

Eva Dornecker

Lagerungsdichte als Grundlage für die Einteilung in Homogenbereiche?

Einteilung des Baugrundes in Homogenbereiche

Hannover, 30. Januar 2018

Beschreibung von Boden nach VOB/C -Normen

■ 2.3 Einteilung von Boden und Fels in Homogenbereiche

.....

Für die Homogenbereiche sind folgende Eigenschaften und Kennwerte sowie deren ermittelte Bandbreite anzugeben.

Nachfolgend sind die Normen oder Empfehlungen angegeben, mit denen diese Kennwerte ggf. zu überprüfen sind

Für Boden:

„.....

- Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1,
- Plastizitätszahl nach DIN 18122-1,
- Konsistenzzahl nach DIN 18122-1,
- **Lagerungsdichte** Definition nach DIN EN ISO 14688-2, Bestimmung nach DIN 18126,
- organischer Anteil nach DIN 18128 sowie
- Bodengruppen nach DIN 18196.

.....“

Quelle: DIN 18300:2016-09

Definition der Lagerungsdichte

3.11 bezogene Lagerungsdichte

I_D

Index von grobkörnigen Böden (Kies und Sand), der abhängig von der Porenziffer e und den Porenverhältnissen bei der kleinsten Dichte e_{\max} und der größten Dichte e_{\min} , wie sie im Labor bestimmt werden, ist

3.2 Korrelation von Bezeichnungen für die Dichte von Sanden und Kies

Die Bezeichnungen, die für die Klassifizierung der bezogenen Lagerungsdichte I_D verwendet werden, sind sehr locker, locker, mitteldicht, dicht und sehr dicht (siehe Tabelle 4). Die bezogene Lagerungsdichte kann aus den Ergebnissen von Feldversuchen bestimmt werden (siehe z. B. EN 1997-2). Solche Feldversuche sind z. B. Rammsondierungen (DP) nach ISO 22476-2, Standard Penetration Tests (SPT) nach ISO 22476-3, Drucksondierungen (CPT) nach ISO 22476-1 und Pressiometerversuche (PMT) nach ISO 22476-4, ISO 22476-6 und ISO 22476-8. Diese Dokumente werden gegenwärtig erarbeitet.

Quelle: DIN EN 14688-2:2013-12

⇒ **DIN 14688-2 definiert nur die bezogene Lagerungsdichte I_D und nicht die Lagerungsdichte D**

Definition der Lagerungsdichte

Lagerungsdichte: $D = \frac{\max n - n}{\max n - \min n}$ mit $e = \frac{n}{1-n}$ Bezogene Lagerungsdichte: $I_D = \frac{\max e - e}{\max e - \min e}$

n (aus Versuchen)	$e = \frac{n}{1-n}$	D	I_D
$\max n = 0,5$	1,000		
$\min n = 0,3$	0,429		
$n = 0,4$	0,667	0,500	0,583

Die Lagerungsdichte/bezogene Lagerungsdichte ist keine absolute Größe sondern sie gibt Auskunft über den Verdichtungsgrad eines Bodens innerhalb der für diesen Boden möglichen Grenzen.

Die Zahlenwerte für Lagerungsdichte D und die bezogene Lagerungsdichte I_D sind nur bei maximaler bzw. minimaler Verdichtung identisch:

$$n = \max n \quad D = I_D = 0,0$$

$$n = \min n \quad D = I_D = 1,0$$

Definition der Lagerungsdichte

Zur verbalen Beschreibung der Lagerungsdichte/bezogenen Lagerungsdichte werden dieselben Begriffe verwendet: sehr locker, locker, mitteldicht, dicht, sehr dicht

Bezeichnungen	bezogene Lagerungsdichte
	I_D %
sehr locker	0 bis 15
locker	15 bis 35
mitteldicht	35 bis 65
dicht	65 bis 85
sehr dicht	85 bis 100

D	0–0,15	0,15–0,30	0,30–0,50	0,50–0,80	> 0,80
Benennung	sehr locker	locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht

Verknüpfung von Zahlenwerten und Begriffen für die Lagerungsdichte D

Quelle: von Soos und Engel Grundbautaschenbuch, 7. Auflage, Teil 1 (2008),

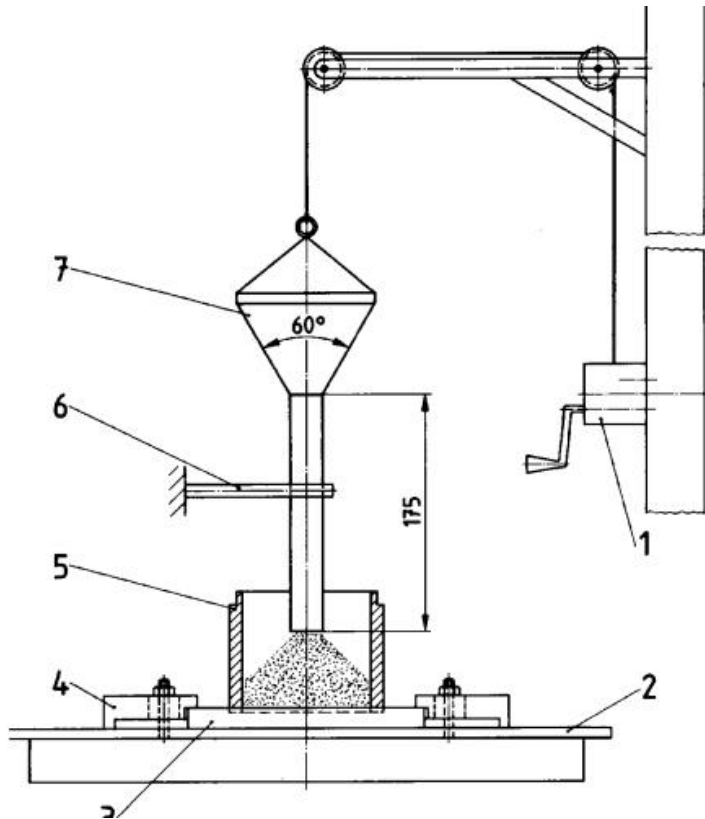
DIN EN ISO 14688-2, Tabelle 4: Bezeichnungen für bezogene Lagerungsdichte

Quelle: DIN EN ISO 14688-2:2013-12, Tabelle 4

Korrekte Bezeichnung ist erforderlich!

n (aus Versuchen)	$e = \frac{n}{1-n}$	D	I_D
$max\ n = 0,5$	1,000		
$min\ n = 0,3$	0,429		
$n = 0,4$	0,667	0,500	0,583

Bestimmung der Lagerungsdichte nach DIN 18126



Trichter mit Vorrichtung zum zentrischen Hochziehen

Quelle: DIN 18126: 1989, Bild 5

Einbau in lockerster und dichtester Lagerung

Trockendichte bei lockerster und dichtester

Lagerung : $\rho_d = \frac{m_d}{V}$

$$\max n = 1 - \frac{\min \rho_d}{\rho_s}$$

$$\min n = 1 - \frac{\max \rho_d}{\rho_s}$$

8.3 Abgeleitete Größen

Abgeleitete Größen sind:

- Lagerungsdichte D nach 3.7,
- die bezogene Lagerungsdichte I_D nach 3.8 und
- die Verdichtungsfähigkeit I_f nach 3.9.

Diese sind auf 0,01 anzugeben.

Es fehlt n oder e des Bodens in situ!

$$\text{Lagerungsdichte } D = \frac{\max n - n}{\max n - \min n}$$

$$\text{Bezogene Lagerungsdichte : } I_D = \frac{\max e - e}{\max e - \min e}$$

Bestimmung der Porenzahl n des Bodens in situ

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad \text{und} \quad \rho_d = \frac{m_d}{V}$$

➔ Masse und Volumen dürfen nicht verändert werden

Bodeneigenschaften/Güteklasse	1	2	3	4	5
Bodeneigenschaften, die unverändert sind:					
Korngrößenverteilung	*	*	*	*	
Wassergehalt	*	*	*		
Durchlässigkeit	*				
		*	*	*	*
Schichtgrenzen, grob					
Schichtgrenzen, feine Unterteilung					
Konsistenzgrenzen, Korndichte, organische Bestandteile					
Wassergehalt					
Dichte, Lagerungsdichte, Porosität, Durchlässigkeit	*	*			
Zusammendrückbarkeit, Scherfestigkeit	*				
Kategorie der Probeentnahme entsprechend EN ISO 22475-1	A				
	B				
				C	

Die Gewinnung von „Bodenproben der Güteklasse 1 oder 2“ ist in nichtbindigen Böden mit den üblichen Bohrverfahren nicht möglich!



Quelle: DIN EN 1997-2, Tabelle 3.1

Bestimmung der Porenzahl n des Bodens in situ

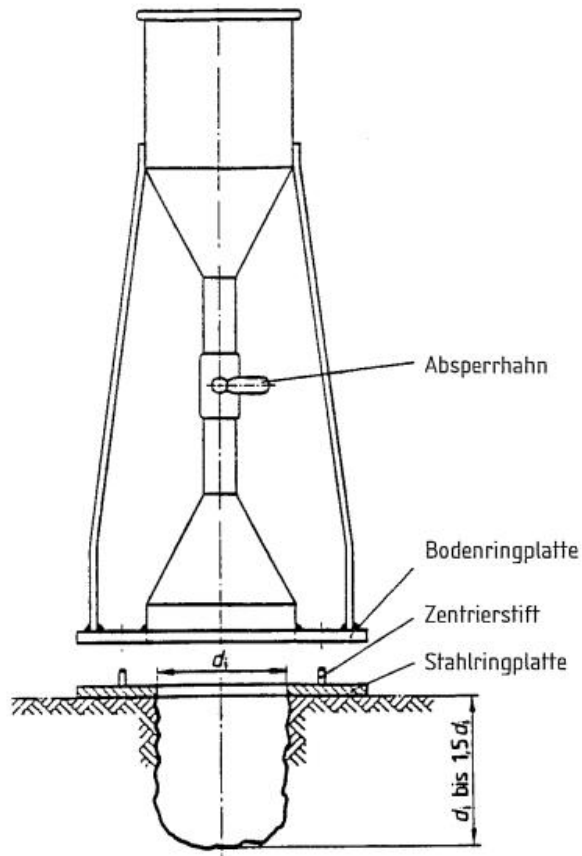


Bild 2: Doppeltrichter mit Stahringplatte

Quelle: DIN 18125:1999-08

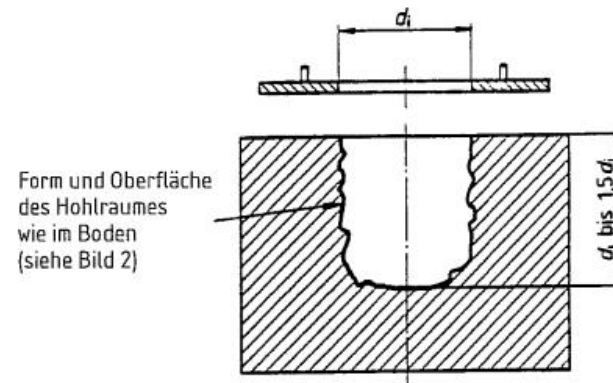
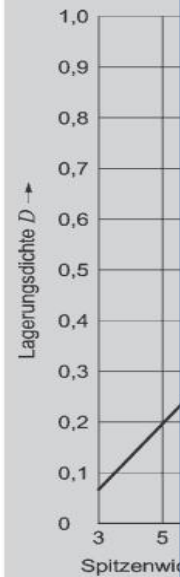


Bild 3: Prüfgefäß und Stahringplatte

Nur oberflächennah und über dem Grundwasserspiegel
Die Bestimmung der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden über Laborversuchen ist in der Regel nicht möglich

Bestimmung der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden über Korrelationen

Beispiele für den Zusammenhang zwischen dem Spitzendruck q_c der Drucksonde (CPT) und der Lagerungsdichte für enggestuften grobkörnigen Sand



Beispiele für Korrelationen von Schlagzahlen und bezogener Lagerungsdichte

(1) Dies sind Beispiele für die aus Rammsondierungen DP abgeleitete bezogene Lagerungsdichte (I_D) für verschiedene Werte der Ungleichförmigkeitszahl C_U (Gültigkeitsbereich: $3 \leq N_{10} \leq 50$):

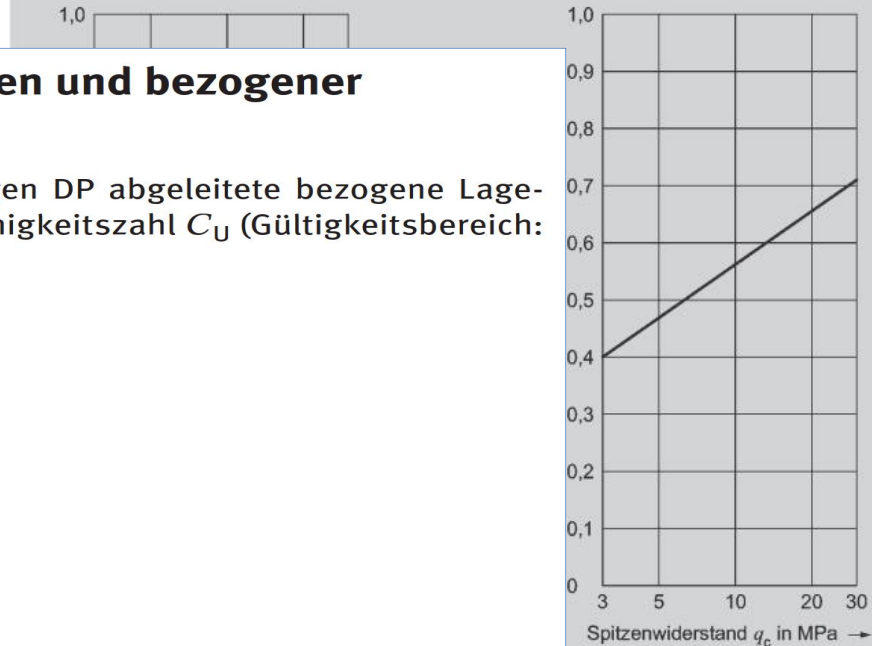
- enggestufter Sand ($C_U \leq 3$) über Grundwasser
 $I_D = 0,15 + 0,260 \lg N_{10L}$ (DPL)
 $I_D = 0,10 + 0,435 \lg N_{10H}$ (DPH)
- enggestufter Sand ($C_U \leq 3$) unter Grundwasser
 $I_D = 0,21 + 0,230 \lg N_{10L}$ (DPL)
 $I_D = 0,23 + 0,380 \lg N_{10H}$ (DPH)
- weitgestufter Sand-Kies ($C_U \geq 6$) über Grundwasser
 $I_D = -0,14 + 0,550 \lg N_{10H}$ (DPH).

ANMERKUNG Diese Beispiele wurden von Stenzel et al. (1978) und in DIN 4094-3 veröffentlicht. Für weitere Informationen und Beispiele siehe X.3.4.

Quelle: Handbuch Eurocode 7, Band 2, Anhang G.1

Gruppensymbol	SE
Ungleichförmigkeitszahl	$C_U \leq 3$
Ausgangsgröße	N_{10L}, N_{10H}
Zielgröße	I_D

Bild A D.1: Zusammenhang zwischen dem Spitzenwiderstand der Drucksonde und der Lagerungsdichte bzw. der bezogenen Lagerungsdichte in enggestuftem Sand



		Gültigkeitsbereich
Ungleichförmigkeitszahl	$C_U \geq 6$	$3 \leq q_c \leq 30$
Ausgangsgröße	q_c in MPa	
Zielgröße	D, I_D	

Bild A D.2: Zusammenhang zwischen dem Spitzenwiderstand der Drucksonde und der Lagerungsdichte bzw. der bezogenen Lagerungsdichte in Sand-Kies-Gemischen

Quelle: Handbuch Eurocode 7, Band 2, Anhang A D.8

Bestimmung der Lagerungsdichte nichtbindiger Böden über Korrelationen

Nach von Soos und Engel (2008)		Sondierwiderstand q_c zu D nach Handbuch Eurocode 7, Band 2, A D.8 sowie das aus q_c errechnete I_D				Sondierwiderstand N_{10} (DPH) zu I_D nach Handbuch Eurocode 7, Band 2, Anhang G.1	
Bezeichnung für D	D [%]	SE (Bild A D.1)		SW/GW (Bild A D.2)		SE unter /über Grundwasserspiegel	
		q_c MN/m ²	I_D in %	q_c	I_D aus q_c I_D in %	N_{10} aus I_D	N_{10} aus I_D
Sehr locker	0 bis 15	< 4,3	< 13	< 0,9	< 24	< 1,0	< 1,0
Locker	15 bis 30	4,3 bis 7,6	13 bis 31	0,9 bis 2,7	24 bis 38	1,0 bis 2,0	1,0 bis 3,0
Mitteldicht	30 bis 50	7,6 bis 16,5	31 bis 56	2,7 bis 10,7	38 bis 57	2,0 bis 7	3,0 bis 11
dicht	50 bis 80	16,5 bis 52,1	56 bis 92	10,7 bis 87	57 bis 85	7 bis 67	11 bis 78
sehr dicht	80 bis 100	> 52,1	> 92	> 87	> 85	> 67	> 78

Die Korrelationen sind nicht anwendbar!

außerhalb des Gültigkeitsbereichs der Gleichungen von A D.8 und G.1

Ermittlung der Lagerungsdichte Merkblatt Homogenbereiche

Tabelle 1.1. Definition der Lagerungsdichte

$D = \frac{\max n - n}{\max n - \min n} = \frac{\rho_d - \min \rho_d}{\max \rho_d - \min \rho_d} = \frac{\gamma_d - \min \gamma_d}{\max \gamma_d - \min \gamma_d}$			
Lagerungsdichte	Lagerungsdichte		Spitzenwiderstand der Drucksonde MN/m ²
Sehr locker	$D < 0,15$		$q_c < 5,0$
Locker	$0,15 \leq D < 0,30$		$< 7,5$
Mitteldicht	$0,30 \leq D < 0,50$		< 15
Dicht	$0,50 \leq D < 0,75$		< 25
Sehr dicht	$0,75 \leq D$		$q_c > 25$

*Stark vereinfachte Korrelation!
Lagerungsdichte kann so nur grob abgeschätzt werden!*

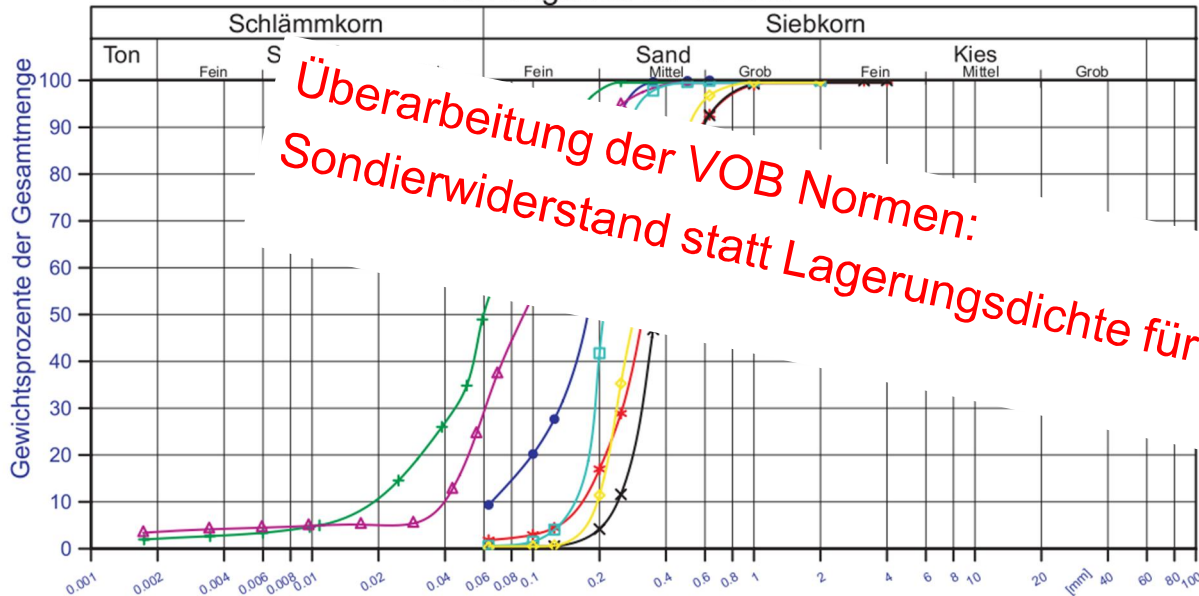
Quelle: EAB (2012), 5. Auflage

Zusätzlich wird der Sondierwiderstand angegeben.

Ist die Angabe der Lagerungsdichte erforderlich?

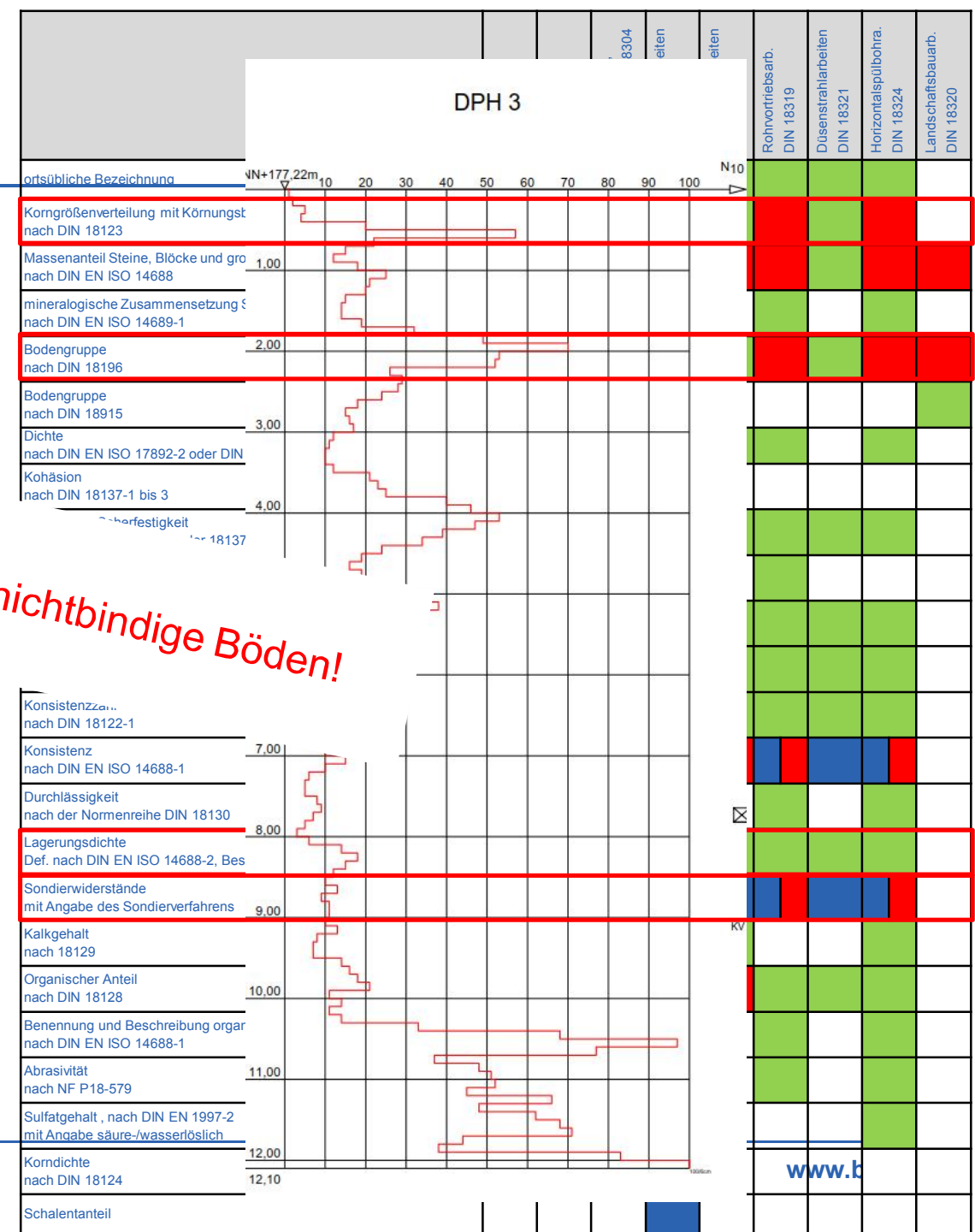
Nach VOB/C erforderliche Angabe

Körnungslinie nach DIN 18123



Labor-Nr.	Aufschluss	Tiefe	Bodenart an der KV ermittelt	D10	D60	C _u	KKZ
20100699	BKF-V04	7,80	tS, ms*, u'	0,0654	0,1920	2,937	0190
20100700	BKF-V04	14,60	mS, fs', gs'	0,1672	0,3443	2,060	*
20100689	BKF-V05/GW	6,70	S+U	0,0192	0,0720	3,752	0550
20100690	BKF-V05/GW	12,60	mS, gs'	0,2413	0,3883	1,609	x
20101002	BKF-V06	7,40	S, u	0,0399	0,1143	2,867	0370
20101003	BKF-V06	8,70	mS+tS	0,1561	0,2237	1,433	□
20101004	BKF-V06	13,60	mS, fs'	0,1961	0,3257	1,661	◇

**Überarbeitung der VOB Normen:
Sondierwiderstand statt Lagerungsdichte für nichtbindige Böden!**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de