

INGENIEURBÜRO FÜR  
GRUNDBAU, BODENMECHANIK UND  
UMWELTECHNIK GMBH

Halbach + Lange Ingenieurbüro GmbH · Agetexstraße 6 · D-45549 Sprockhövel

S & P Consult GmbH  
Konrad-Zuse-Straße 6

44801 Bochum

Felsmechanik · Hydrogeologie  
Deponietechnik · Altlastbewertung  
Erdstatik · Planung · Ausschreibung

Erdbaulaboratorium

28. Februar 2007

ha/cs □ 06118b01.doc

Projekt-Nr. 06.118

***F + E Vorhaben Innenverdichter  
Pilothaltung 1, Möhnese-Delecke  
- Bodenmechanische Labor- und Feldversuche -***

---

## **1 EINLEITUNG**

Die S & P Consult GmbH, Bochum, bearbeitet zur Zeit das F+E Vorhaben zum Einsatz eines Innenverdichters im Kanalbau. Nach Versuchen im Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, wurde im November 2006 eine erste Pilothaltung in Möhnese-Delecke, Linkstraße, ausgeführt. In diesem Zusammenhang sind vom Ingenieurbüro Halbach + Lange bodenmechanische Feld- und Laborversuche zur Bestimmung der Materialeigenschaften sowie der erreichten Verdichtungsgrade durchgeführt worden.

Einzelheiten werden nachfolgend beschrieben.

## **2 LABORATORIUMSUNTERSUCHUNGEN**

### **2.1 Korngrößenverteilung**

Für die Verfüllung der Rohrleitungszone ist in der Pilotstrecke ein Sand der Körnung 0/2 eingesetzt worden. Um die genaue Korngrößenverteilung zu dokumentie-

Geschäftsführer:  
Dipl.-Ing. Siegfried Halbach  
Dipl.-Ing. Winfried Lange  
Amtsgericht Essen HRB 15302  
Steuer-Nr. 323/5712/0040

Bankverbindungen:  
Volksbank Remscheid  
BLZ 340 600 94  
Konto 641 258

Sparkasse Sprockhövel  
BLZ 452 515 15  
Konto 1025 709

Agetexstraße 6  
45549 Sprockhövel-Haßlinghausen  
Telefon (023 39) 91 94-0  
Telefax (023 39) 91 94 99  
e-mail: 99@halbach-lange.de

ren, wurde die Körnungslinie durch Siebanalyse bestimmt. Das Ergebnis geht aus der Anlage 1 hervor.

Wie zu ersehen ist, handelt es sich um einen enggestuften Sand. Die Hauptbestandteile liegen im Mittelsandbereich (Korndurchmesser 0,2 bis 0,6 mm). Feinkorn  $< 0,06$  mm wurde mit ca. 4 Gew.-% festgestellt.

Der Ungleichförmigkeitsgrad  $U = d_{60}/d_{10}$  errechnet sich mit  $U \sim 1,5$ . Nach der DIN 18 196 ist der Sand damit in die Bodengruppe SE (enggestufte Sande) einzuordnen. Nach dem Kommentar zur ZTVE-StB 94, Fassung 1997, ist eine Einordnung in die Verdichtbarkeitsklasse V 1 vorzunehmen.

## **2.2 Proctorversuch**

Im Hinblick auf die Bestimmung der Verdichtungsgrade ist im Laboratorium ein Proctorversuch im kleinen Proctortopf,  $d = 100$  mm, durchgeführt worden. Die bei der Verdichtung mit einfacher Proctorenergie in Abhängigkeit vom Wassergehalt erreichten Trockendichten gehen aus der Proctorkurve in Anlage 2 hervor.

Der Versuch ergibt eine einfache Proctordichte von  $\rho_{Pr} = 1,75$  t/m<sup>3</sup> bei einem optimalen Wassergehalt von  $w_{Pr} = 8,0$  % bis 10,0 %.

## **2.3 Scherfestigkeit**

Um die Scherparameter des Sandes zu bestimmen, ist mit einer Mischprobe ein direkter Scherversuch im Rahmenschergerät nach DIN 18 137, T3, ausgeführt worden. Hierzu wurde die Universität Duisburg/Essen eingeschaltet.

Die Versuchsdaten sowie die Scherspannungs-Verschiebungs- / und Scherspannungs-Normalspannung-Diagramme gehen aus der Anlage 3 hervor. Der Versuch wurde mit Normalspannungen von 50,0, 100,0 und 150,0 kN/m<sup>2</sup> ausgeführt. Der Versuch ergibt einen Reibungswinkel von  $\varphi' = 36^\circ$  ( $c' = 0$ ).

## 2.4 Kompressionsversuch

Zur Bestimmung des Steifemoduls ist mit einer Probe ein Kompressionsversuch nach DIN 18 135 durchgeführt worden.

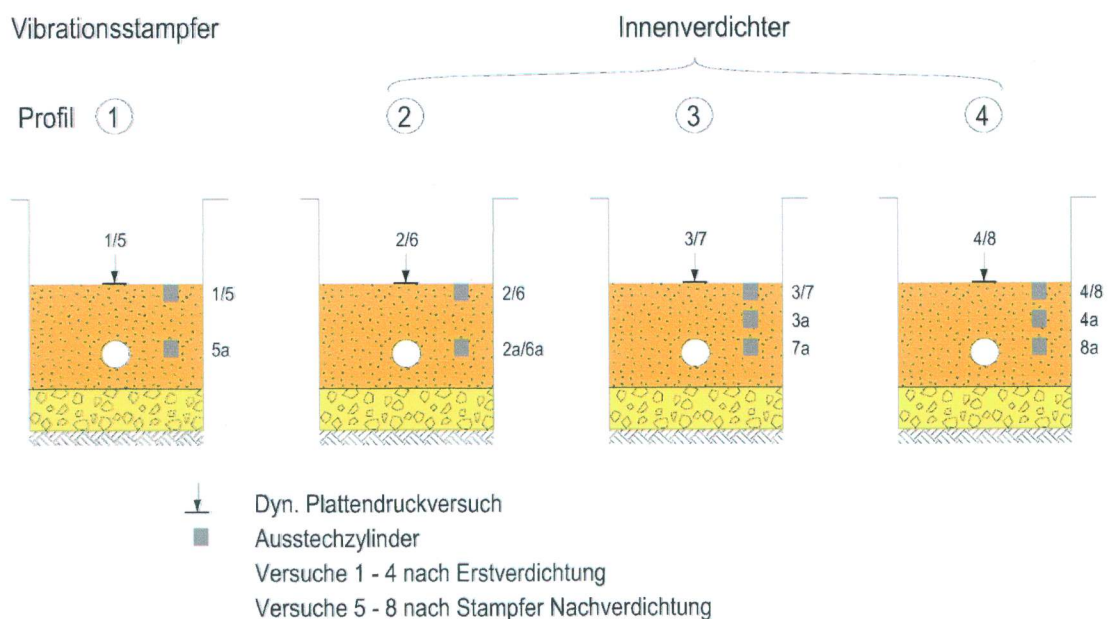
Die für den Normalspannungsbereich bis  $\sigma = 162,63 \text{ kN/m}^2$  ermittelte Drucksetzungslinie geht aus der Anlage 4 hervor. Es ergibt sich ein größter Steifemodul von  $E_S = 30,8 \text{ MN/m}^2$ .

## 3 FELDUNTERSUCHUNG

### 3.1 Allgemeines / Untersuchungsumfang

In der Pilothalung an der Linkstraße in Möhnesee-Delecke sind insgesamt vier Untersuchungsprofile nach dem nachfolgenden Schema gebildet worden.

Bild 1: Versuchsprofile



Das Profil 1 wurde als Referenzprofil ausschließlich mit einem konventionellen Vibrationsstampfer verdichtet. Die Profile 2 bis 4 sind mit dem Innenverdichter verdichtet worden. Dabei liegen die Profile 2 und 3 etwa im Mittelbereich der Haltung, während das Profil 4 im Nahbereich eines anschließenden Schachtes liegt, um den eventuellen Einfluss eines Festpunktes zu erfassen.

Die Leitungszone für das Rohr DN/OD 225 wurde mit dem Sand bis 15 cm unter Rohrsohle bzw. bis 40 cm über Rohrscheitel ausgebildet. Unterhalb der unteren Bettungsschicht war zuvor ein Mineralgemisch 0/45 in einer Schichtdicke von  $d = 30$  cm zur Stabilisierung eingebaut.

In der ersten Versuchsreihe am 13.11.06 wurden Ausstechzylinder von der Oberfläche der Leitungszone sowie bei den Profilen 2 bis 4 aus einem Tiefenbereich von 0,2 m bis 0,4 m entnommen. Von diesen Ausstechzylindern wurde im Labor der Wassergehalt sowie Feucht-/Trockendichte bestimmt. Auf der Oberfläche der Leitungszone sind zusätzlich dynamische Plattendruckversuche mit dem leichten Fallgewicht von 10 kg ausgeführt worden.

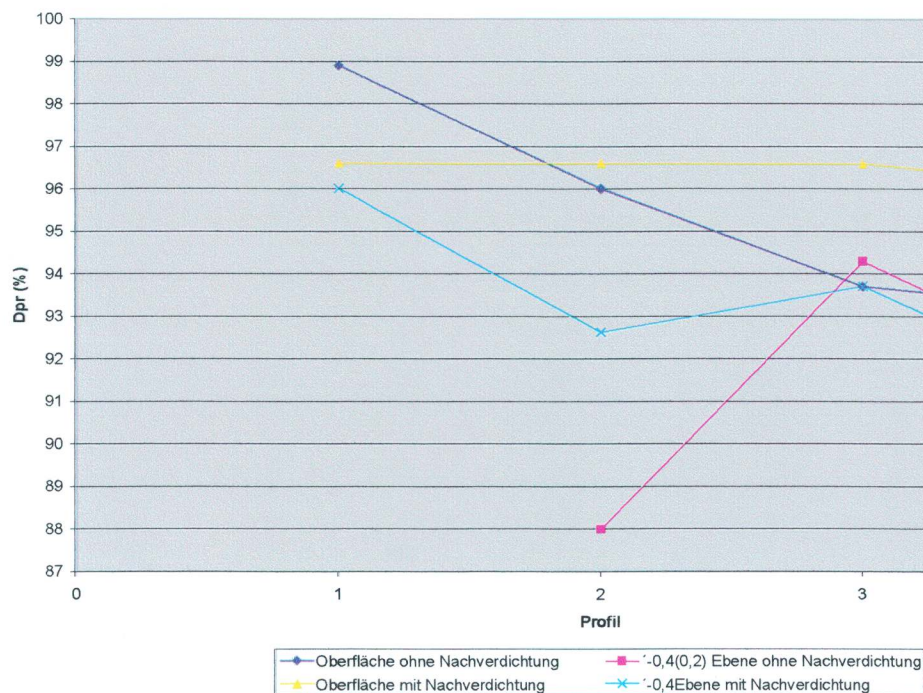
Nach Abschluss der vorgenannten Untersuchungen ist die Oberfläche der Leitungszone in der Gesamthaltung nochmals mit dem Vibrationsstampfer nachverdichtet worden. Danach wurde am 15.11.06 eine zweite Versuchsreihe analog zu dem vorstehend genannten Programm ausgeführt.

Sämtliche Versuchsdaten gehen aus der tabellarischen Zusammenstellung in der Anlage 5 hervor. Die darin errechneten Verdichtungsgrade beziehen sich auf die im Labor ermittelte einfache Proctordichte von  $\rho_{Pr} = 1,75$  t/m<sup>3</sup>.

### **3.2 Verdichtungsgrade**

Die ermittelten Verdichtungsgrade sind im nachfolgenden Diagramm nochmals für die verschiedenen Tiefenbereiche und Verdichtungsphasen für die vier Profile dargestellt.

Bild 2: Verdichtungsgrade



Die Erstversuche auf der Oberfläche zeigen im Referenzprofil 1 mit  $D_{Pr} = 98,9 \%$  einen relativ guten Verdichtungsgrad. In den Profilen 2 bis 4 ergeben sich an der Oberfläche Verdichtungsgrade von  $D_{Pr} = 93,1 \%$  bis  $96,0 \%$ , wobei die Profile 3 und 4 mit  $D_{Pr} = 93,1 \%$  bzw.  $93,7 \%$  in einer ähnlichen Größenordnung liegen.

Für die tieferen Untersuchungszonen der Profile 2 bis 4 ergeben sich Verdichtungsgrade von  $D_{Pr} = 88,0 \%$  bis  $94,3 \%$ . Hier fällt auf, dass sich speziell im Profil 2 eine sehr große Differenz zwischen dem Verdichtungsgrad an der Oberfläche und in der  $-0,4 \text{ m}$ -Zone zeigt. Im Profil 4 liegt der Tiefenwert ebenfalls niedriger; im Profil 3 etwas höher als an der Oberfläche.

Die Nachverdichtung mit dem Vibrationsstampfer zeigt dann für die oberflächen-nahe Zone relativ gleichmäßige Verdichtungsgrade, die zwischen  $D_{Pr} = 96,0 \%$  und  $D_{Pr} = 96,6 \%$  liegen. Für die Profile 2 bis 4 (Innenverdichter) hat sich damit eine mehr oder weniger deutliche Verbesserung sowie eine Vergleichmäßigung

der Verdichtungsgrade ergeben. Im Profil 1 ist allerdings eine Abnahme des Verdichtungsgrades festzustellen.

Die tieferen Zonen sind ebenfalls vergleichmäßig. Für den vormals sehr schlechten Verdichtungsgrad im Profil 2 ergibt sich eine deutliche Steigerung von  $D_{Pr} = 88,0 \%$  auf  $D_{Pr} = 92,6 \%$ . In den Profilen 3 und 4 ist dagegen eine geringfügige Abnahme des Verdichtungsgrades festzustellen.

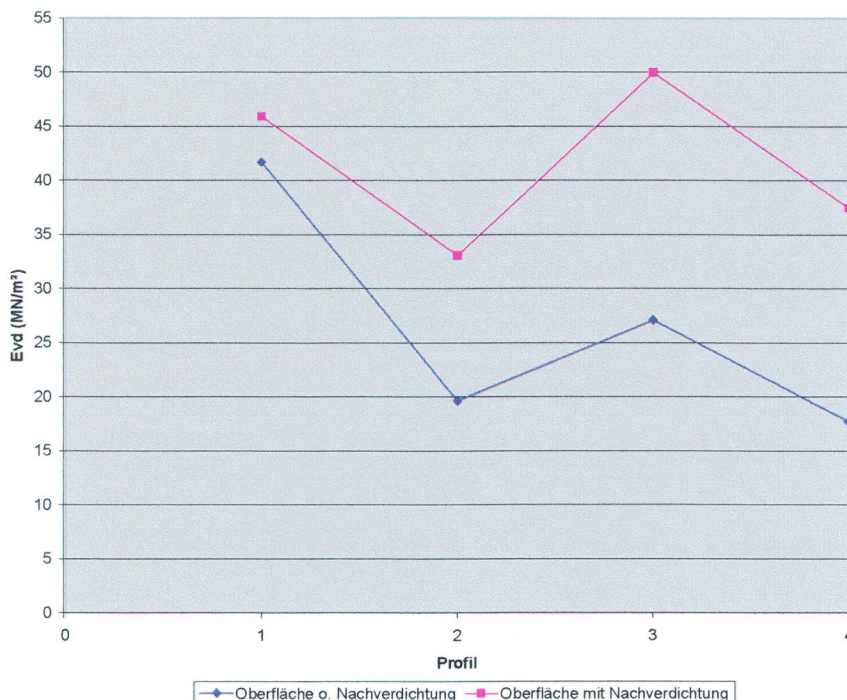
Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass speziell bei Sanden versuchsbedingte Störungen eine Rolle spielen. Für oberflächennahe Bereiche einer Schüttlage spielen selbst bei konventionellen Verdichtungsarbeiten Auflockerungen und Entspannungen eine Rolle. Hier tritt nach den Erfahrungen wieder eine deutliche Verbesserung ein, wenn die nächste Schüttlage in möglichst geringer Dicke aufgebracht und verdichtet wird.

Für die Bewertung der erreichten Verdichtungsrate ist im allgemeinen der in der ZTVE geforderte Mindestverdichtungsgrad von  $D_{Pr} = 97 \%$  zu betrachten. Dieser Wert wird nur im Referenzprofil 1 mit konventioneller Verdichtung annähernd erreicht. Die Profile 2 - 4 zeigen für den Innenverdichter mehr oder weniger große Unterschreitungen an. Die konventionelle Nachverdichtung verbessert nur die obere Zone. In den tieferen Versuchsebenen zeigt sich auch danach keine ausreichende Verdichtung.

### **3.3 Dynamische Plattendruckversuche**

Die ermittelten  $E_{VD}$  Werte sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

Bild 3:  $E_{VD}$  Werte



Die an der Oberfläche ausgeführten dynamischen Plattendruckversuche zeigen nach der Erstverdichtung erhebliche Streuungen. Im Referenzprofil wurde ein Wert von  $E_{VD} = 41,7 \text{ MN/m}^2$  gemessen, während in den Profilen 2 bis 4 die Werte mit  $E_{VD} = 17,7$  bis  $27,1 \text{ MN/m}^2$  deutlich niedriger liegen. Die Nachverdichtung ergibt dann speziell in den Profilen 2 bis 4 eine deutliche Verbesserung der  $E_{VD}$ -Werte, während im Referenzprofil 1 nur noch eine geringfügige Steigerung auftritt. Insgesamt ergeben sich nach der Nachverdichtung mit  $E_{VD} = 33,1 \text{ MN/m}^2$  bis  $50,0 \text{ MN/m}^2$  immer noch erhebliche Streuungen.

Halbach + Lange Ingenieurbüro



(Halbach)

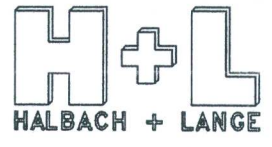
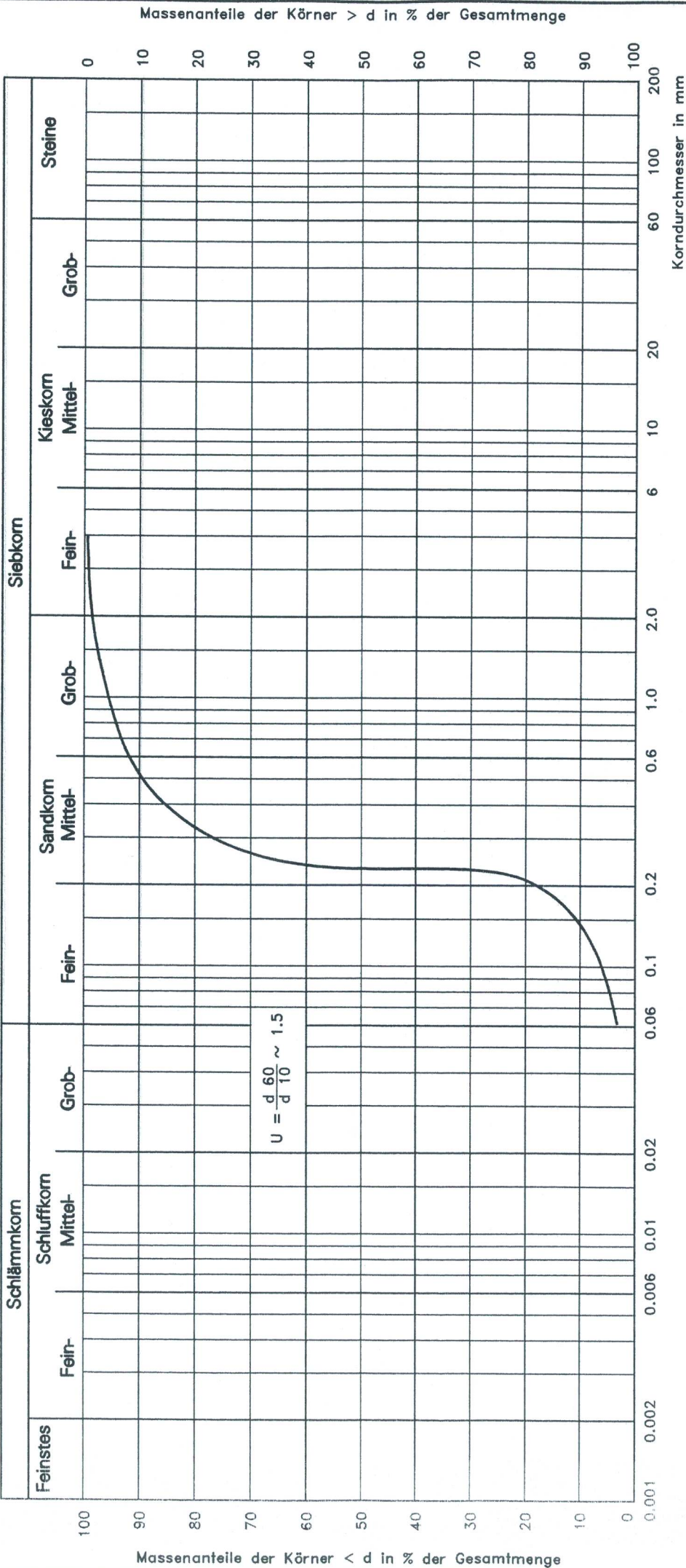


(Lange)

5 Anlagen

Verteiler: S&P Consult GmbH, 3-fach + 1 x digital (PDF)

# Korngrößenverteilung nach DIN 18 123



Anlage: 1

Projekt-Nr.: 06.118	Labor-Nr. / Aufschluß		Tiefe [m]	Signatur	Bodenart	w [%]	s [g/cm <sup>3</sup> ]	k [m/s]	VGL [%]	VCa [%]
	Auftraggeber: S & P Consult	Schurf								
Projekt: Pilsitzrecke 1 Mönnesee-Delecke										

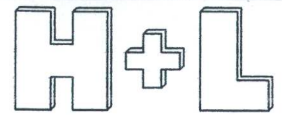


Projekt Nr.: 06.118

Proctorversuch

(Blatt 2)

DIN 18 127



HALBACH + LANGE

Anlage: 2

Datum: 02.12.06

Auftraggeber: S & P Consult Lab./Sa.: Mal/Ha

Bauvorhaben/Ort: Pilotstrecke 1, Möhnensee-Delecke

bauausführende Firma: \_\_\_\_\_

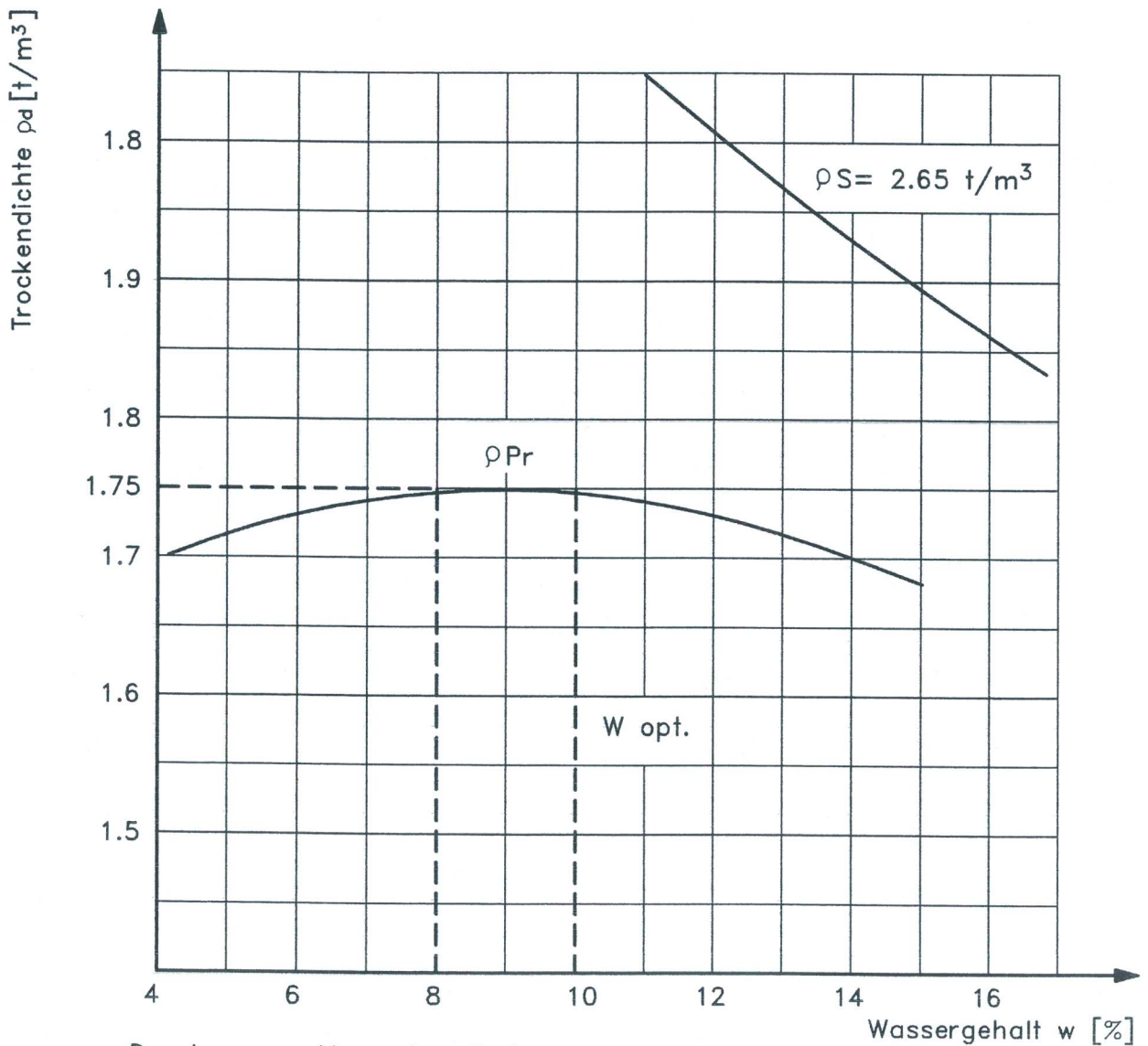
Labor-Nr.: 070094

Bodenart: S

Tiefe: MP

Probenart: Tüte

Proctorkurve



Durchmesser Versuchszylinder: 10 cm

Überkornanteil: - %

Proctordichte	$\rho_{Pr}$	[t/m <sup>3</sup> ]	1.75
modifizierte Proctordichte	mod $\rho_{Pr}$	[t/m <sup>3</sup> ]	
optimaler Wassergehalt	$w_{Pr}$	[%]	8.0 . 10.0
Grenzwassergehalt bei _____	$\rho_{Pr}$	min w [%]	
		max w [%]	

06118pr1

<b>Universität Duisburg - Essen</b> Prof. Dr.- Ing. W. Richwien Institut für Grundbau und Bodenmechanik		<b>Direkter Scherversuch</b> DIN 18137 T.3 <b>Ergebnisse für Labor-Nr.98-06</b>					
Auftraggeber: Halbach & Lange		Projekt-Nr.: H+L-0306					
Bauvorhaben: Projekt 06118							
Entnahmeort: Möhnensee		Bo/Sch-Nr.:					
Bodenart: fS		Tiefe [m]:					
Kantenlänge [cm]	10	Buchsenfläche [cm <sup>2</sup> ]	100	Schergeschw. [mm/h]	10	gest.	
Feuchtdichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,7823		1,7888		1,7937		
Trockendichte $\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	1,6512		1,6572		1,6617		
		Einbau	Ausbau	Einbau	Ausbau	Einbau	Ausbau
Wassergehalt w [-]	0,0794		0,0794		0,0794		
Konsolidierungsdauer [h]	0,5		0,5		0,5		
Normalspannung $\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	50,0		100,0		150,0		
Verschiebung $\Delta l$ [mm]	1,05		1,61		3,1		
Scherspannung $\tau$ [kN/m <sup>2</sup> ]	41,58		72,18		110,37		

Scherspannung-Verschiebungs-Diagramm

Scherspannung-Normalspannungs-Diagramm

**Scherparameter**

$\varphi' = 36 [^\circ]$   
 $c' = 0 [kN/m^2]$

**Bemerkungen:**

**Datum:** 29.11.06  
**Laborant:** Neef

<b>Universität Duisburg - Essen</b> Prof. Dr.- Ing. W. Richwien Institut für Grundbau und Bodenmechanik	<b>Kompressionsversuch</b> E DIN 18135 <b>Ergebnisse für Labor-Nr. 98-06(Wdh.)</b>
---	--

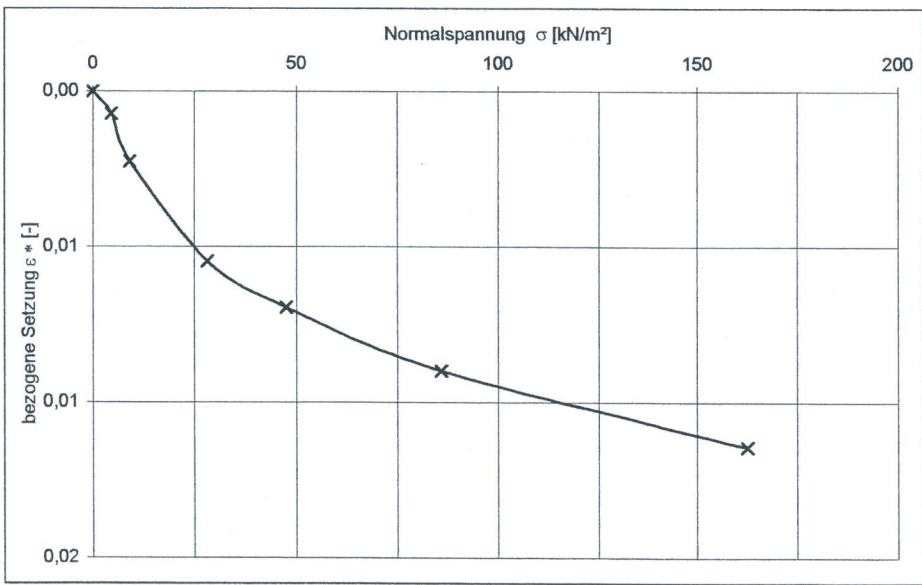
Auftraggeber:	Halbach & Lange	Projekt Nr.:	H+L - 0306
Bauvorhaben:	Projekt 06118		
Entnahmeort:	Möhnesee	Bo/ Sch-Nr.:	MP
Bodenart:	fS	Tiefe [m]:	

Einbau		w [-]	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]	
$h_0$ [cm]	3,45	Einbau	0,0699	1,7664	1,6510
A [cm <sup>2</sup> ]	65,18	Ausbau	0,0599	1,7684	1,6685

**Belastung**

Laststufe	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\epsilon^*$ [-]	$E_s$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	4,6	0,001	6348,0
2	9,21	0,002	2998,7
3	28,38	0,005	5944,8
4	47,56	0,007	12903,6
5	85,92	0,009	18774,5
6	162,63	0,011	30855,5

**Drucksetzungslinie**



Bemerkungen:	Datum: 30.01.2007
	Laborant: kr

Profil-Nr.	Versuchs-Nr.	Datum	Verdichtungsart	Versuchsebene	Feuchtdichte $\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	Wassergehalt w (%)	Trockendichte $\rho_d$ (t/m <sup>3</sup> )	Verdichtungsgrad bezogen auf $\rho_{Pr} = 1,75 \text{ t/m}^3$	$E_{vd}$ MN/m <sup>2</sup>
1	1	13.11.06	a	0,00 <sup>1)</sup>	1,94	11,95	1,73	98,9	41,70
2	2	"	b	0,00	1,86	10,77	1,68	96,0	19,60
"	2a	"	b	-0,40	1,69	9,53	1,54	88,0	-
3	3	"	b	0,00	1,82	10,69	1,64	93,7	27,10
"	3a	"	b	-0,25	1,88	13,69	1,65	94,3	-
4	4	"	b	0,00	1,85	13,21	1,63	93,1	17,70
"	4a	"	b	-0,20	1,80	12,56	1,60	91,4	-
1	5	15.11.06	c	0,00	1,82	7,74	1,69	96,6	45,90
"	5a	"	c	-0,40	1,92	14,04	1,68	96,0	-
2	6	"	d	0,00	1,83	8,44	1,69	96,6	33,10
"	6a	"	d	-0,40	1,86	14,78	1,62	92,6	-
3	7	"	d	0,00	1,80	6,52	1,69	96,6	50,00
"	7a	"	d	-0,40	1,89	15,49	1,64	93,7	-
4	8	"	d	0,00	1,82	8,12	1,68	96,0	37,50
"	8a	"	d	-0,40	1,75	9,90	1,59	90,9	-

1) OK Bettungszone

Verdichtungsart

- a Stampfer
- b Innenverdichter
- c Stampfer + Nachverdichtung mit Stampfer an der Oberfläche
- d Innenverdichter + Nachverdichtung mit Stampfer an der Oberfläche