave velocity - a guideline prepared by ISSMGE TC10: Geophysical Testing in Geotechnical Engineering, 16th Internat. Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 2005
- Butcher A.P., Campanella R.G., Kaynia A.M., Massarsch K.R., Seismic cone downhole procedure to measure shear wave velocity - a guideline prepared by ISSMGE TC10: Geophysical Testing in Geotechnical Engineering, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
- Clayton C. R. I., Matthews M. C., Simons E.: Site Investigation, Department of Civil Engineering, University of Surrey second edition, 1995
- Elkateb T.M., Ali H.E.: CPT-SPT correlations for calcareous sand in the Persian Gulf area, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA, 2010
- Fellenius, B. H., and Eslami, A.: Soil profile interpreted from CPTu data. "Year 2000 Geotechnics" Geotechnical Engineering Conference, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, November 27 - 30, 2000
- Gebreselassie B., Kempfert H.-G., Raithel M.: Correlation between cone penetration test results and undrained shear strength. 6th Intern. Symposium on Field Measurements in GeoMechanics, Oslo, 2003
- Hutchinson J. N.: Reading the ground: morphology and geology in site appraisal. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 34 (1), 2001
- Jacobs P.: Cone Penetration Testing (CPT), Simplified Description of the Use and Design Methods for CPTs in Ground Engineering, Fugro, 1996
- Jaeger R.A., DeJong J.T., Boulanger R.W., Low H.E., Randolph M.F.: Variable penetration rate CPT in an intermediate soil, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA, 2010
- Jorß O.: Erfahrungen bei der Ermittlung von  $c_u$ -Werte mit Hilfe von Drucksondierungen in bindigen Böden. Geotechnik 21 (1): 26-27, 1998
- Kempfert H.-G., Gebreselassie B.: Excavations and Foundations in Soft Soils. Springer Verlag, Heidelberg. 2006.
- Kim K., M. Prezzi, R. Salgado: Interpretation of Cone Penetration tests in Cohesive Soils; Joint Transportation Research Program Technical, Report Series, Purdue University, 2006

- Kulhawy F.H., Mayne P.W.: Manual on estimating soil properties for foundation design, Report EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA, 1990
- Landva A., Korpijaakko E.O., Pheeney P.H.: Geotechnical Classification Of Peats And Organic Soils, Testing of Peats and Organic Soils: A Symposium, 1983
- Liao T. & Bell K.R.: CPT in glacial soils after deep excavation, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA, May 2010
- Long M.: Regional report for Northern Europe, CPT Equipment & Procedures, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, California, USA, 2010
- Lunne T., Robertson P. K., Powell J.J.M.: Cone penetration testing in geotechnical practice, Blackie Academic/Routledge Publishing, New York, 1997
- Mayne P. W., Christopher B. R., and DeJong J.: Manual on Subsurface Investigations, National Highway Institute Publication No, FHWA NHI-01-031, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2001
- Mayne P. W.: Cone Penetration Testing, NCHRP SYNTHESIS 368, A Synthesis of Highway Practice, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 2007
- Mayne P. W.: NCHRP Project 20-05 Topic 37-14 Cone Penetration Testing State-of-Practice, 2007
- Mayne P.W., Peuchen J. and Bouwmeester D.: Soil unit weight estimation from CPTs, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, California, 2010
- Mayne P.W.: Overview Paper: In-situ test calibrations for evaluating soil parameters, Characterisation & Engineering Properties of Natural Soils, Vol. 3 (Proc. Singapore 2006), Taylor & Francis Group, London, 2007
- Meigh A. C., Cone penetration testing: methods and interpretation, Butterworths, CIRIA, 1987
- Młynarek Z., Wierzbicki J., Stefaniak K.: CPTU, DMT, SDMT results for organic and fluvial soils, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, TC-16 of ISSMGE, 2010
- Poulsen R., Nielsen B. N., Ibsen L. B.: Effect of drainage conditions on cone penetration testing in silty soils, Pan- Am CGS Geotechnical Conference, 2011
- Powell J J M, Session Report 1: CPT Equipment & Procedures, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, California, USA, May 2010
- Powell J.J.M., Quarterman R.S.T. & Lunne, T.: Interpretation and use of the piezocone test in UK. Penetration testing in the UK, Thomas Telford, London, 1988
- Rix G.J., Stoke K.H.: Correlation of initial tangent modulus and cone resistance, Proceeding of Int. Symposium on Calibration Chamber Testing, 1992
- Robertson P. K. and Cabal K.L.: Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 4th Edition, 2010

Robertson P. K.: Soil classification using the cone penetration test, Canadian Geotechnic journal, Vol. 27, 1990

Robertson P.K., Cabal K.L.: Estimating soil unit weight from CPT 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, TC-16 of ISSMGE, USA, 2010

Robertson P.K.: Interpretation of CPT – a unified approach, Gregg Drilling & Testing Inc., California, Canadian Geotechnical Journal, May, 2009

Robertson, P.K., Campanella R.G., Gillespie D. and Rice A., Seismic CPT to Measure In-Situ Shear Wave Velocity, ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 8, 1986

Schaap, L. H. J. and Zuidberg, H. M.: mechanical and electrical aspects of the electric cone penetrometer tip, proceedings of the 2nd European Symposium on penetration testing, ESOPT- II, Amsterdam, 2, 841-51, Balkema Pub. , Rotterdam, 1982

Schnaid, F.: Characterisation and properties of natural soils by in situ tests, Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japan, 2005

Schnaid, F.: In-situ Testing in Geomechanics: The Main Tests, Taylor & Francis, New York, 2009

Schneider J.A.: Session Report 2: CPT Interpretation, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'10, TC-16 of ISSMGE, USA, 2010

Simonini P., Ricceri, G. & Cola: Geotechnical characterization and properties of the Venice lagoon heterogeneous silts. Proc. 2nd International Workshop on Characterization and Engineering Properties of Natural Soils, Singapore, 2006

Witt K. J.: Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen, Ernst & Sohn, 7. Auflage, Berlin, 2008

## **6.2 REGELWERKE**

ASTM D 3441- 05, Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil;

ASTM D 5778- 07, Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils;

BS 1377 Part 9, 1990, Soils for engineering purposes- CPT;

DIN 4094- 1, 2002- 06 Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen;

EN 1997-2:2010: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds;

EN ISO 22476- 1, Geotechnical investigation and testing -- Field testing -- Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test

ISSFME 1989, International reference test procedure for cone penetration test (CPT)

NEN 5140- 1996, Geotechnics, Determination of the cone resistance and the sleeve friction of soil, Electric penetration test;

SGF Report 1:93 E, Swedish standard for cone testing, Swedish Geotechnical Society;

## **7 ANHANG A**

Beispielauswertung

11 Beispiele

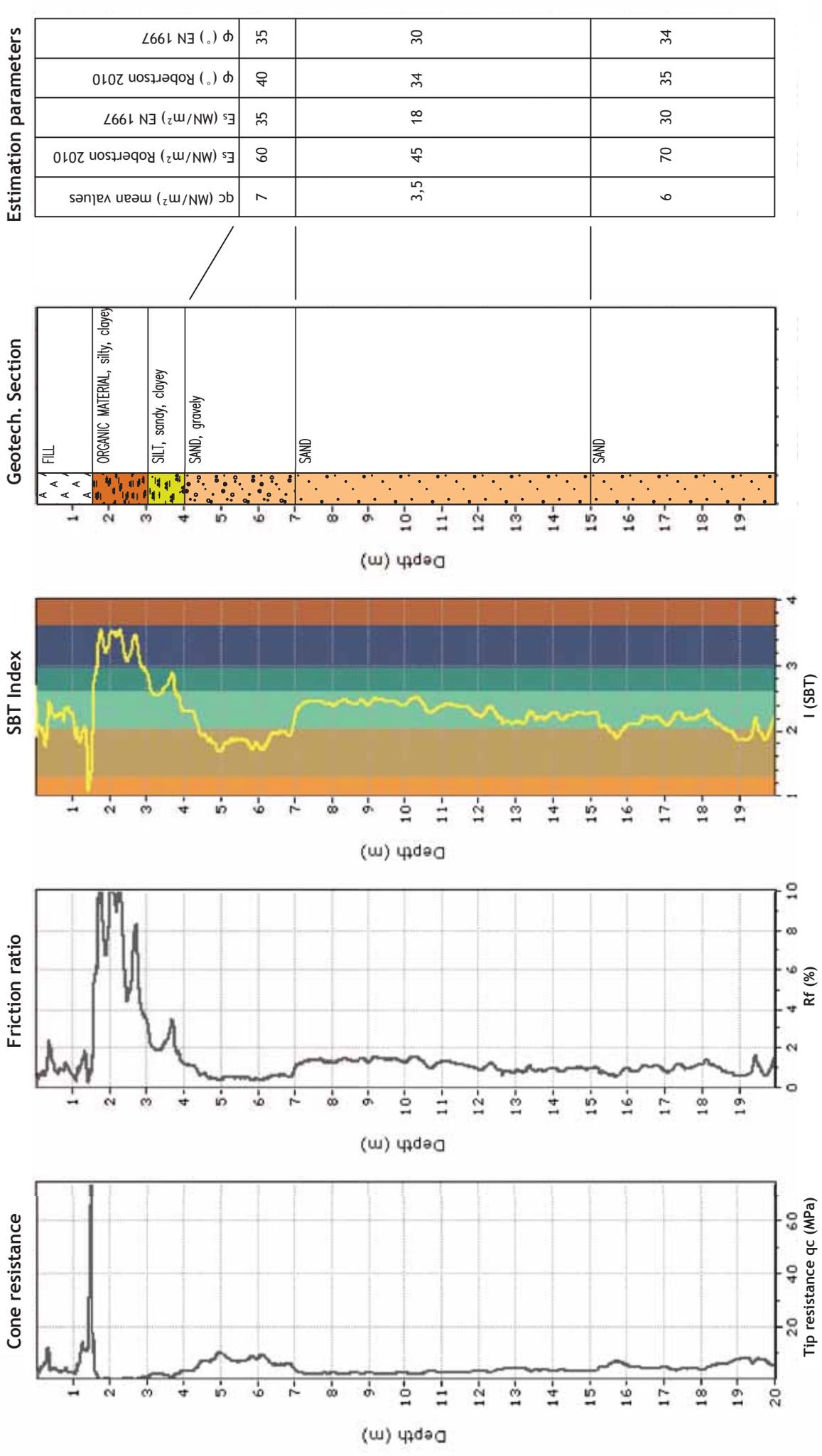
Seiten A1-A11





SBT legend

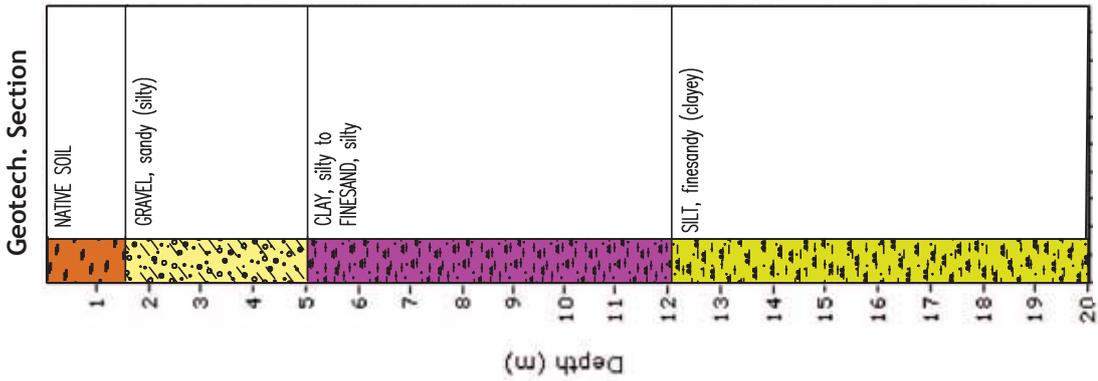
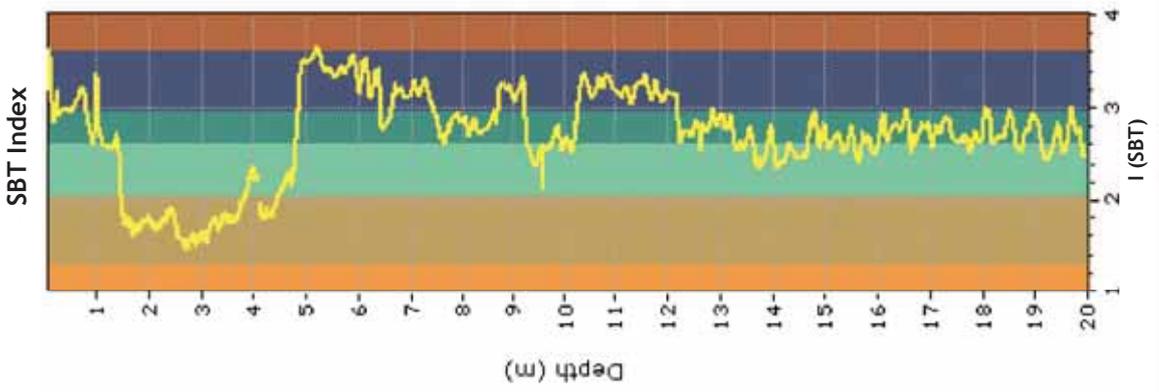
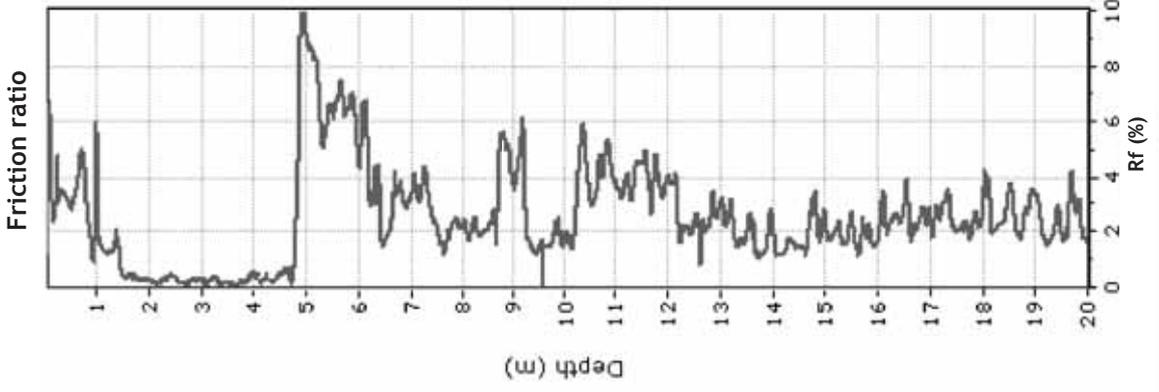
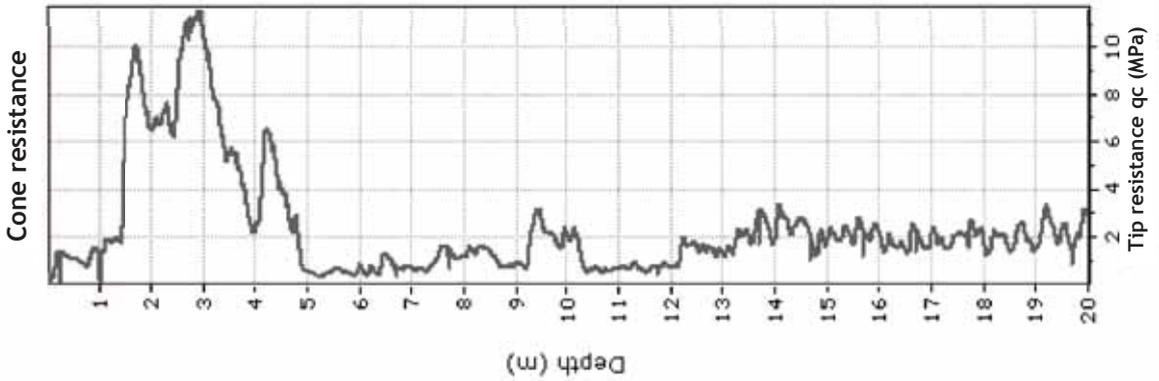
- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay (silty)
- 4. Silt (clayey, sandy)
- 5. Sand (silty)
- 6. Sand (gravelly)
- 7. Gravely (sandy)
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained





SBT legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay (silty)
- 4. Silt (clayey, sandy)
- 5. Sand (silty)
- 6. Sand (gravelly)
- 7. Gravelly (sandy)
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained

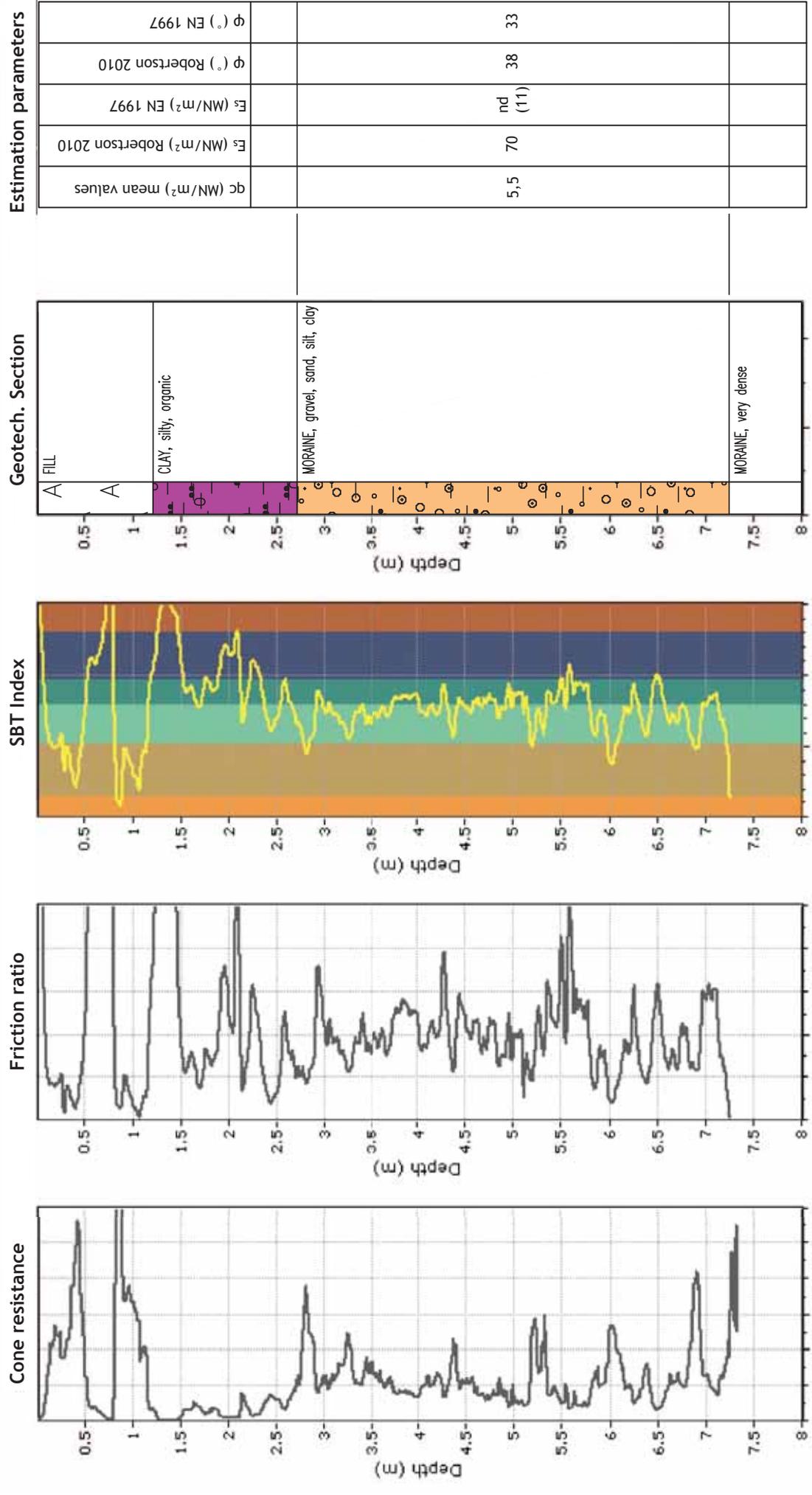


Estimation parameters	
qc (MN/m <sup>2</sup> ) mean values	7
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) Robertson 2010	43
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) EN 1997	42
φ (°) Robertson 2010	40
φ (°) EN 1997	34
nd	nd (23)
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) Robertson 2010	9
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) EN 1997	3-4
nd	nd
nd	nd 27



SBT legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay (silty)
- 4. Silt (clayey, sandy)
- 5. Sand (silty)
- 6. Sand (gravelly)
- 7. Gravely (sandy)
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained



Geotech. Section

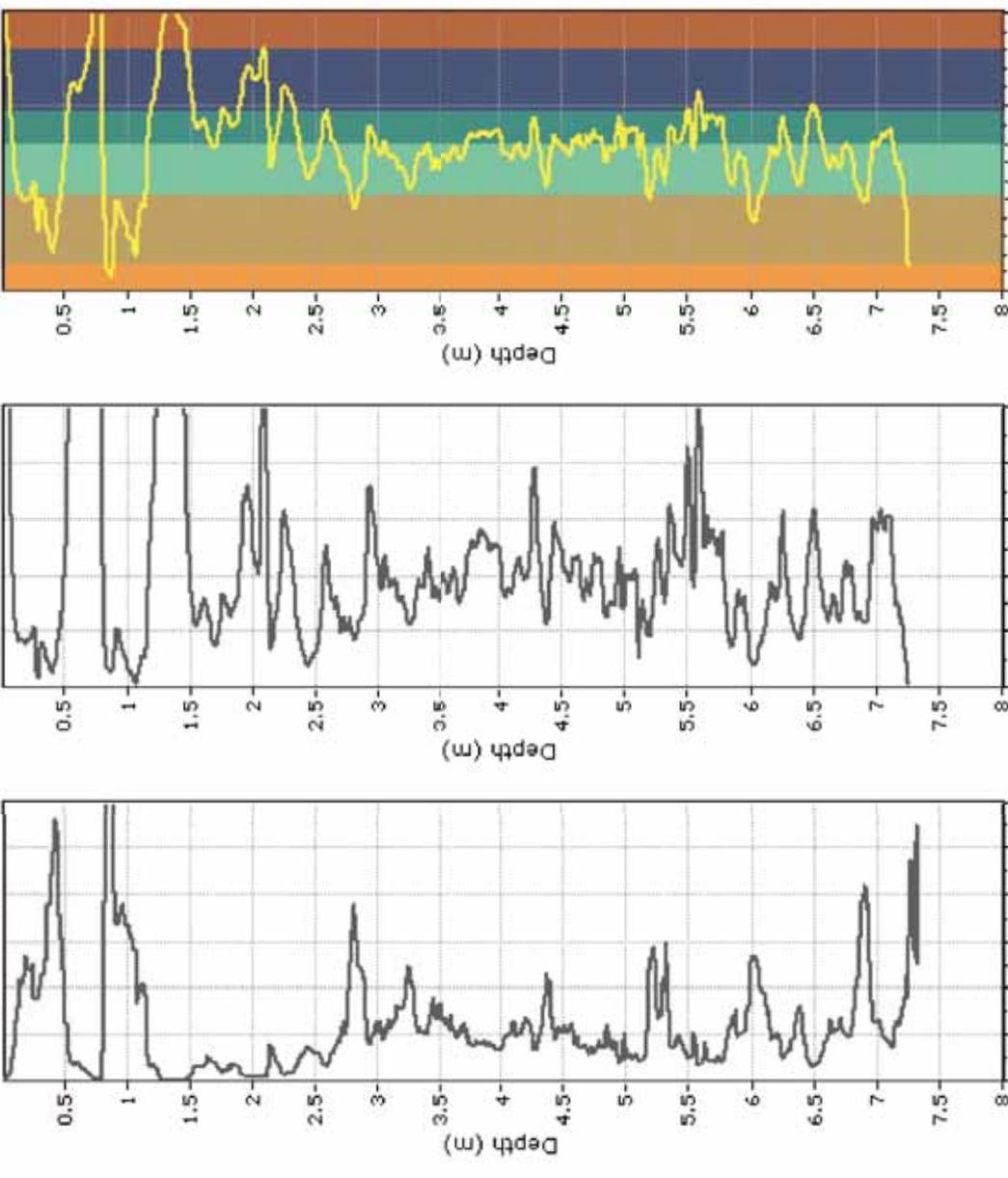
Estimation parameters

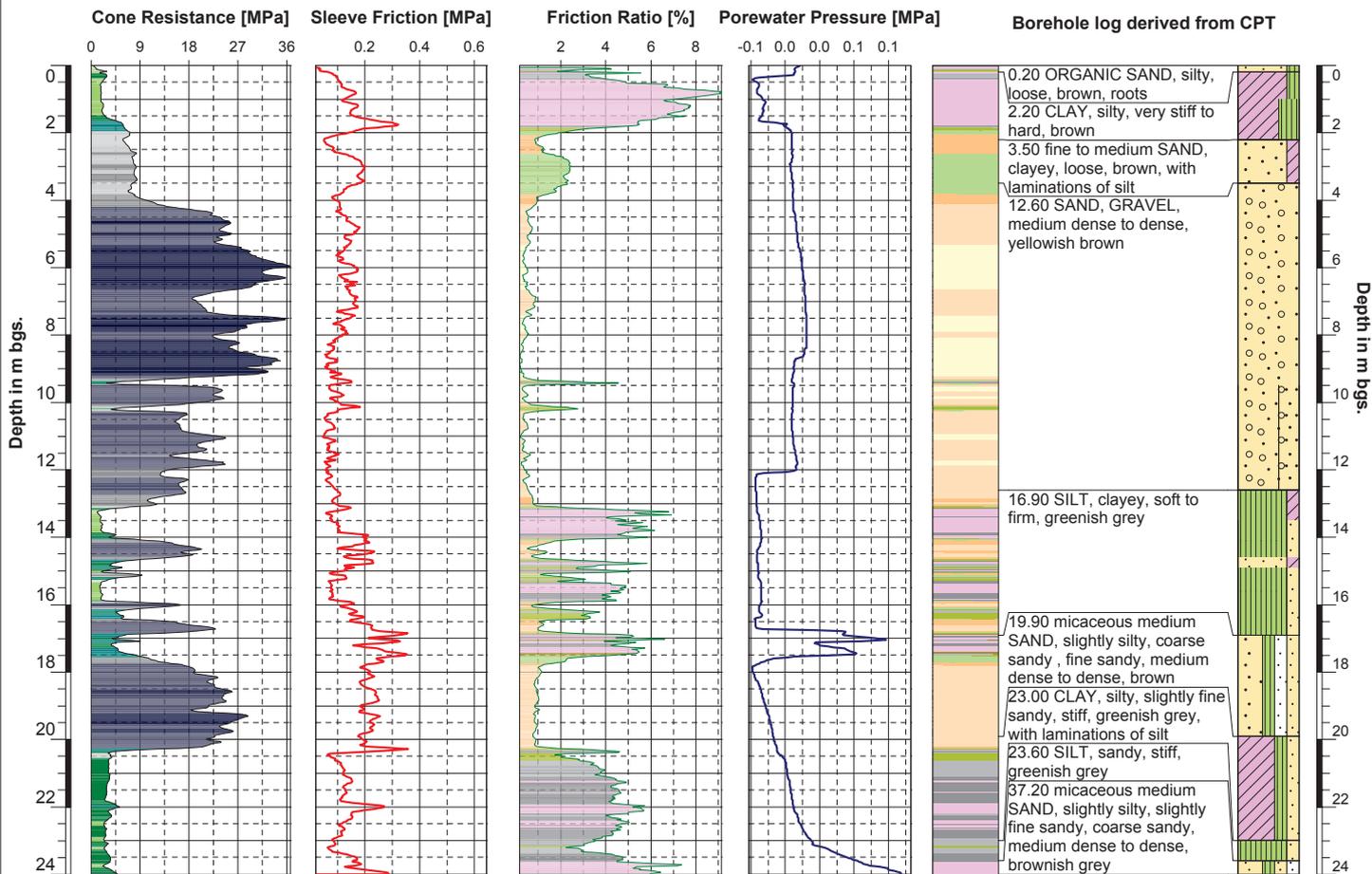
qc (MN/m <sup>2</sup> ) mean values	5,5			
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) Robertson 2010	70	nd	(11)	
E <sub>s</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) EN 1997				38
φ (°) Robertson 2010				33

SBT Index

Friction ratio

Cone resistance

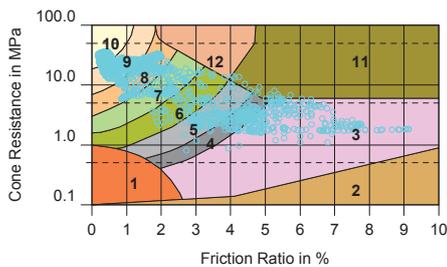




Robertson CPT Soil Classification 1986 (modified)

Vertical Scale 1:150

BH 14



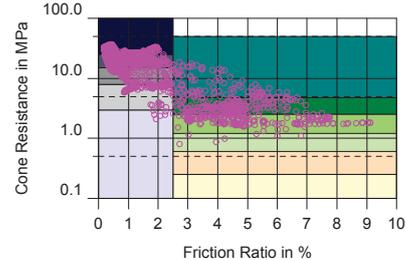
Legend (Colors in Cone Resistance Profile)



Legend (Colors in Friction Ratio Profile)

- 1 Sensitive, fine grained
  - 2 Organic soils, peat
  - 3 Clay
  - 4 Clay to silty clay
  - 5 Clayey silt to silty clay
  - 6 Sandy silt to clayey silt
  - 7 Silty sand to sandy silt
  - 8 Sand to silty sand
  - 9 Coarse to medium sand
  - 10 Gravel to gravelly sand
  - 11 Very stiff, fine grained sand
  - 12 Very stiff sand to clayey sand
- Soil types 11 and 12 are heavily overconsolidated or cemented.

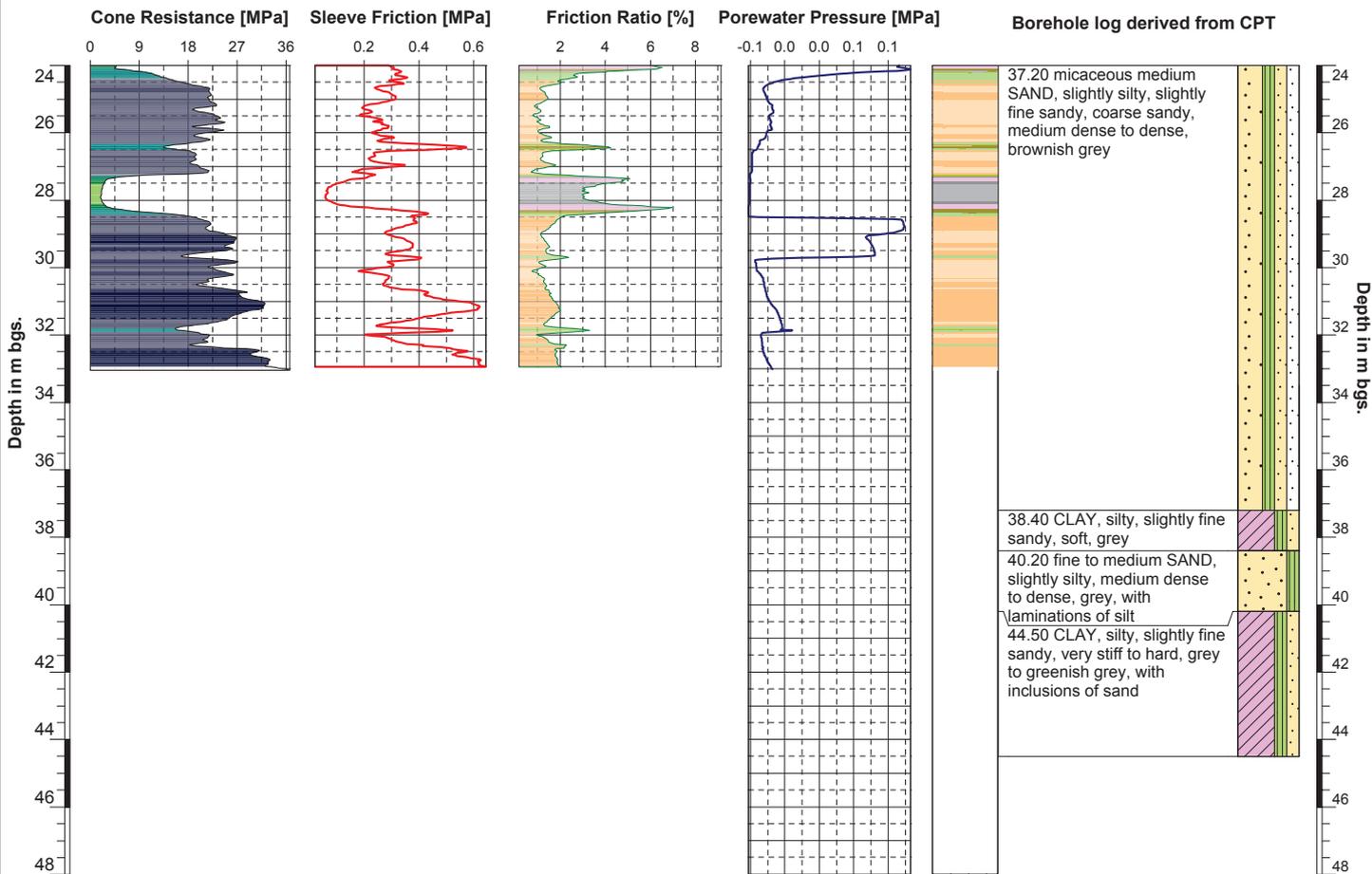
Soil Density and Consistency (interpreted)



<b>Project:</b>	Geotechnical survey, Onshore Windpark		
<b>Test Location:</b>	BH 14		
<b>Client:</b>	Client	X-Coord.:	xxx
<b>Contractor:</b>	xxx	Y-Coord.:	
<b>Processed by:</b>	DE	Level:	xxx
<b>Test Date:</b>	09/06/	Depth:	44.50



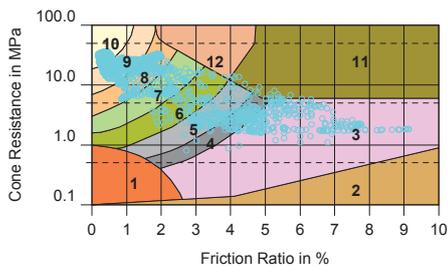
FUGRO Consult GmbH  
Geotechnics



**Robertson CPT Soil Classification 1986 (modified)**

Vertical Scale 1:150

**BH 14**



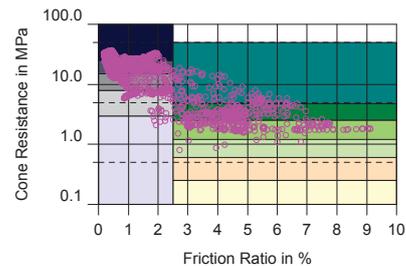
Legend (Colors in Cone Resistance Profile)

- very loose
- loose
- medium dense
- dense
- very dense
- very soft
- soft
- firm
- stiff
- very stiff
- hard

Legend (Colors in Friction Ratio Profile)

- 1 Sensitive, fine grained
  - 2 Organic soils, peat
  - 3 Clay
  - 4 Clay to silty clay
  - 5 Clayey silt to silty clay
  - 6 Sandy silt to clayey silt
  - 7 Silty sand to sandy silt
  - 8 Sand to silty sand
  - 9 Coarse to medium sand
  - 10 Gravel to gravelly sand
  - 11 Very stiff, fine grained sand
  - 12 Very stiff sand to clayey sand
- Soil types 11 and 12 are heavily overconsolidated or cemented.

**Soil Density and Consistency (interpreted)**



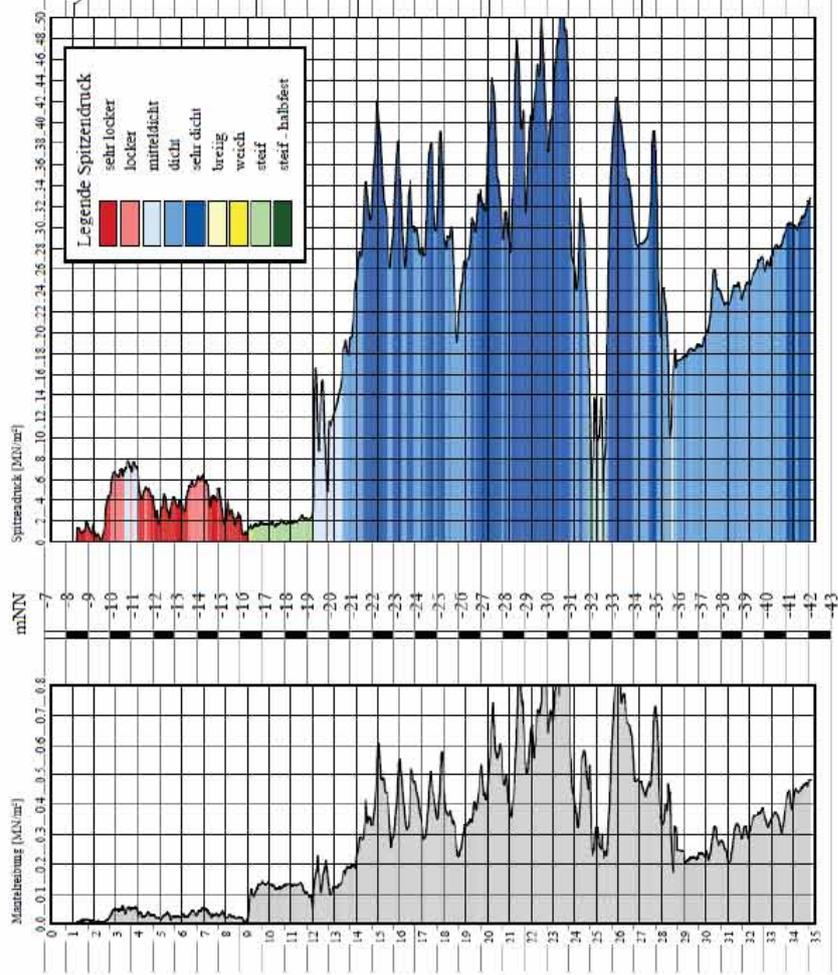
<b>Project:</b>	Geotechnical survey, Onshore Windpark	
<b>Test Location:</b>	<b>BH 14</b>	
<b>Client:</b>	Client	X-Coord.: xxx
<b>Contractor:</b>	xxx	Y-Coord.: xxx
<b>Processed by:</b>	DE	Level: xxx
<b>Test Date:</b>	09/06/	Depth: 44.50



**FUGRO Consult GmbH**  
Geotechnics  
K  
H  
Tel. +36 1 382 0042, Fax +36 1 382 0043

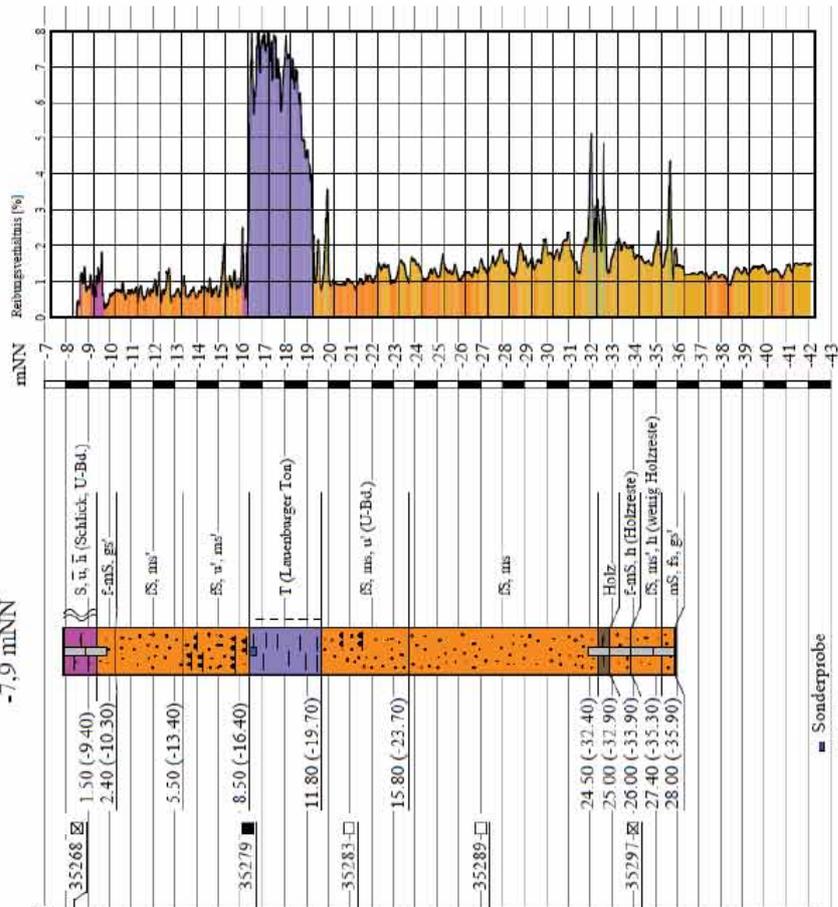
CPT 45/02

-7,3 mNN



WB 4/02

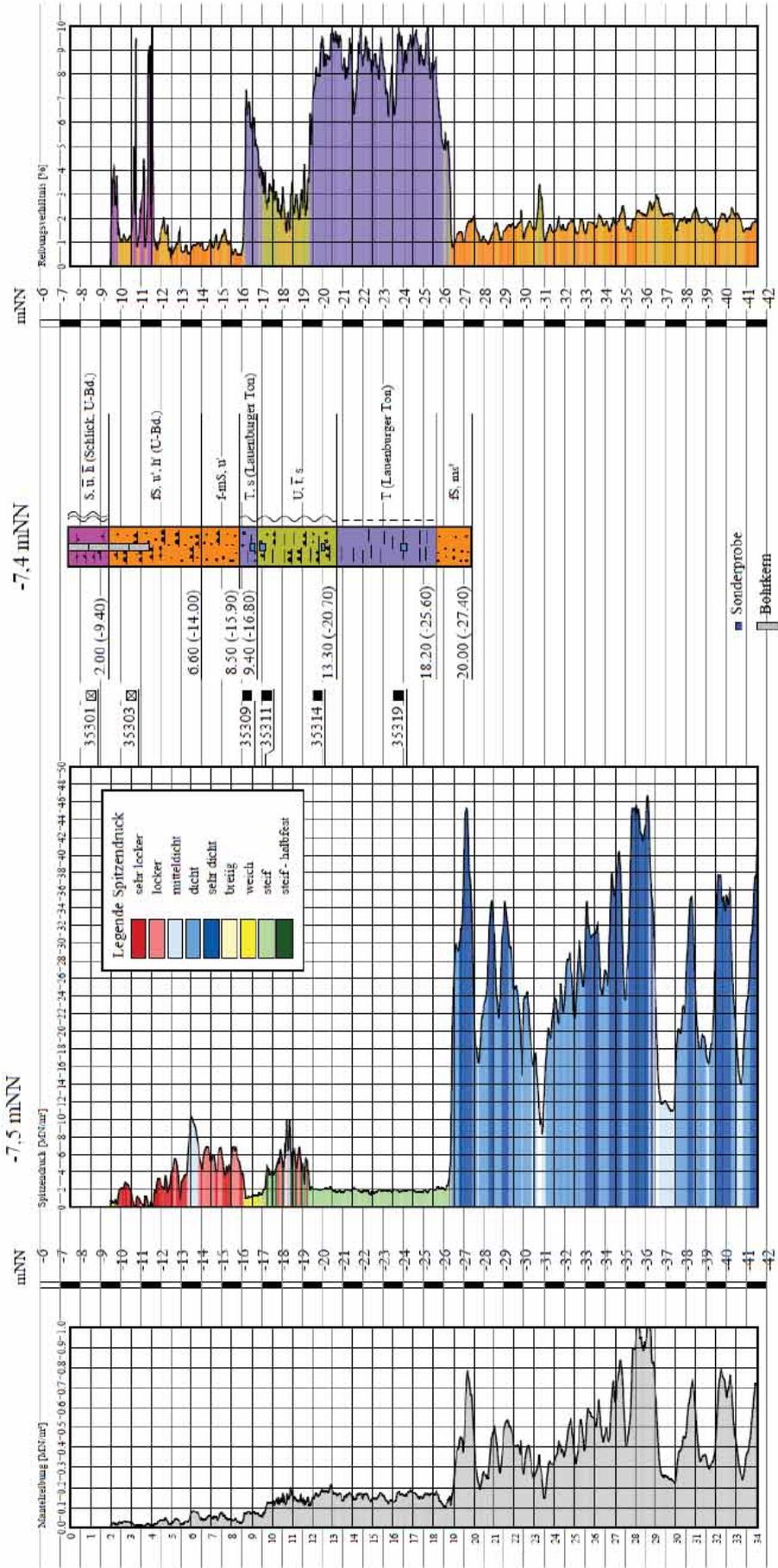
-7,9 mNN



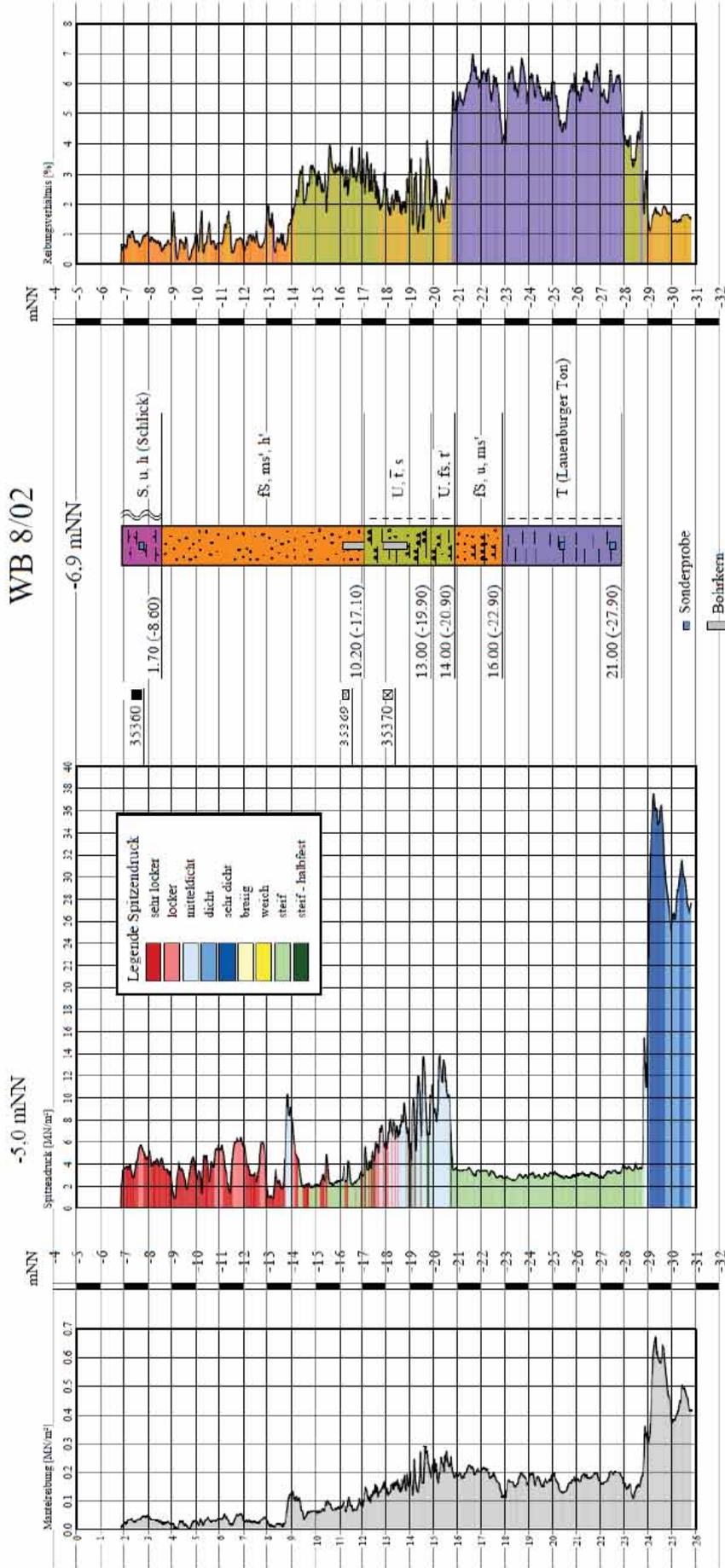
Die Daten der Sondertorque sind durch die Sondertorque

WB 5/02

CPT 25/02

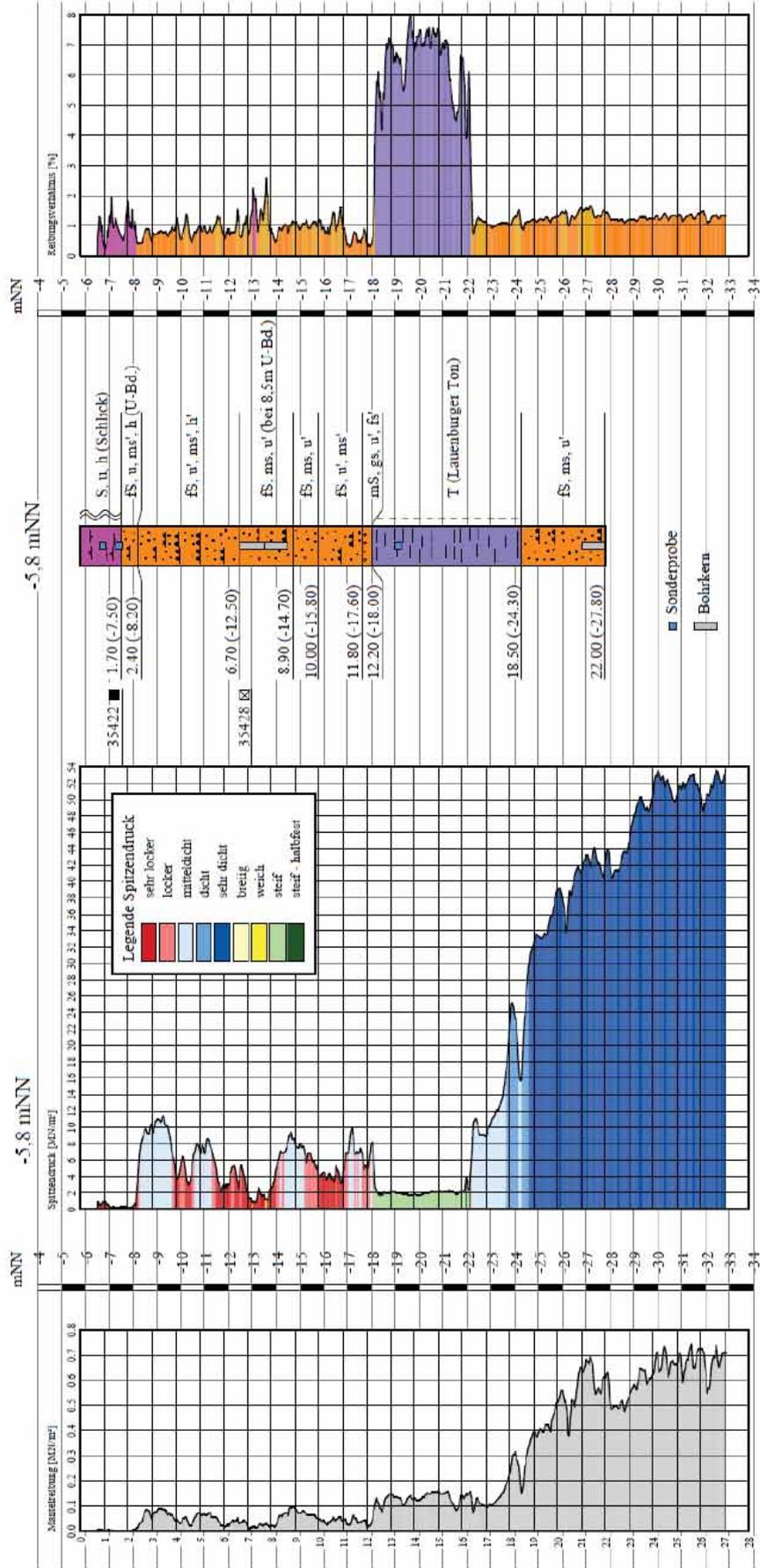


CPT 26/02



WB 12/02

CPT 60/02



WB 24/02

-10,5 mNN

CPT 82/02

-12,0 mNN

