

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

1. März 2007

ha/cs □ 06118b02.doc

Projekt-Nr. 06.118

***F + E Vorhaben Innenverdichter
Pilothaltung 2, Möhnensee-Körbecke
- 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 Möhnensee-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 (s. Bericht vom 28.02.2007).

Eine zweite Pilothaltung ist dann Ende Januar/ Anfang Februar 2007 in Möhnensee-Körbecke, Giesenbrink, ausgeführt worden. Einzelheiten zu den Untersuchungen in der Pilothaltung 2 werden nachfolgend beschrieben. Auf die labormäßige Bestimmung der Scherfestigkeit und des Steifemoduls wurde verzichtet. Hierzu kann mit ausreichender Genauigkeit auf die Ergebnisse der Pilothaltung 1 zurückgegriffen werden.

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

2 LABORATORIUMSUNTERSUCHUNGEN

2.1 Korngrößenverteilung

Für die Verfüllung der Rohrleitungszone ist in der Pilotstrecke 2 ebenfalls ein Sand der Körnung 0/2 eingesetzt worden. Um die genaue Korngrößenverteilung zu dokumentieren, 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. 3 Gew.-% festgestellt.

Der Ungleichförmigkeitsgrad $U = d_{60}/d_{10}$ errechnet sich mit $U \sim 2,1$. 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 $\rho_{Pr} = 1,72$ t/m³ bei einem optimalen Wassergehalt von $w_{Pr} = 6,5$ % bis 7,5 %.

3 FELDUNTERSUCHUNGEN

3.1 Allgemeines / Untersuchungsumfang

In der Pilothaltung 2 in Möhnensee-Körbecke sind insgesamt 13 Untersuchungsprofile gebildet worden. Einzelheiten gehen aus der Tabelle in Anlage 3 hervor. Die Stationsangabe bezieht sich auf den Beginn der Haltung bei Schacht 09M0011910n. Die Leitungszone für das Rohr DN/OD 200 wurde mit dem Sand bis 15 cm unter Rohrsohle bzw. ca. 35 cm bis 40 cm über Rohrscheitel ausgebildet.

Die Profile 1 und 2 wurden als Referenzprofile ausschließlich mit einem konventionellen Vibrationsstampfer verdichtet. Die Profile 3 bis 13 sind mit dem Innenverdichter verdichtet worden.

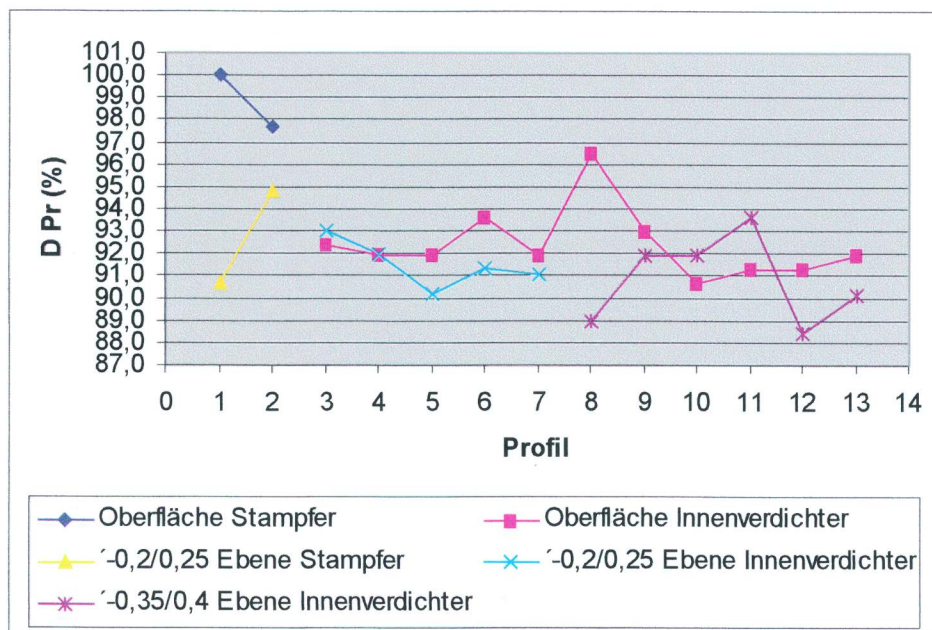
In den Untersuchungsprofilen wurden Ausstechzylinder von der Oberfläche der Leitungszone sowie aus einem Tiefenbereich von 0,2 m bis 0,4 m entnommen. Von diesen Ausstechzylindern wurde im Labor der Wassergehalt sowie Feucht-/Trockendichte bestimmt. Auf der Oberfläche der Leitungszone sind zusätzlich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

Sämtliche Versuchsdaten gehen aus der tabellarischen Zusammenstellung in der Anlage 3 hervor. Die darin errechneten Verdichtungsgrade beziehen sich auf die im Labor ermittelte einfache Proctordichte von $\rho_{Pr} = 1,72 \text{ t/m}^3$.

3.2 Verdichtungsgrade

Die ermittelten Verdichtungsgrade sind im nachfolgenden Diagramm nochmals für die verschiedenen Tiefenbereiche dargestellt.

Bild 1: Verdichtungsgrade



Die konventionell mit dem Vibrationsstampfer verdichteten Profile 1 und 2 zeigen bei der Oberflächenbeprobung relativ hohe Verdichtungsgrade von 100,0 bzw. 97,7 %. In den größeren Beprobungstiefen wurden im Profil 1 und 2 lediglich Verdichtungsgrade von 90,7 % und 94,8 % festgestellt.

Die mit dem Innenverdichter verdichteten Untersuchungsprofile zeigen für die Oberfläche vorwiegend Verdichtungsgrade zwischen 91 % und 94 %. Ein geringerer Wert ergibt sich mit 90,7 % im Profil 10; ein deutlich höherer Wert mit 96,5 % im Profil 8. Für die größeren Beprobungstiefen liegen die Verdichtungsgrade im wesentlichen zwischen 90 % und 93 %. Die Profile 8 und 12 zeigen mit 89,0 % bzw. 88,4 % deutlich geringere Verdichtungsgrade, das Profil 11 mit 93,6 % einen etwas höheren Verdichtungsgrad. Zwischen den oberflächennahen Werten und den tieferen Zonen ergibt sich keine eindeutige Beziehung. Die Mehrzahl der Werte liegt in den tieferen Zonen etwas niedriger als an der Oberfläche. In den Profilen 3, 10 und 11 wurden etwas höhere Werte gemessen.

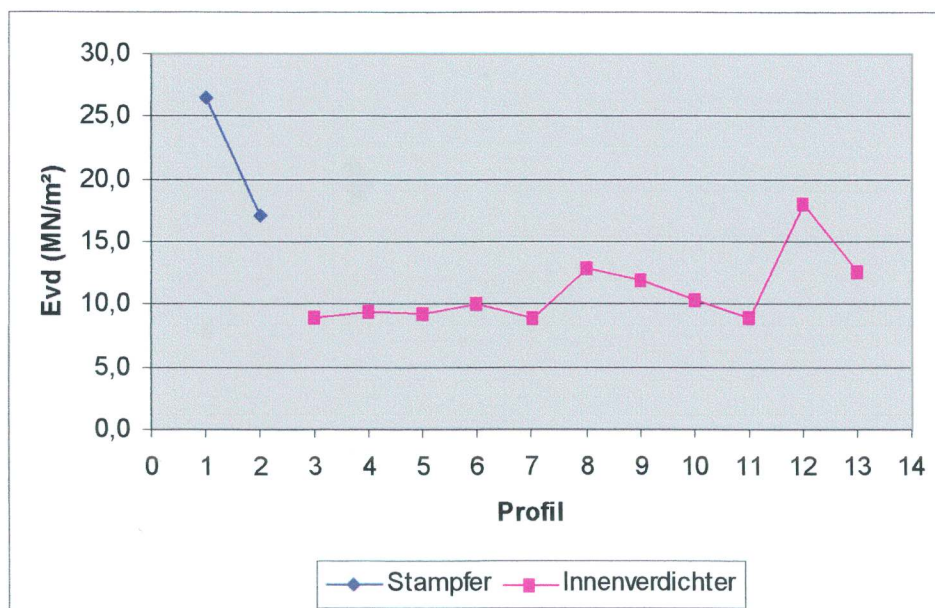
Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass speziell bei Sanden versuchsbedingte Störungen eine Rolle spielen. Für oberflächennahe Bereiche einer Schüttlage spielen selbst bei konventionellen Verdichtungsarbeiten Auflockerungen und Entspannungen eine Rolle. Hier tritt nach den Erfahrungen wieder eine deutliche 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 an der Oberfläche der Referenzprofile 1 und 2 mit konventioneller Verdichtung erreicht bzw. überschritten. Die Profile 3 bis 13 zeigen für den Innenverdichter mehr oder weniger große Unterschreitungen an.

3.3 Dynamische Plattendruckversuche


Die auf der Oberfläche der Leitungszone ermittelten E_{Vd} Werte sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

Bild 2: E_{Vd} Werte



Die Versuche zeigen in den Referenzprofilen mit $E_{VD} = 26,5$ bzw. $17,0 \text{ MN/m}^2$ eine relativ große Streuung. Für die Profile 3 bis 13 fällt auf, dass eine Vielzahl von Messwerten um einen E_{VD} -Wert von 9 bis 10 MN/m^2 liegt. In den Profilen 8 und 13 ergeben sich mit $12,9$ bzw. $12,6 \text{ MN/m}^2$ etwas höhere Werte. Ein deutlich höherer E_{VD} -Wert ergibt sich in Profil 12 mit $18,0 \text{ MN/m}^2$. Damit wird etwa die Größenordnung des Referenzprofils 2 erreicht.

Halbach + Lange Ingenieurbüro

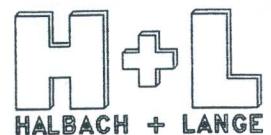
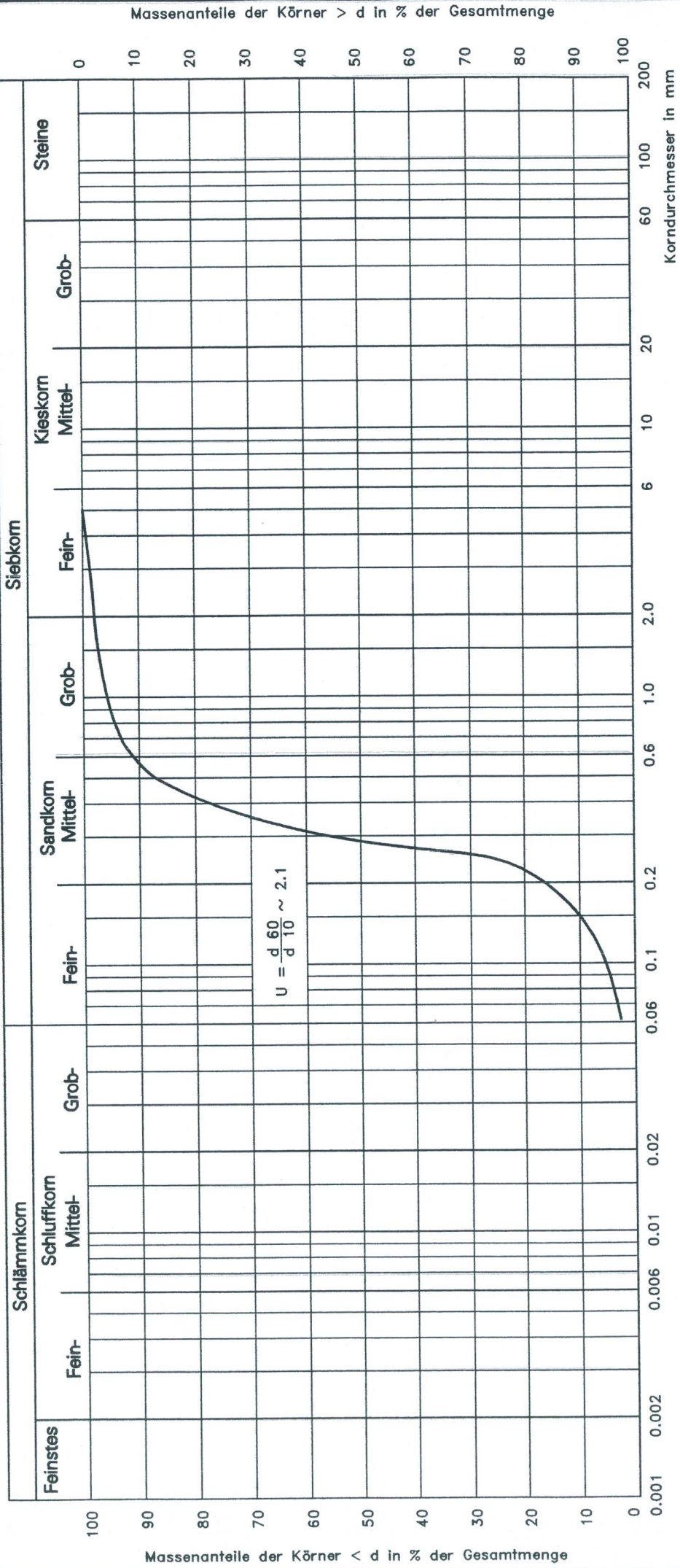


(Halbach) (Lange)

3 Anlagen

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

Korngrößenverteilung nach DIN 18 123



Anlage: 1

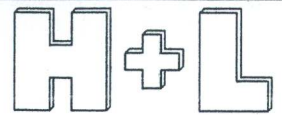
Projekt-Nr.:	Labor-Nr.:	Aufschluß vom:	Tiefe [m]	Signatur	Bodenart	w [%]	s [g/cm³]	k [m/s]	VGL [%]	VCa [%]
06.118	070095	02.02.07	MP	—	mS, fs, gs'	—	—	—	—	—
Auftraggeber: S & P Consult										
Projekt: Pilotstrecke 2 Möhnesee-Körbecke										

Projekt Nr.: 06.118

Proctorversuch

(Blatt 2)

DIN 18 127



HALBACH + LANGE

Anlage: 2

Datum: 28.02.07

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

Bauvorhaben/Ort: Pilotstrecke 2, Möhneseekörbecke

bauausführende Firma: _____

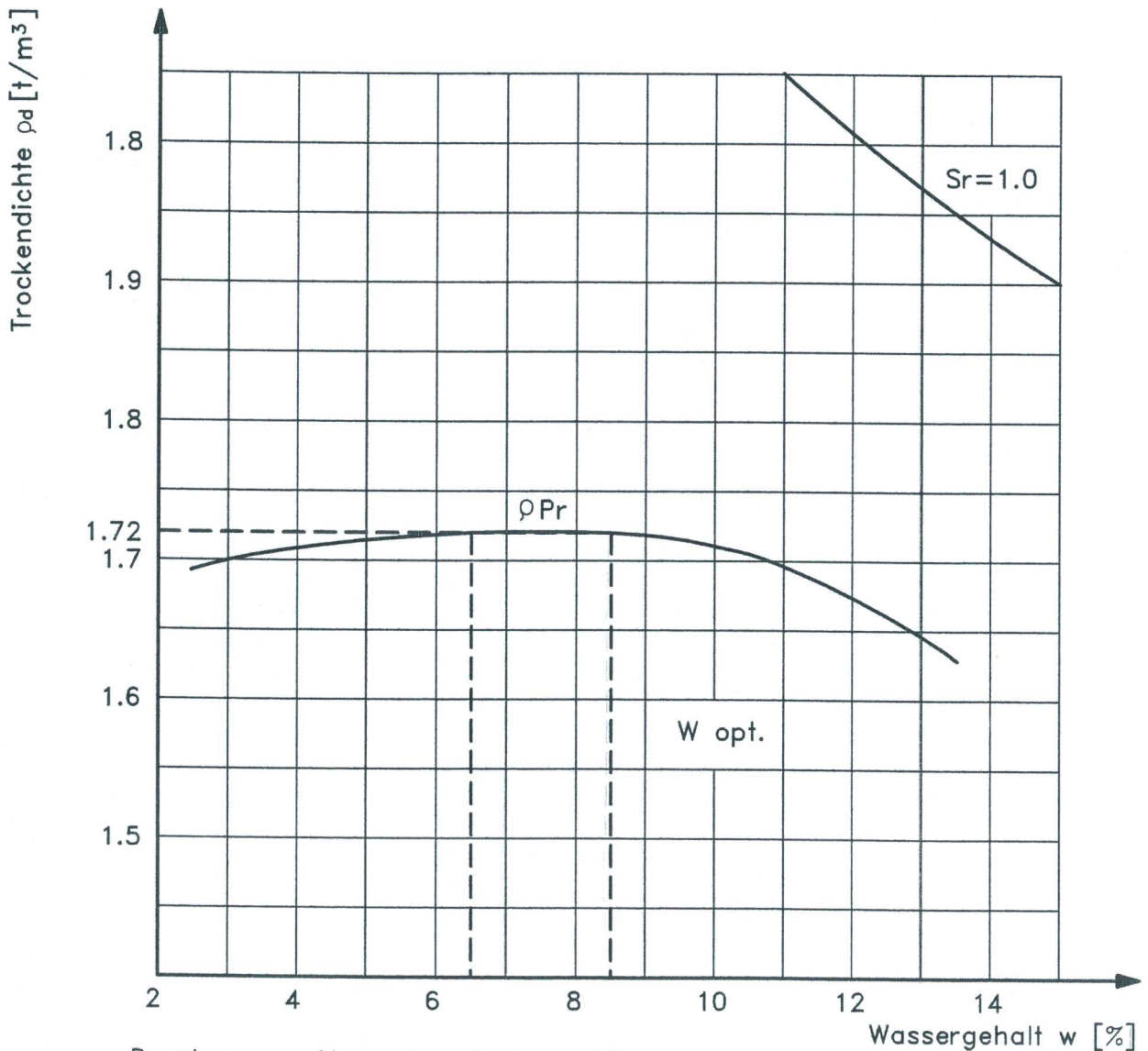
Labor-Nr.: 070095

Bodenart: S

Tiefe: MP

Probenart: Eimer

Proctorkurve



Durchmesser Versuchszylinder: 10 cm

Überkornanteil: - %

Proctordichte	ρ_{Pr}	[t/m ³]	1.72
modifizierte Proctordichte	mod ρ_{Pr}	[t/m ³]	
optimaler Wassergehalt	w _{Pr}	[%]	6.5 - 8.5
Grenzwassergehalt bei _____	ρ_{Pr}	min w	[%]
		max w	[%]

Profil	Station ¹⁾ (m)	Versuchs- Nr	Datum	Verdichtungs- art	Versuchs- ebene	Feuchtdichte ρ (t/m ³)	Wassergehalt w (%)	Trockendichte ρ d(t/m ³)	Verdichtungsgrad bezogen auf $\rho_{Pr} = 1,72 \text{ t/m}^3$	E_{vd} MN/m ²
1	1,7-2,1	1	30.01.07	a	0,00 ²⁾	1,84	6,41	1,72	100,0	26,5
	1,7-2,1	2	"	a	-0,20	1,65	5,84	1,56	90,7	-
2	3,6-4,3	3	"	a	0,00	1,79	6,80	1,68	97,7	17,0
	3,6-4,3	4	"	a	-0,25	1,76	7,62	1,63	94,8	-
3	6,4-7,6	5	"	b	0,00	1,69	6,16	1,59	92,4	8,9
	6,4-7,6	6	"	b	-0,20	1,71	6,77	1,60	93,0	-
4	13,1-14,9	7	"	b	0,00	1,70	7,19	1,58	91,9	9,4
	13,1-14,9	8	"	b	-0,20	1,68	6,51	1,58	91,9	-
5	18,0-19,8	9	"	b	0,00	1,69	6,54	1,58	91,9	9,2
	18,0-19,8	10	"	b	-0,20	1,64	6,00	1,55	90,1	-
6	21,7-23,2	11	02.02.07	b	0,00	1,71	6,22	1,61	93,6	10,0
	21,7-23,2	12	"	b	-0,25	1,71	8,42	1,57	91,3	-
7	26,2-27,4	13	"	b	0,00	1,70	7,26	1,58	91,9	8,9
	26,2-27,4	14	"	b	-0,25	1,67	7,33	1,56	91,0	-
8	32,8-33,8	15	"	b	-0,05	1,81	8,70	1,66	96,5	12,9
	32,8-33,8	16	"	b	-0,25	1,65	7,82	1,53	89,0	-
9	38,4-39,4	17	07.02.07	b	0,00	1,72	7,33	1,60	93,0	12,0
	38,4-39,4	18	"	b	-0,35	1,71	7,96	1,58	91,9	-
10	44,1-44,9	19	"	b	-0,05	1,68	7,70	1,56	90,7	10,4
	44,1-44,9	20	"	b	-0,40	1,66	7,21	1,58	91,9	-
11	49,6-50,4	21	"	b	0,05	1,71	9,11	1,57	91,3	8,9
	49,6-50,4	22	"	b	-0,35	1,74	7,98	1,61	93,6	-
12	52,4-53,1	23	"	b	-0,05	1,70	8,08	1,57	91,3	18,0
	52,4-53,1	24	"	b	-0,40	1,64	8,12	1,52	88,4	-
13	56,2-56,8	25	"	b	-0,05	1,70	7,77	1,58	91,9	12,6
	56,2-56,8	26	"	b	-0,35	1,69	8,91	1,55	90,1	-

1) Station 0,0 = Schacht 09M0011910

2) 0,00 OK Leitungszone

Verdichtungsart: a Stampfer b Innenverdichter