



Nachweis der Tragfähigkeit ungebundener Tragschichten mittels dynamischer Fallplatte

–

Möglichkeiten und Grenzen im kommunalen Straßenbau

Dipl.-Ing. Gerhard Bräu

Technische Universität München

Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik,
Felsmechanik und Tunnelbau

Inhalt

- Prüfm^{ethoden} nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüf^{verfahren}
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf **absoluten** statischen **Kennwert**
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen **Verhältniswert**
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Inhalt

- **Prüfmethoden** nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Prüfmethoden nach ZTV E-StB

- Für *jede Methode* gibt es *Entscheidungsregeln*: „Annahme“ oder „Zurückweisung“ des Prüfloses
- *Auswahl der zweckmäßigsten Methode*:
 - Art, Größe und Bedeutung des Erdbauwerkes,
 - Art und Zusammensetzung der Erdbaustoffe
 - Geräteeinsatz und die erforderliche Erdbauleistung
- Die *Aussagekraft* der Methoden ist *unterschiedlich*
- Jede Methode bietet je nach Anwendungsfall bestimmte Vorteile
- *Eigenüberwachungsprüfungen und Kontrollprüfungen können nur miteinander verglichen werden, wenn bei beiden die gleiche Methode angewendet wird.*
- Die Prüfmethode ist *in der Ausschreibung anzugeben.*

Prüfmethoden nach ZTV E-StB

- Bei allen drei Methoden wird jeweils ein **Prüflos** beurteilt
- Ein Prüflos ist
 - eine unter **einheitlichen Bedingungen bearbeitete Schicht** (=Schüttlage) verdichteten Bodens,
 - für die eine **einheitliche Anforderung** gilt.
 - Die Fläche des Prüfloses ist genau festzulegen.
- Ist eine der vorgenannten Bedingungen nicht erfüllt, ist das Prüflos **in mehrere Teilflächen zu unterteilen**, in denen die Bedingungen jeweils erfüllt sind. Jede dieser Teilflächen erfordert eine eigene Beurteilung als Prüflos.
- Prüflose oder deren Teilflächen sind einvernehmlich zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer festzulegen.



Punktuelle Prüfungen im Rahmen der Methode M 1 oder M 3



LPV 5

LPV 4

LPV 3

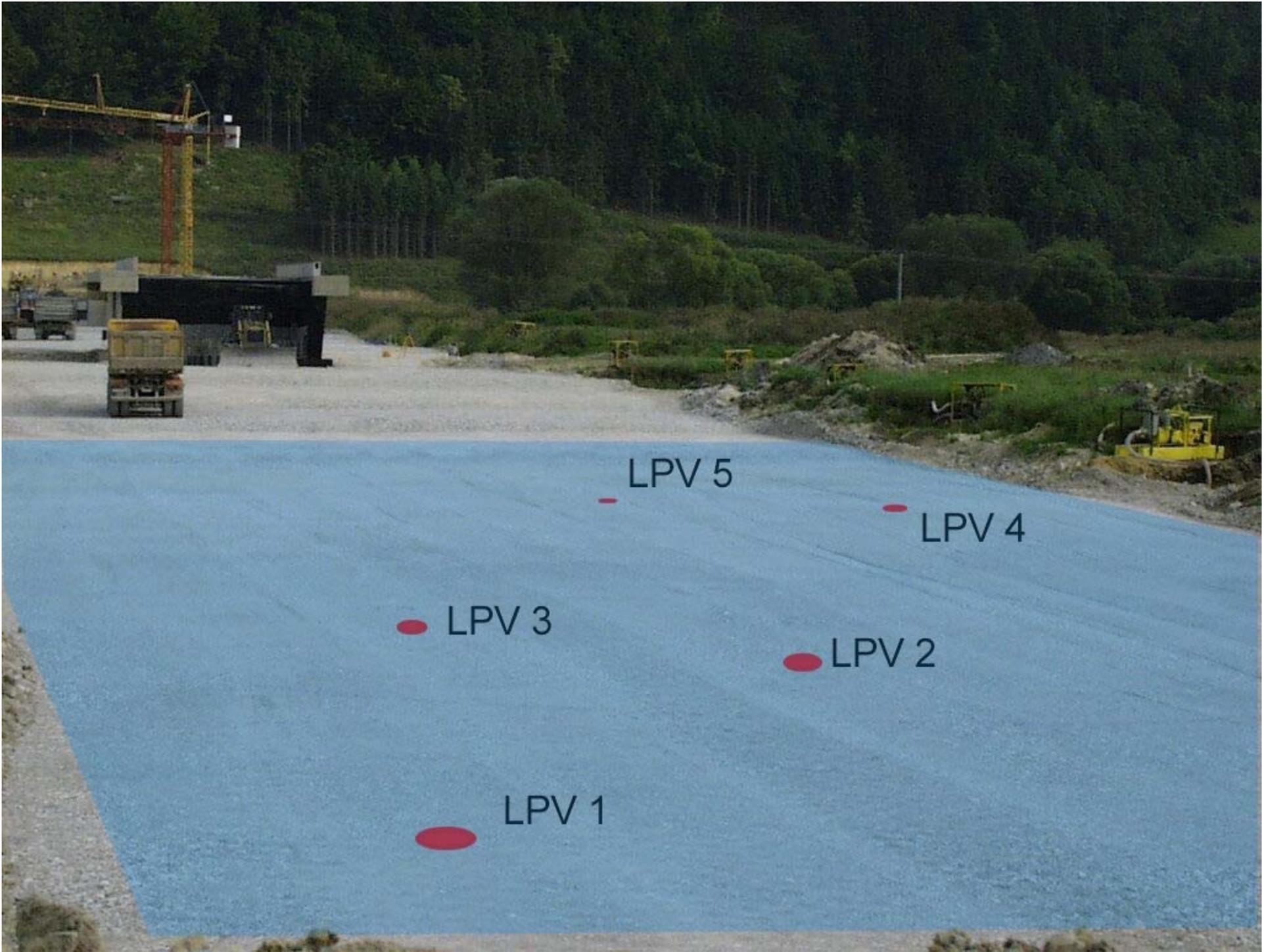
LPV 2

LPV 1

Flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK)

- außerhalb der Methode M 2
- im Rahmen der Methode M 2





Prüfmethoden nach ZTV E-StB

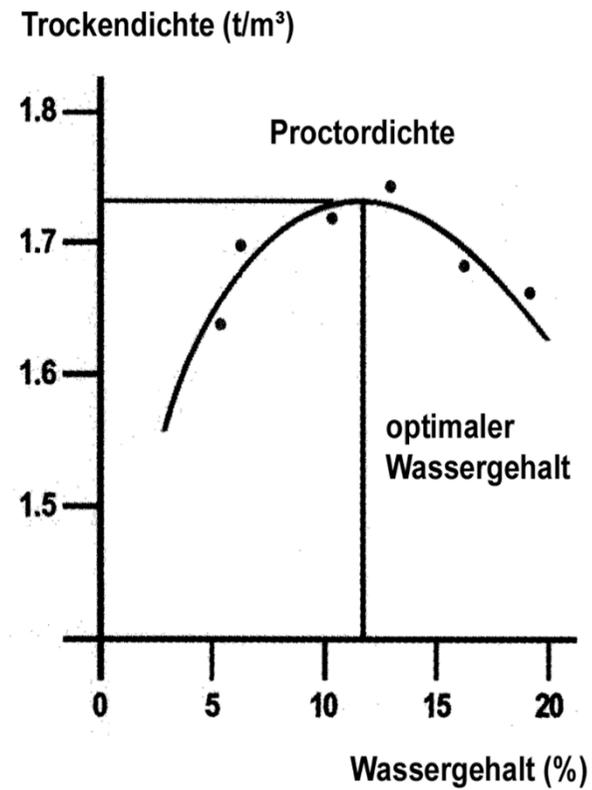
- Methode M1: Vorgehensweise gemäß Prüfplan
(punktuelle, statistische Prüfmethode,
ohne Kenntnis des Einbaues)
- Methode M2: Vorgehensweise bei Anwendung
flächendeckender (arbeitsintegrierter
dynamischer Messverfahren)
- Methode M3: Vorgehensweise zur
Überwachung des Arbeitsverfahrens
(+ Einzelwertprüfung)

Inhalt

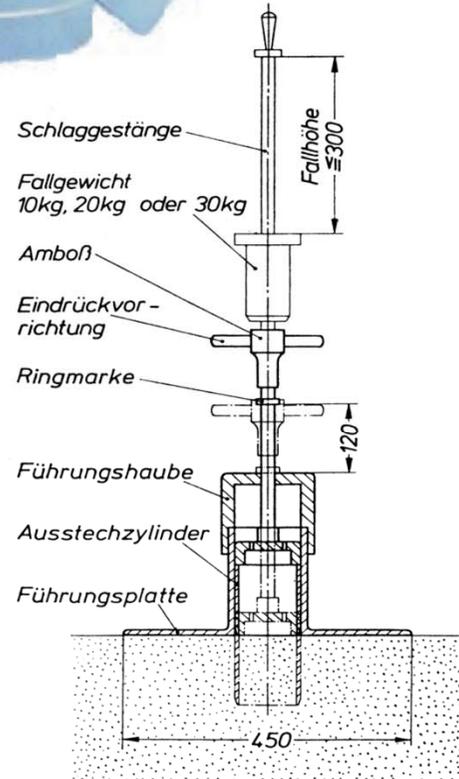
- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Dichtebestimmung

Proctorversuch zur Bestimmung der **Bezugsgröße** (Labor)

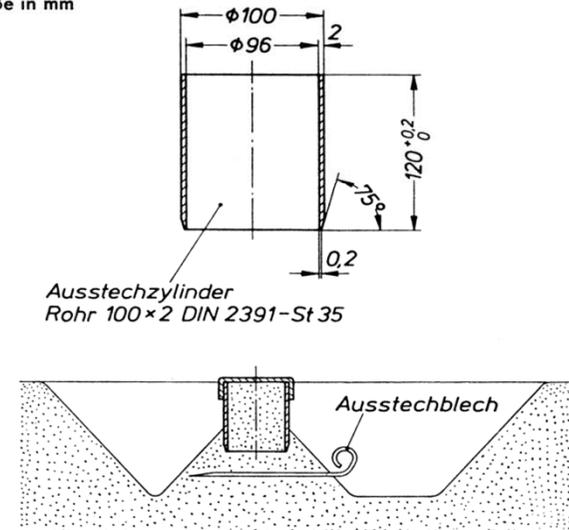


Dichtebestimmung



Ausstechzylinder

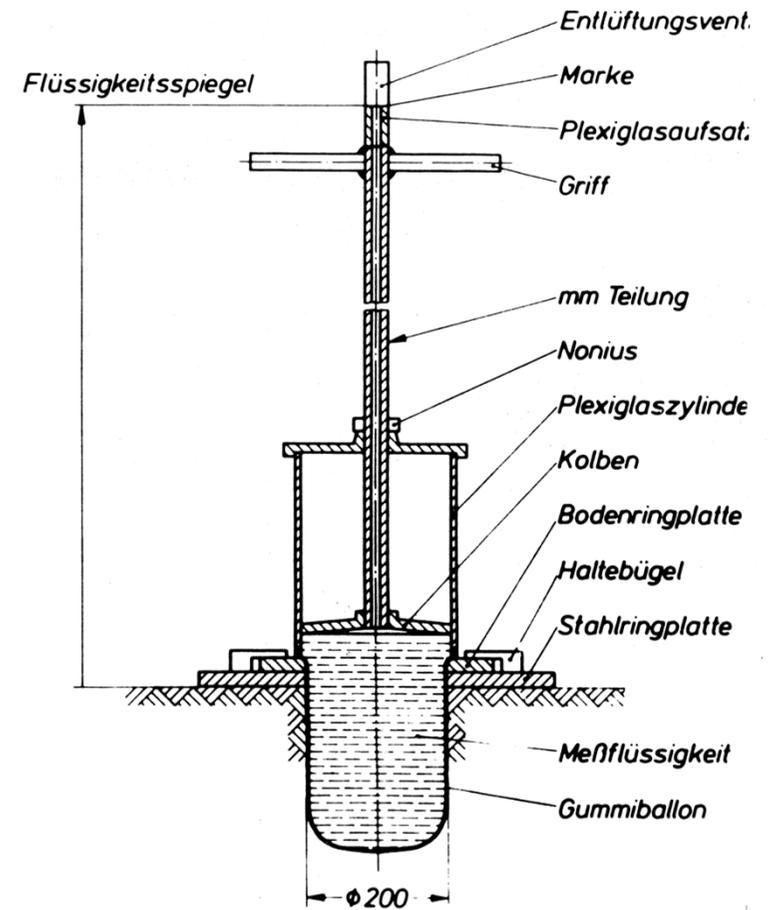
Maße in mm



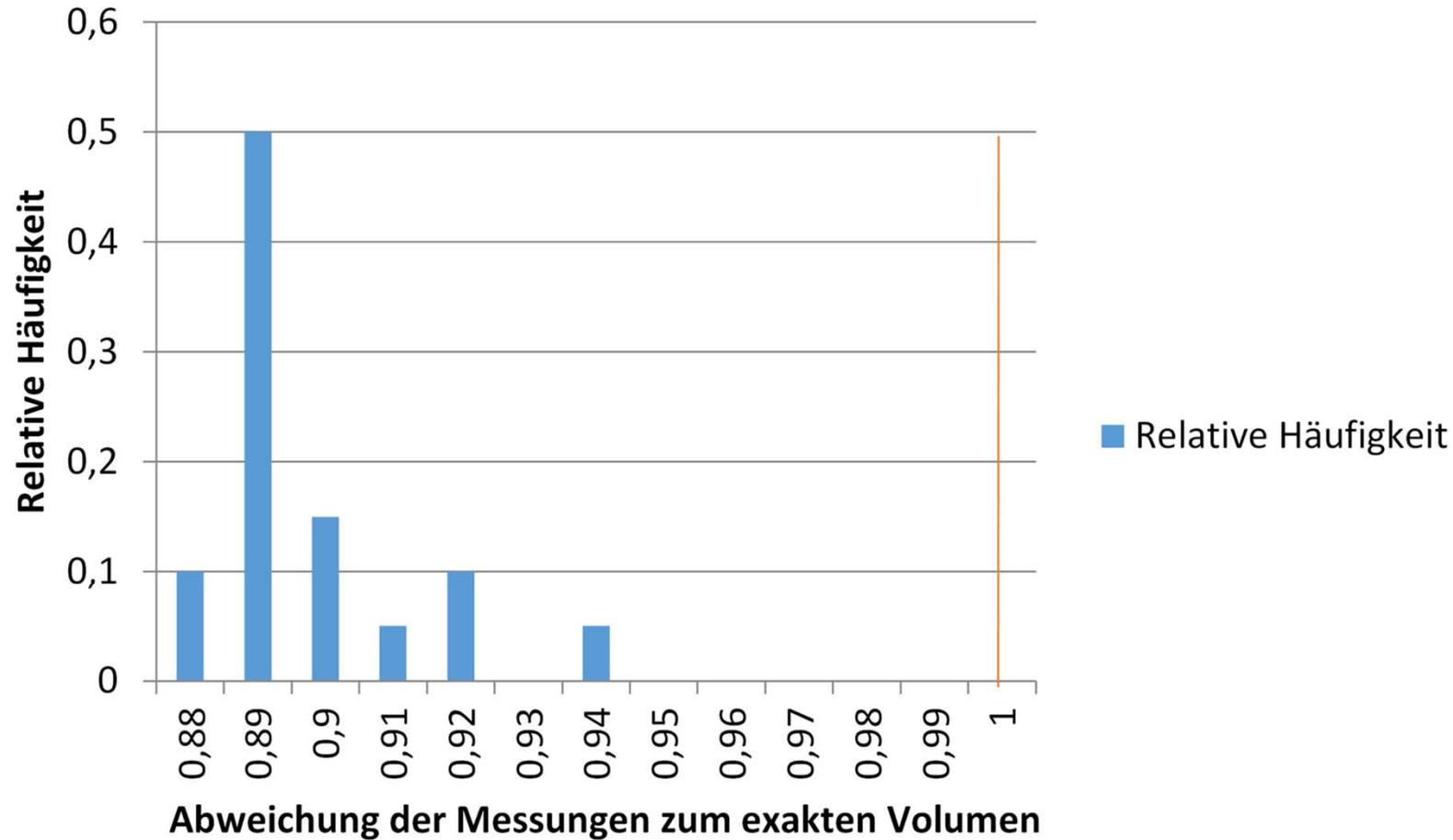
Dichtebestimmung



Ballongerät



Dichtebestimmung



Versuchsreihe „Einfluss des **Laboranten**“ (n = 20)

(nach BA Herkenroth, TUM, 2017)

Dichtebestimmung

Kies	V [cm ³]	Mittelwert MW aus n=3 Versuchen [cm ³]	Max der Einzel- versuche [cm ³]	Min der Einzel- versuche [cm ³]	% von MW zu V	% von Max zu V	% von Min zu V
15 cm	1813,3	1672,1	1674,3	1668,6	7,8	7,7	8,0
20 cm	2309,4	2010,5	2011,5	2008,6	12,9	12,9	13,0
25 cm	2951,9	2318,6	2326,6	2311,2	21,4	21,1	21,7

Versuchsreihe „Einfluss der **Aushubtiefe**“ (nach BA Herkenroth, TUM, 2017)

Dichtebestimmung

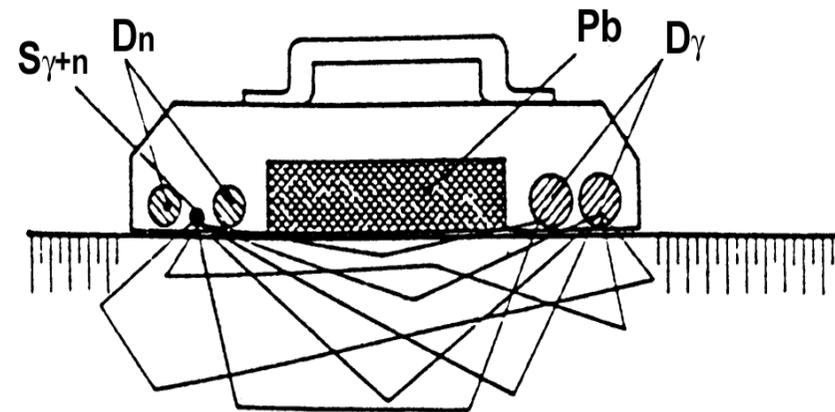
Kies 20 cm	V [cm ³]	Mittelwert MW aus n=3 Versuchen [cm ³]	Max der Einzel- versuche [cm ³]	Min der Einzel- versuche [cm ³]	% von MW zu V	% von Max zu V	% von Min zu V
Dünne Blase	2309,4	2174,7	2181,1	2167,7	5,8	5,5	6,1
Dicke Blase	2309,4	2010,5	2011,5	2008,6	12,9	12,9	13,0

Versuchsreihe „Einfluss der **Blasenstärke**“ (nach BA Herkenroth, TUM, 2017)

Dichtebestimmung

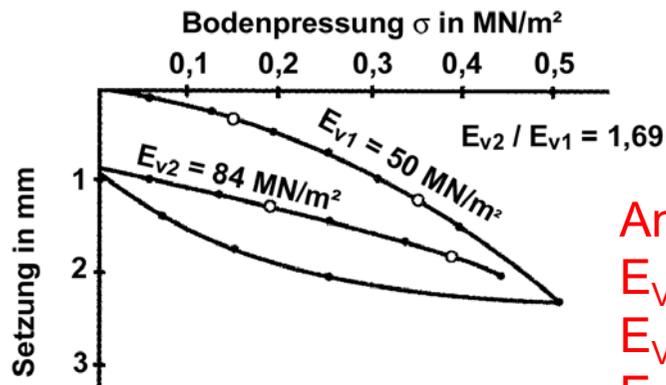
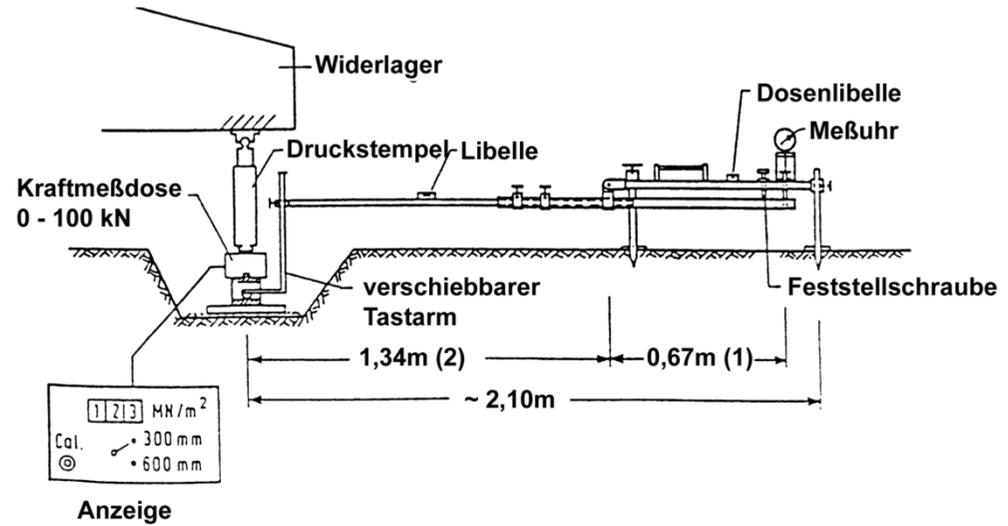


Isotopengerät



- $S_{\gamma+n}$ = Gamma-Neutronen-Strahlenquelle
- D_n = Detektor für langsame Neutronen
- D_{γ} = Detektor für Gamma-Strahlung
- Pb = Bleizwischenstück

Statischer Plattendruckversuch

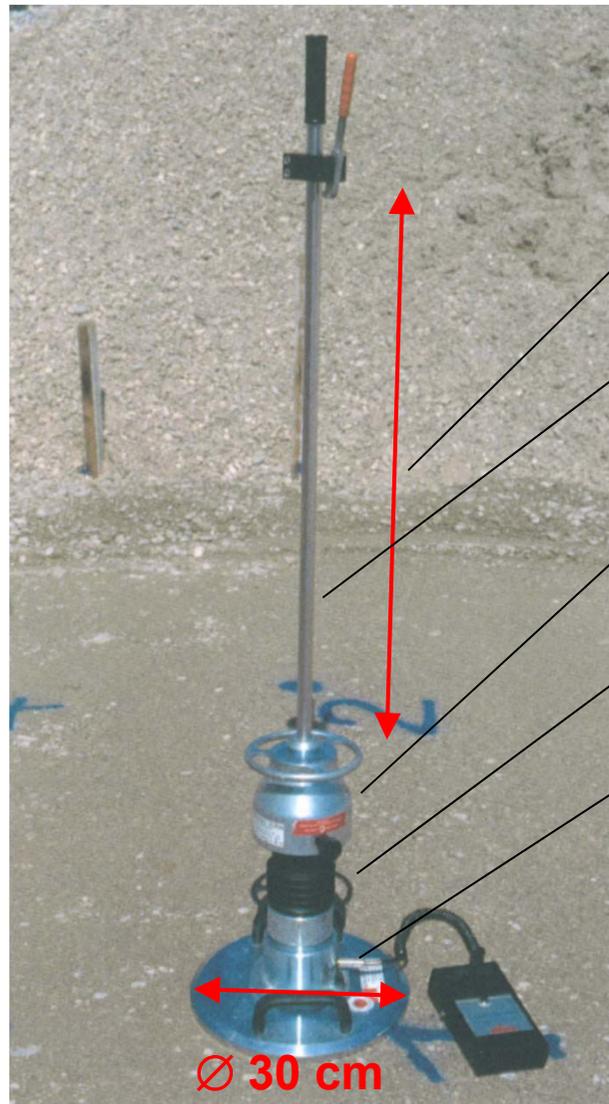


Anforderungen!

- E_{v1} ,
- E_{v2} ,
- E_{v2}/E_{v1}



Dynamischer Plattendruckversuch



Fallhöhe

Führungsstange

Fallgewicht

Federpaket

Lastplatte mit Elektronik zur
Ermittlung der maximalen
Setzung

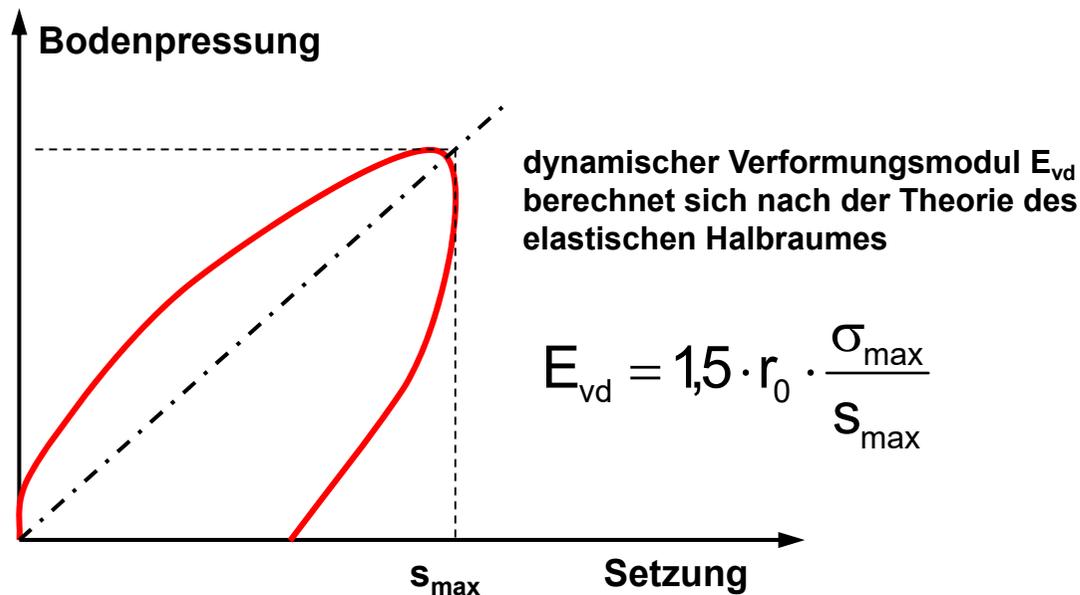
Beschränkung der Messung auf die Erfassung der
maximalen Setzung der Lastplatte

Voraussetzung: Kalibrierung der Beanspruchung

Dynamischer Plattendruckversuch

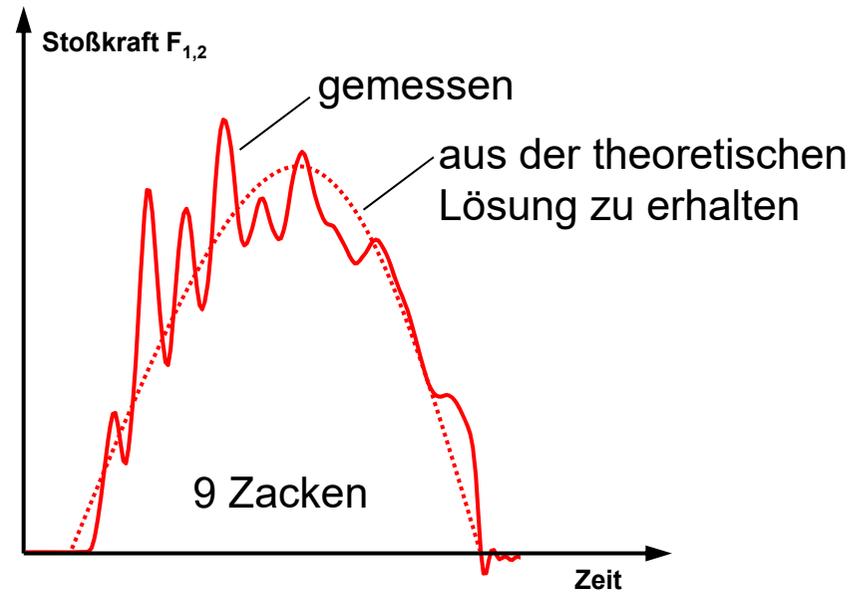
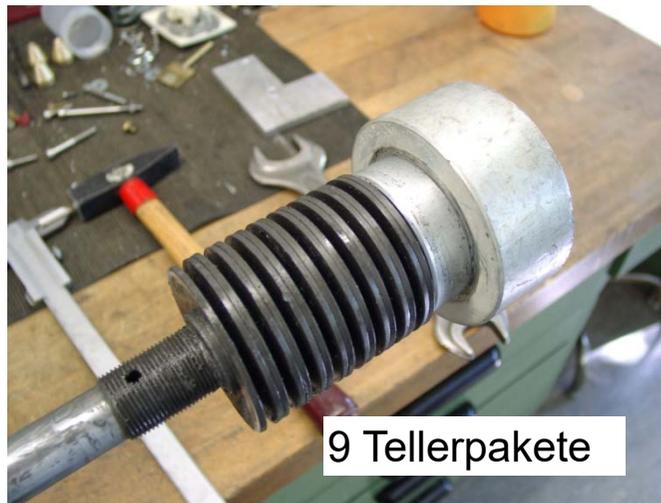
Fallmasse	10 kg
Fallhöhe	ca. 80 cm
Plattendurchmesser	∅ 300 mm
Stoßzeit	16 ms
Anwendungsgrenzen	Größtkorn 63 mm

$15 \text{ MN/m}^2 \leq E_{\text{vd}} \leq 70 \text{ MN/m}^2$



Dynamischer Plattendruckversuch

Messung der Setzung bei Annahme
einer konstanten Beanspruchung



Exakte Festlegung von Geräte- und
Kalibrierparametern erforderlich

Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierung

	LFG
Sollwert der maximalen Stoßkraft (F_{\max})	7,070 kN \pm 1 %
Maximale zulässige Standardabweichung der Stoßkraft	20 N
Sollwert der Stoßdauer (t_{\max})	17 ms \pm 1,5 ms

Bezeichnungen im Weiteren:

H10, Z10

für LFG zweier Hersteller

Sollwerte			LFG	
Setzungs- bereich	von - bis [mm]	Zielwert [mm]	$E_{\text{vd,LFG}}$ beim Zielwert [MN/m ²]	Stärke der Setzungs- matten [mm]
3 (hart)	0,25 – 0,40	0,3	75	6
2 (mittel)	0,40 – 0,60	0,5	45	10
1 (weich)	> 0,90	1,4 (LFG) 1,2 (MFG)	16	23
			Bei Faktor 2: ca. $30 \leq E_{\text{v}2} \leq 150$	

Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierung



Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierstellen

Kalibrierung des Leichten Fallgewichtsgerätes nach TP BF-StB Teil B 8.3

Kalibriergrößen: Stoßkraft, Stoßzeit

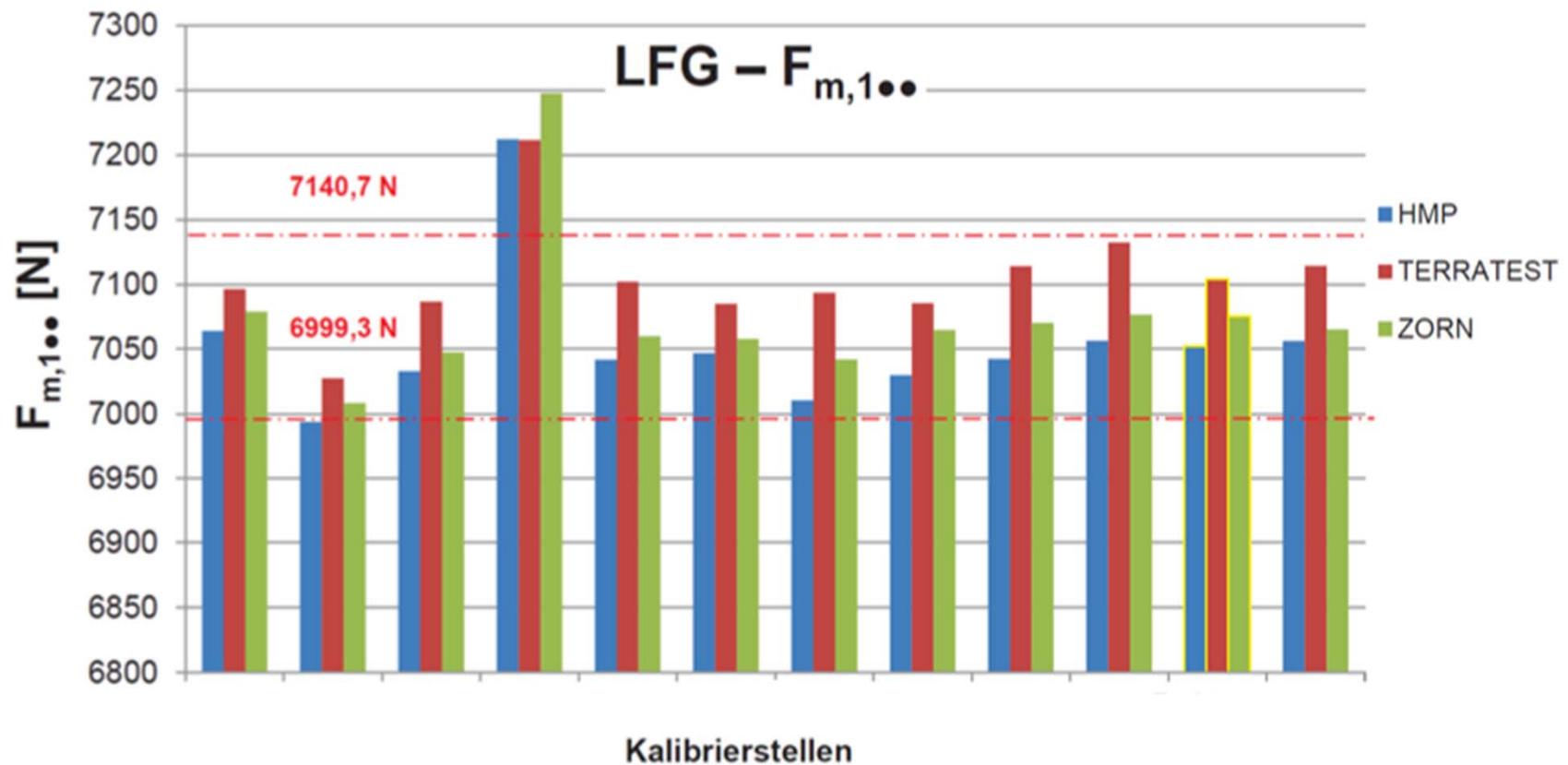
Referenzkalibrierstand: Bundesanstalt für Straßenwesen BASt

Anerkannte Kalibrierstellen (2021):

- Geotechnik Dunkel, **Hergolding**
- HMP **Magdeburger** Prüfgerätebau GmbH
- Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt, **Halberstadt**
- Röhrenwerk Kupferdreh Carl Hamm, **Essen**
- Technische Universität **München** - Zentrum Geotechnik
Prüfamt für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau
- Terratest GmbH, **Oranienburg**
- Zimmermann-Optik GmbH, **Norderstedt**
- Zorn Instruments GmbH & Co. KG, **Stendal**

Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierstellen

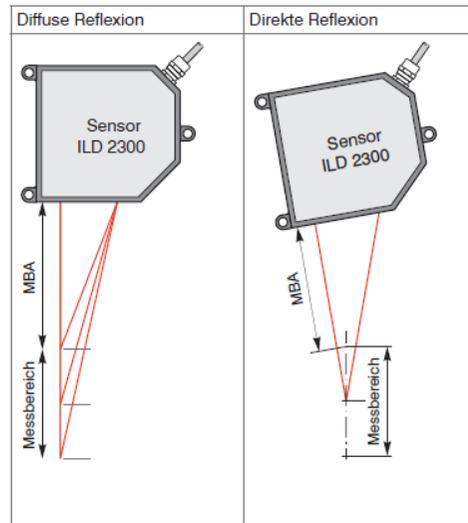
Mittelwerte Stoßkraft - LFG



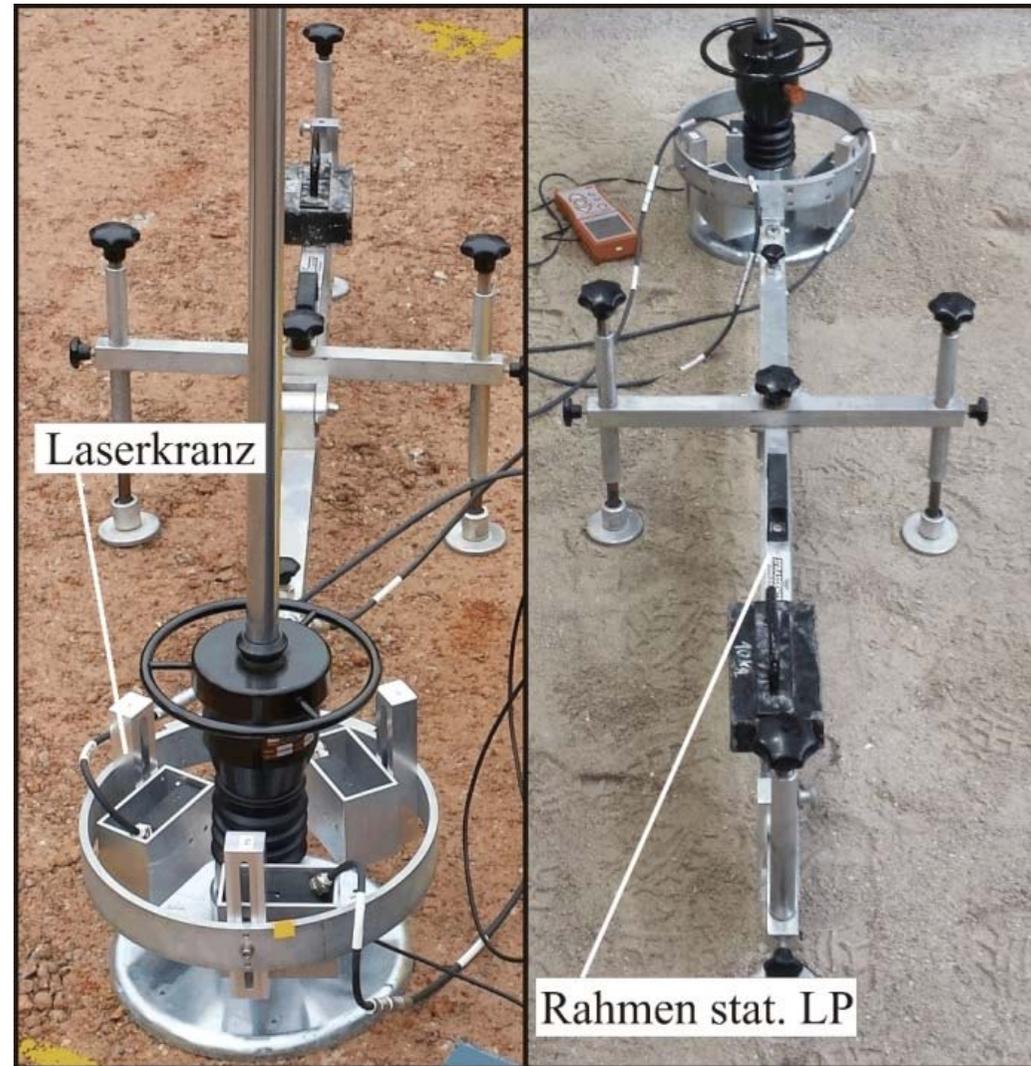
Soll: 7070 N

Entnommen aus: Bericht Ringversuch zur Kalibrierung,
TU Bergakademie Freiberg, Professur für Erdbau und Spezialtiefbau,
12/2003

Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierung



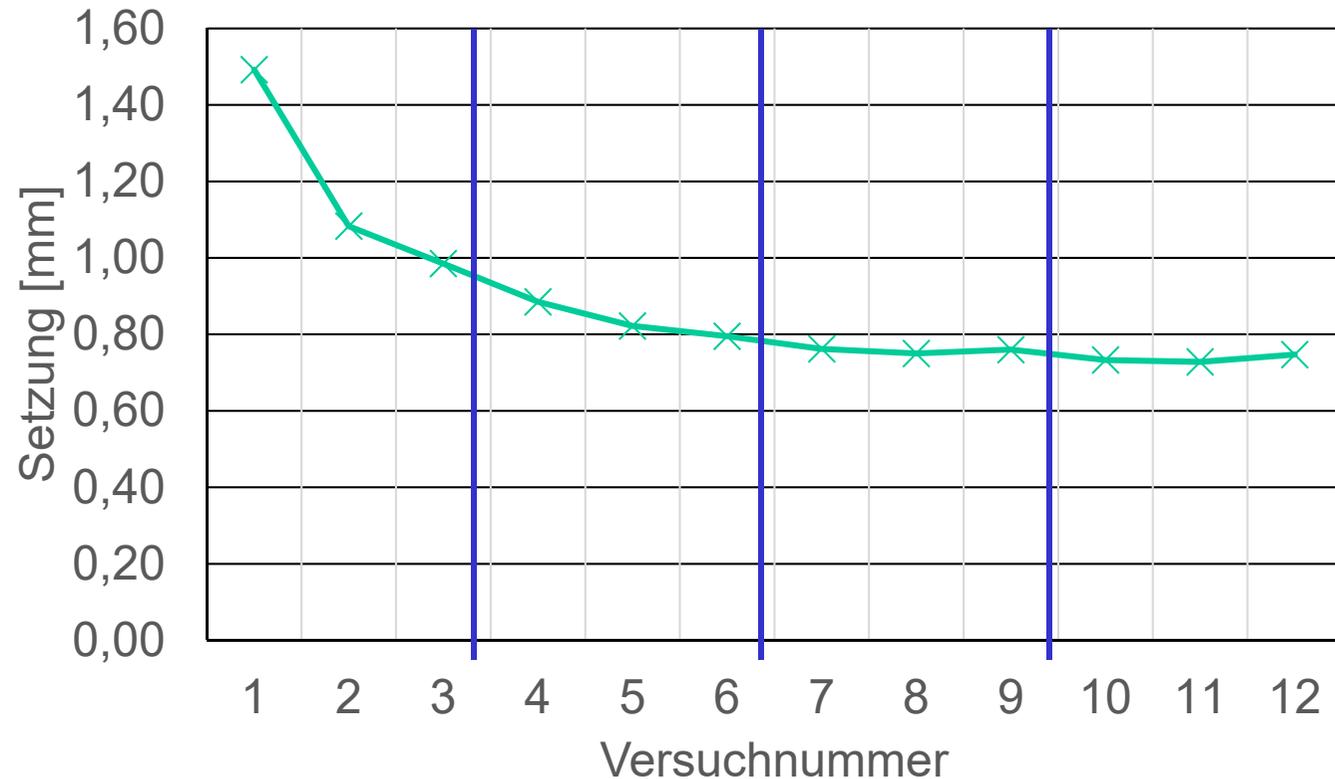
Laser-Messeinrichtung



Dynamischer Plattendruckversuch, Kalibrierung

- Jährliche Kalibrierung
- Anerkennung der Kalibrierstände durch BASt
 - Bereisung mit definierten Geräten
 - Überprüfung vor Ort
 - Abgleich mit Referenzstand
 - bald Kalibrierung nur noch durch Hersteller!?
- Neue Überlegungen zur Kalibrierung erforderlich
 - immer noch genauer?
 - Übertragung Kalibrierstand / Baustelle nicht gewährleistet
- Geräteentwicklung
 - Weitere Geräteharmonisierung

Allgemeiner Setzungsverlauf



Aktueller Ablauf:

3 Vorverdichtungsstöße (1 – 3)

3 Auswertungsstöße (4 - 6) = E_{VD2}

Was will man messen?

Erreichte Verdichtung? E_{VD1}

Mögliche Verdichtung? E_{VD4}

Was ist E_{VD2} ?

E_{VD2} / E_{VD1} ? E_{VD3} / E_{VD2} ?

Inhalt

- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- **Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen**
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Anforderungen an das Planum (ZTV E-StB)

- Anwendung als **direktes Prüfverfahren** für den das **Trag- und Verformungsverhalten auf dem Planum**
- **Gleichberechtigt** zu Statischem Plattendruckversuch
- Aber bei dynamischem Plattendruckversuch:
Prüfumfang gegenüber direkten Prüfverfahren zu **verdoppeln**

Tragfähigkeitsanforderungen an das Planum (ZTV E-StB)

Die nachgenannten Anforderungen beziehen sich auf das 10 %-Mindestquantil.

- Auf **frostsicherem Untergrund bzw. Unterbau** sind auf dem Planum folgende Verformungsmoduli erforderlich

Bauklassen SV und I bis IV:

$$E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 65 \text{ MN/m}^2,$$

Bauklassen V und VI:

$$E_{v2} = 100 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 50 \text{ MN/m}^2$$

Tragfähigkeitsanforderungen an das Planum (ZTV E-StB)

Die nachgenannten Anforderungen beziehen sich auf das 10 %-Mindestquantil.

- Bei **frostempfindlichem Untergrund bzw. Unterbau** ist auf dem Planum ein Verformungsmodul von

$$E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 25 \text{ MN/m}^2$$

- Bei **frostempfindlichem Untergrund bzw. Unterbau** ist auf dem Planum nach Durchführung einer **qualifizierten Bodenverbesserung** ein Verformungsmodul von

$$E_{v2} = 70 \text{ MN/m}^2$$

Anforderungen Berlin

Einführung ZTV A StB 2012

- Für das Planum und die Tragschicht ohne Bindemittel ist die Einhaltung der geforderten Verdichtung mit der dynamischen Fallplatte je Aufgrabungsfläche nachzuweisen.
- Die Einhaltung der Verdichtung im Bereich des verfüllten Baugrabens ist mit Rammsondierungen (leichte Rammsonde nach DIN EN ISO 22472-2, Künzelstab) in Eigenüberwachung nachzuweisen.

Offen: - Quantilwerte?
- Verdichtung / Tragfähigkeit?

Anforderungen Berlin

Einführung ZTV A StB 2012

- Anforderungen an dynamische Fallplatte

	E_{vd}
Planum	$\geq 25 \text{ MN/m}^2$
Tragschicht ohne Bindemittel in Geh- und Radwegen bzw. für Frostschutzschichten	$\geq 40 \text{ MN/m}^2$
Tragschicht ohne Bindemittel in der Fahrbahn sowie im Bereich von Stellplätzen für Kraftfahrzeuge oder Gehwegüberfahrten	$\geq 80 \text{ MN/m}^2$

Anforderungen Berlin

Einführung ZTV A StB 2012

- Anforderungen an dynamische Fallplatte

$E_{v2} / E_{v\text{dyn}}$ (dynamischer Verformungsmodul) Korrelation	Forderung der ZTV A-StB 12	Grenzwerte
	E_{v2} in MN/m ²	$E_{v\text{dyn}}$ in MN/m ²
	150	80
	120	65
	100	50
	80	40
	45	25

Verdichtungsanforderungen (ZTV E-StB)

- Anwendung als **indirektes Prüfverfahren** für den **Verdichtungsgrad**
- **Gleichberechtigt** zu Statischem Plattendruckversuch
- Für beide Verfahren:
 - Kalibrierversuche erforderlich
 - Eigene **nachzuweisende** oder **anerkannte** fremde Erfahrungen
- Aber bei dynamischem Plattendruckversuch: **Prüfumfang** gegenüber direkten Prüfverfahren zu **verdoppeln**

Verdichtungsanforderungen

direkte Dichtebestimmung (ZTV E-StB)

	Bereich	Bodengruppen	D _{Pr} in %	n _a in %
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU,GT, SU, ST	100	-
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU,GT, SU, ST	98	-
3	Planum bis Dammsohle und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*,GT*, SU*, ST* U, T, OU ³⁾ , OT ³⁾	97	12 <i>bzw.</i> 8 (6)*

* gilt für veränderlich feste Gesteine

Statischer Plattendruckversuch als indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad (ZTV E-StB)

Richtwerte für die Zuordnung vom statischen Verformungsmodul E_{v2} zum Verdichtungsgrad D_{Pr} bei grobkörnigen Böden

Boden- gruppe	Statischer Verformungsmodul E_{v2} in MN/m^2	Verdichtungsgrad D_{Pr} in %
GW, GI	≥ 100	≥ 100
	≥ 80	≥ 98
GE, SE, SW, SI	≥ 80	≥ 100
	≥ 70	≥ 98

Statischer Plattendruckversuch als indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad (ZTV E-StB)

Zusätzlich ist der Verhältniswert des Verformungsmoduls E_{V2}/E_{V1} zur Beurteilung des Verdichtungszustandes mit heranzuziehen.

Dabei gelten $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,3$ für $D_{Pr} \geq 100$ %

und $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,5$ für $D_{Pr} \geq 98$ %.

Wenn der E_{V1} -Wert bereits 60 % des in der Tabelle 9 angegebenen E_{V2} -Wertes erreicht, sind auch höhere Verhältniswerte E_{V2}/E_{V1} zulässig.

Achtung bei Ersatzbaustoffen!
Verhältniswerte oft viel höher

rot = Korrektur gegenüber Ausgabe 2009!

Dynamischer Plattendruckversuch als indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad (ZTV E-StB)

Richtwerte für die Zuordnung vom dynamischen Verformungsmodul E_{vd} zum Verdichtungsgrad D_{Pr} **bei grobkörnigen Böden**

<i>Bodengruppe</i>	<i>dynamischer Verformungsmodul E_{vd} in MN/m²</i>	<i>Verdichtungsgrad D_{Pr} in %</i>
<i>GW, GI, GE, SW, SI, SE</i>	≥ 50 ≥ 40	≥ 100 ≥ 98

Dynamischer Plattendruckversuch als indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad (ZTV E-StB)

Analog E_{V2}/E_{V1} bei statischem Plattendruckversuch wäre gewünscht:

????

Zusätzlich ist der Verhältniswert s/v der Setzung s zur Setzungsgeschwindigkeit v zur Beurteilung des Verdichtungszustandes mit heranzuziehen.

Dabei gilt????

FE 05.0187/2014/CRB

„ s/v -Wert beim dynamischen Plattendruckversuch“

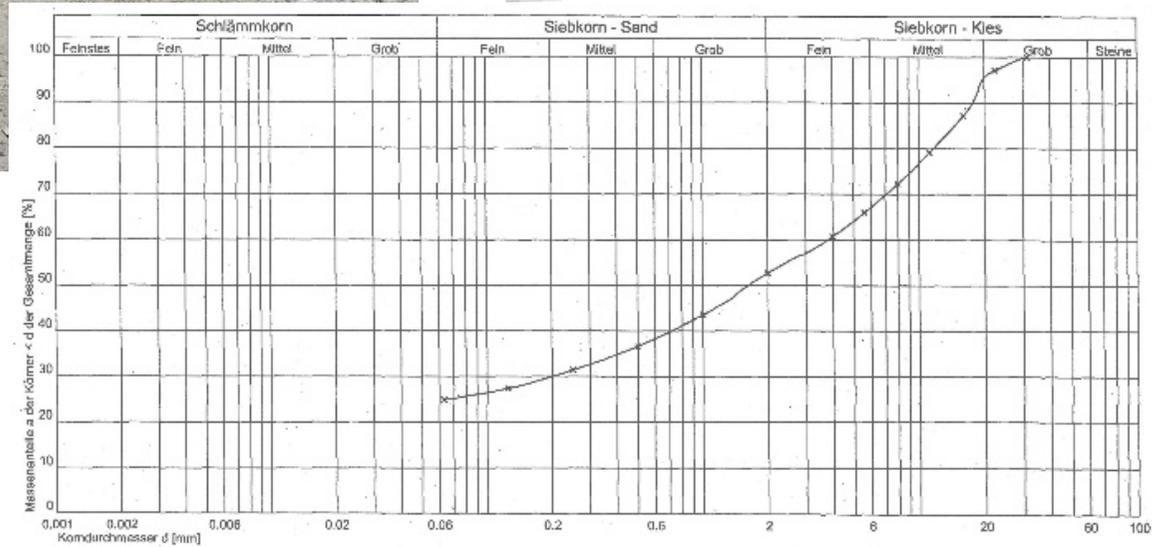
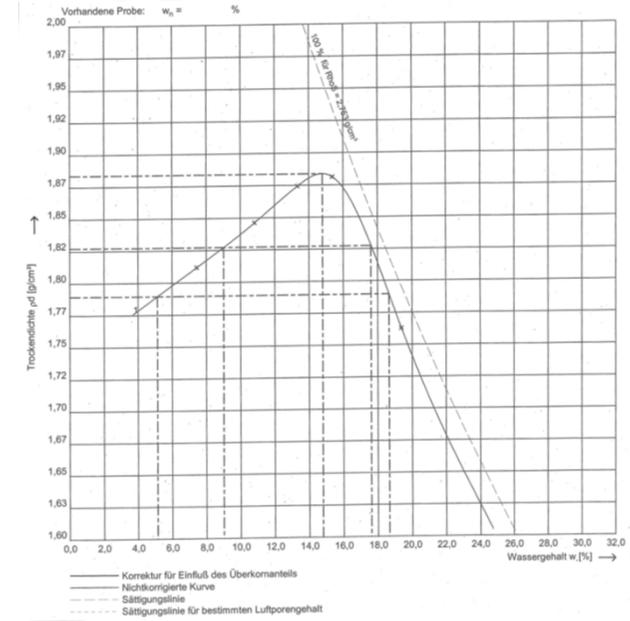
Inhalt

- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- **Feldversuche zur Datensammlung**
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Versuchsgrube Pasing



Versuchsfeld Zeltingen



Versuchsfeld Schiltberg



Materialien

Nr.	Bodenart	Bodengruppe	Bezeichnung
1	Kies, schwach sandig	GI	Lieferkörnung 0/32
2	Sand, stark feinkiesig	SI	Lieferkörnung 0/8
3	Kies, sandig, schwach schluffig	GU	RC-Mix 0/56
4	Kies, sandig	GW	Bauschuttgemisch
5	Fein-Mittelsand, stark kiesig, stark schluffig	SU*	Tertiärer Sand aus München
6	Ton, kiesig	GT* bzw. TM	Abdichtungsmaterial Lehm
7	Kies, sandig, schluffig	GU*	Terassenschotter der Würmeiszeit aus München
8	Kies, sandig	GW	Schotter 0/45
9	Kies, sandig	GW	RC-B 0/56
10	Kies, stark sandig, schwach schluffig	GU	RC-M 0/8
11	Kies, stark sandig	GI	RC-M 0/45 I + II
12	Kies, stark sandig, schwach schluffig	GU	RC-M 0/56
13	Sand, stark kiesig	SE	EOS 0/4
14	Kies, schwach sandig	GW	EOS 0/32
15	Kies, stark sandig, schwach schluffig	GU	Grubenkies 0/22

Materialien

Bezeichnung in den Auswertungen	Zugeordnete Materialien
Alle Böden	1 – 15
Kiese	1, 15
Schotter	8
Sande	2
Grobkörnige Böden	1, 2, 8, 15
Fein- und gemischtkörnige Böden	5, 6, 7
RC-Materialien	3, 4, 9 – 14
RC-Materialien (ohne EOS)	3, 4, 9 – 12
RC-Materialien (nur EOS)	13, 14

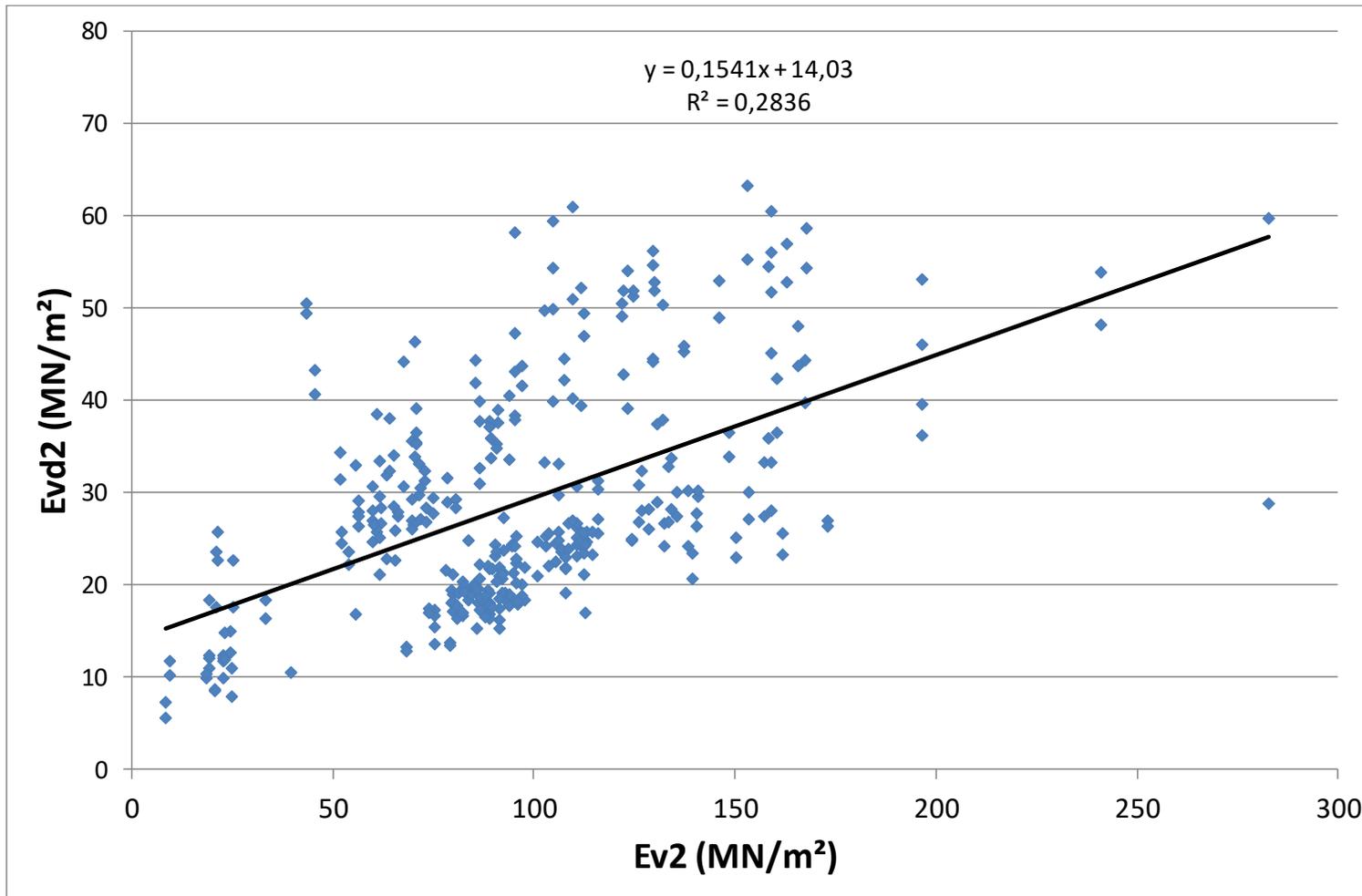
Inhalt

- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf **absoluten** statischen **Kennwert**
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Auswertungen

E_{VD2} zu E_{V2}

E_{VD2} zu E_{V2}



H10 und Z10

E_{VD2} zu E_{V2}

Boden	Steigung E_{V2} zu E_{VD2}	Steigung E_{VD2} zu E_{V2}	Bestimmtheitsmaß R^2
Alle Böden	0,15	1,8	0,28
Kiese	0,30	2,7	0,81
Sande	0,14	1,3	0,18
Fein- und gemischtkörnige Böden	0,40	1,9	0,75
Schotter 0/45	0,18	4,6	0,82
RC-Materialien	0,16	3,3	0,53
... ohne EOS	0,15	3,3	0,50
... nur EOS	0,19	3,4	0,65

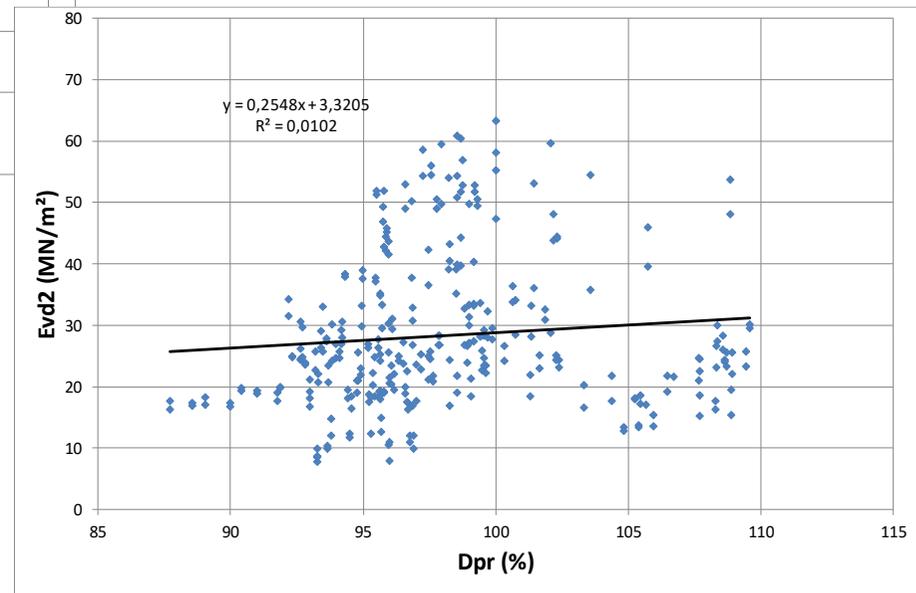
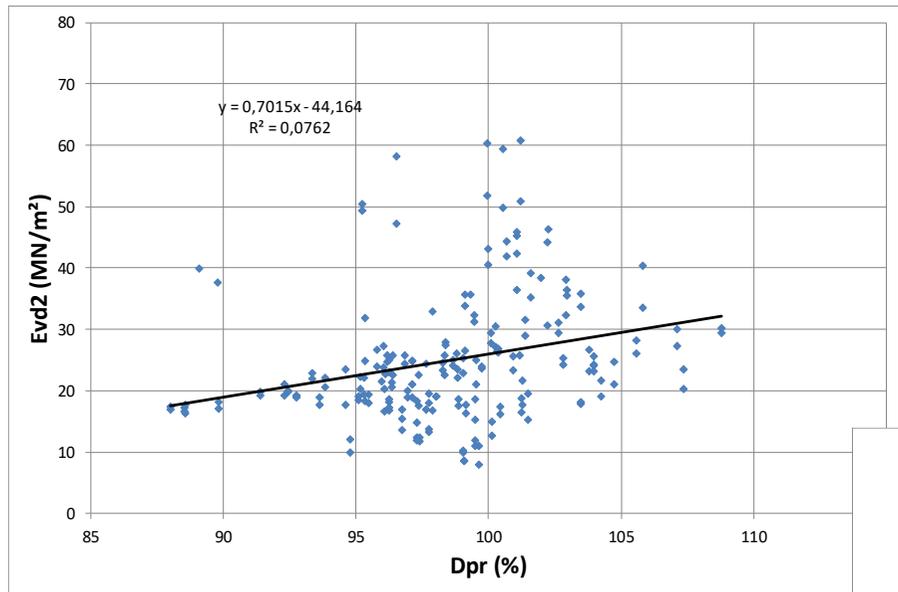
E_{VD2} zu E_{V2}

Boden	Erforderlich E_{vd2} bei $E_{V2}=100$
Alle Böden	30
Kiese	40
Sande	35
Fein- und gemischtkörnige Böden	50
Schotter 0/45	25
RC-Materialien	25
RC-Materialien (ohne EOS)	25
RC-Materialien (nur EOS)	20

Auswertungen

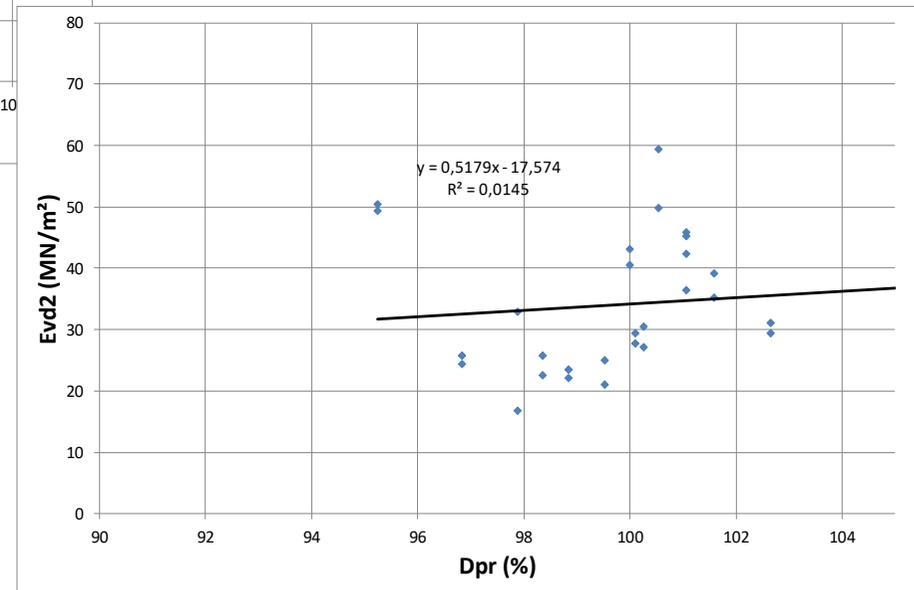
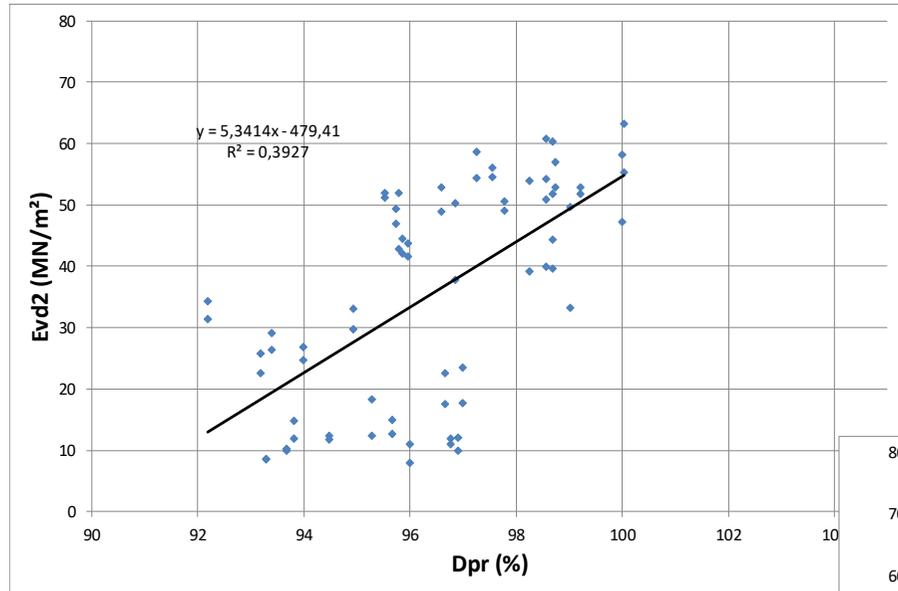
E_{VD2} zu D_{Pr}

E_{VD2} zu D_{Pr}



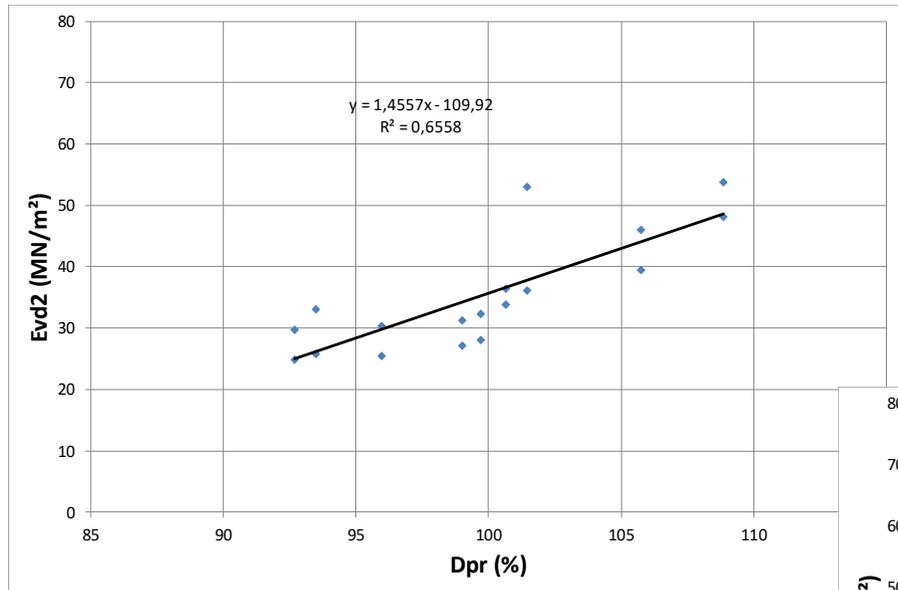
H10 und Z10, **alle Böden**, Densitometer links und Troxler rechts

E_{VD2} zu D_{Pr}

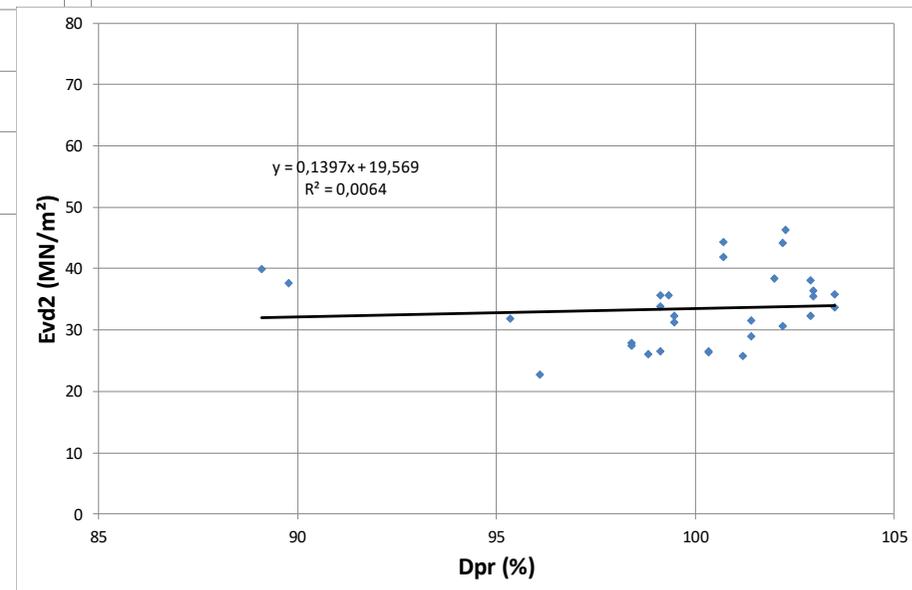


H10 und Z10, Troxler, **Kiese links und Sande rechts**

E_{VD2} zu D_{Pr}

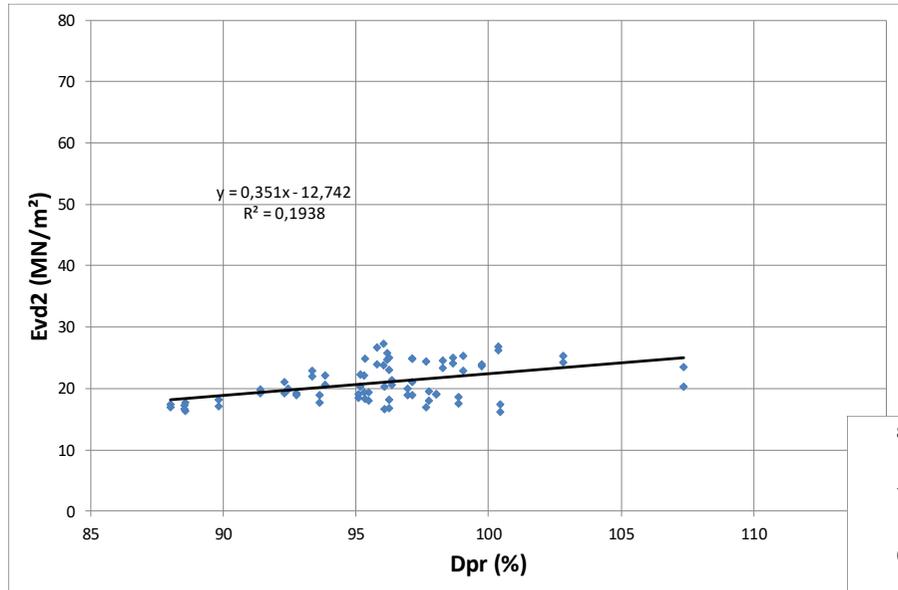


H10 und Z10, **Schotter**, Troxler

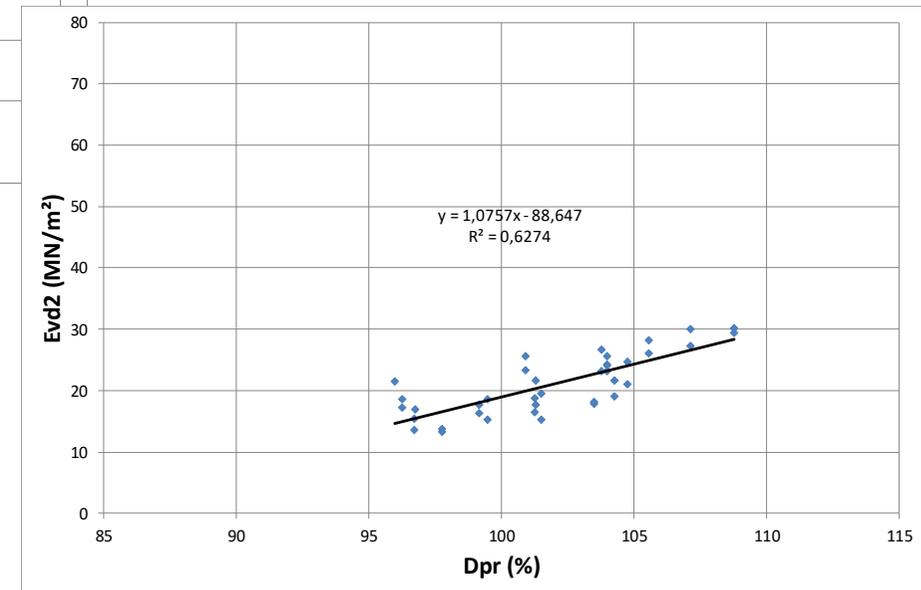


H10 und Z10, **fein- und gemischtkörnige Böden**, Densitometer

E_{VD2} zu D_{Pr}



H10 und Z10, RC ohne EOS,
Densitometer

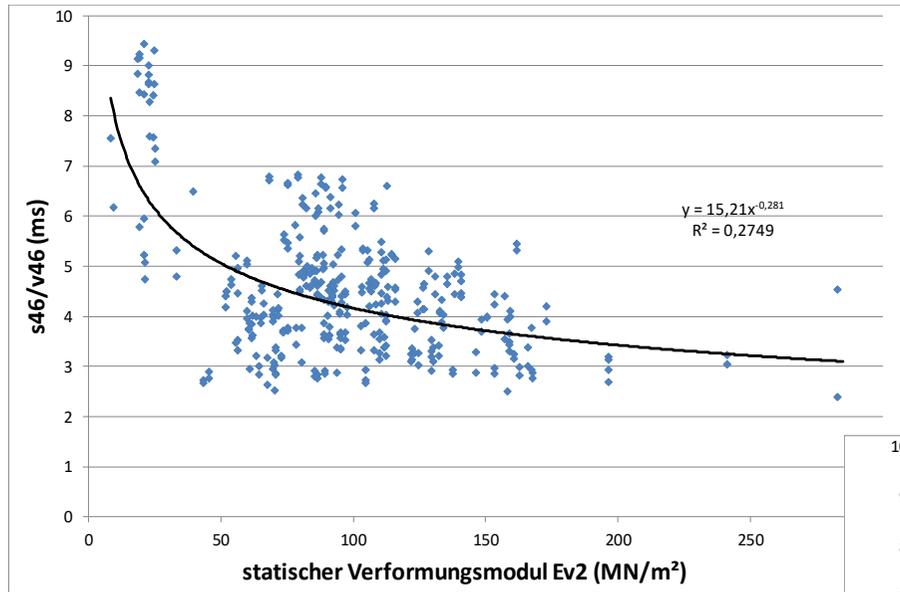


H10 und Z10, RC nur EOS, Densitometer

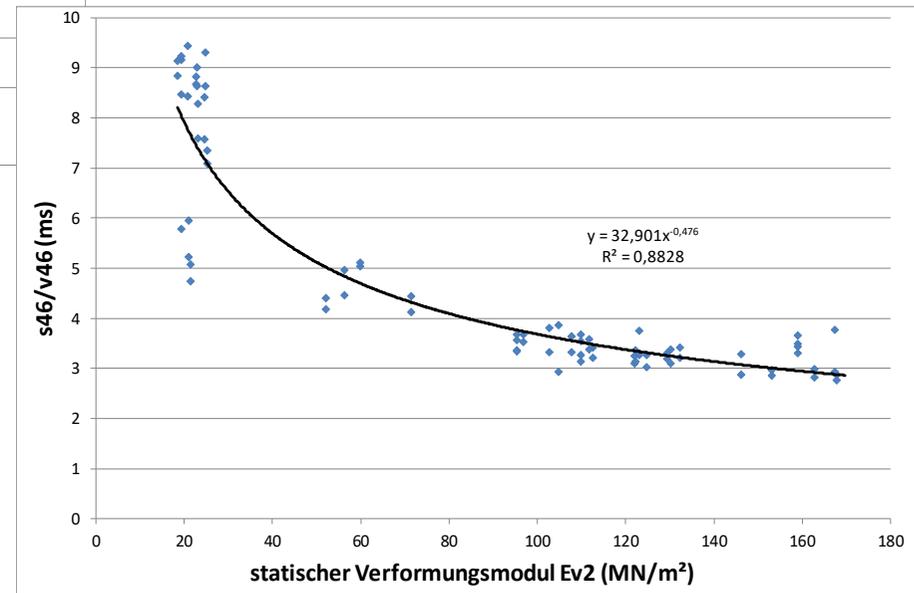
Auswertungen

s_{46}/v_{46} zu E_{v2}

s_{46}/v_{46} zu E_{v2}

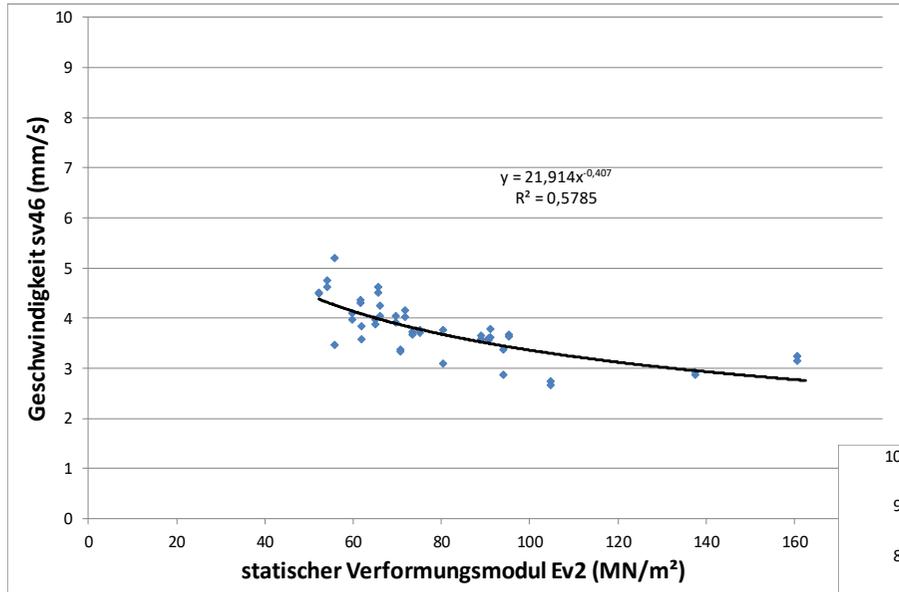


H10 und Z10, alle Böden

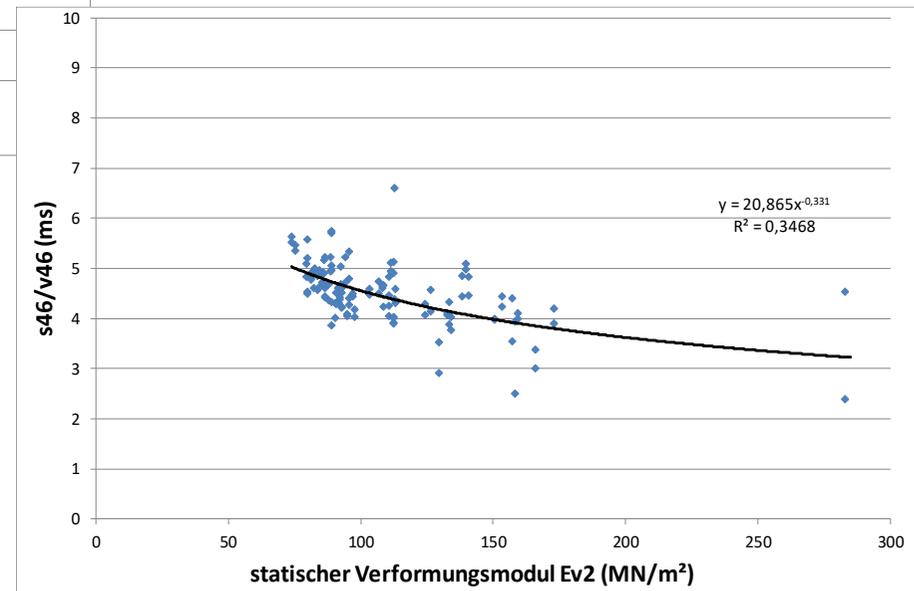


H10 und Z10, Kiese

s_{46}/v_{46} zu E_{v2}



H10 und Z10, Sande (ohne $E_{v2} < 45$)



H10 und Z10, RC ohne EOS

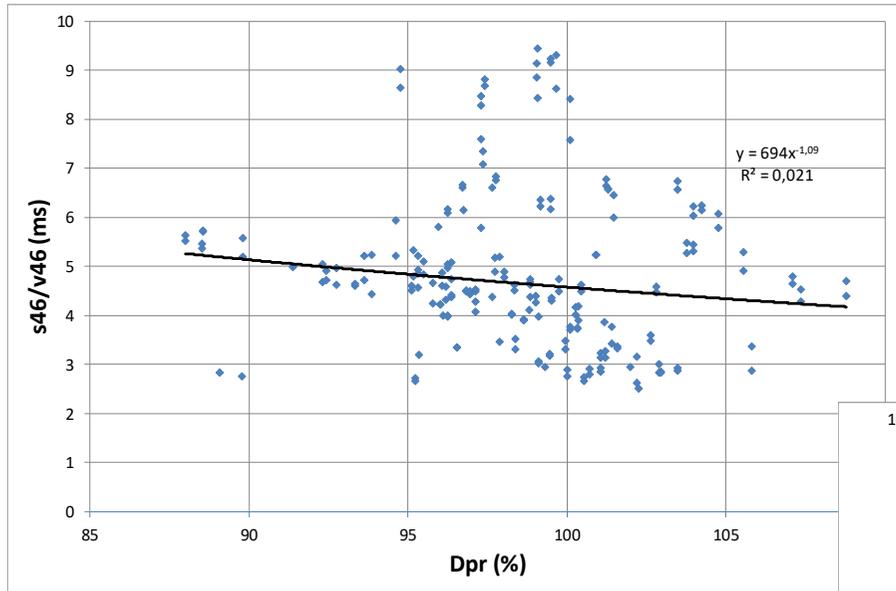
s_{46}/v_{46} zu E_{v2}

Boden	$E_{v2} = 100 \text{ MN/m}^2$
Alle Böden	4
Kiese	4
Sande	3,5
Fein- und gemischtkörnige Böden	2
Schotter 0/45	5
RC-Materialien (ohne EOS)	4,5
RC-Materialien (nur EOS)	5,5

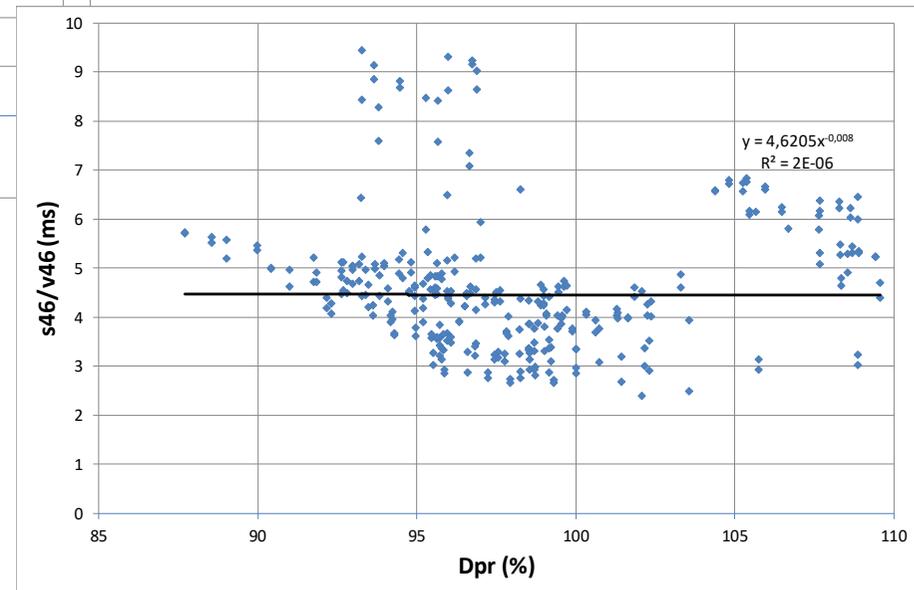
Auswertungen

s_{46}/v_{46} zu D_{pr}

S_{46}/v_{46} zu D_{Pr}

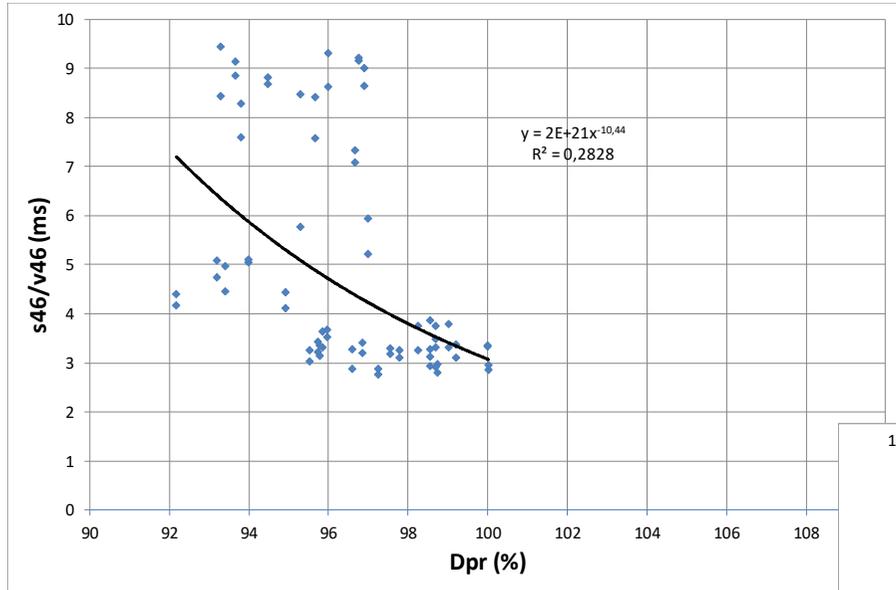


H10 und Z10, alle Böden,
Densitometer

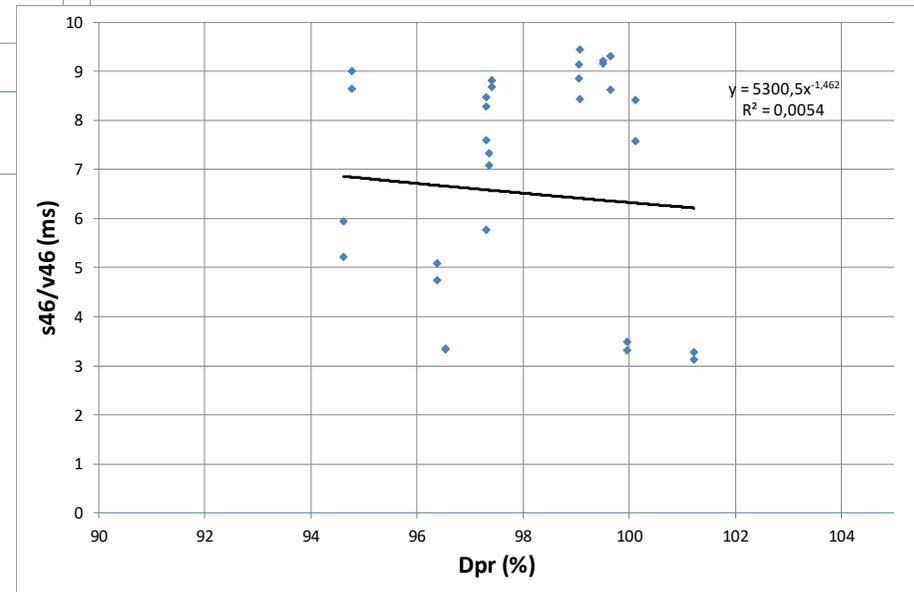


H10 und Z10, alle Böden, Troxler

s_{46}/v_{46} zu D_{Pr}

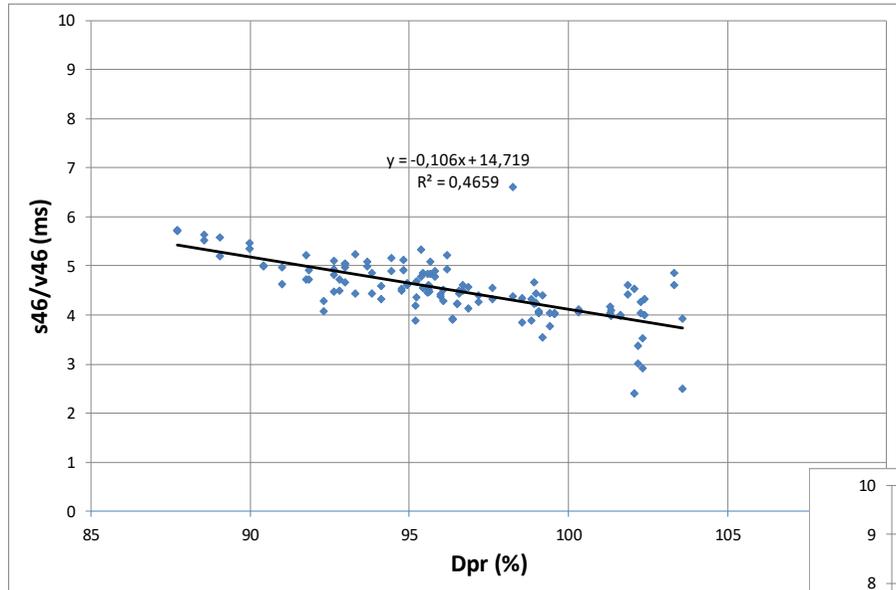


H10 und Z10, Kiese, Troxler

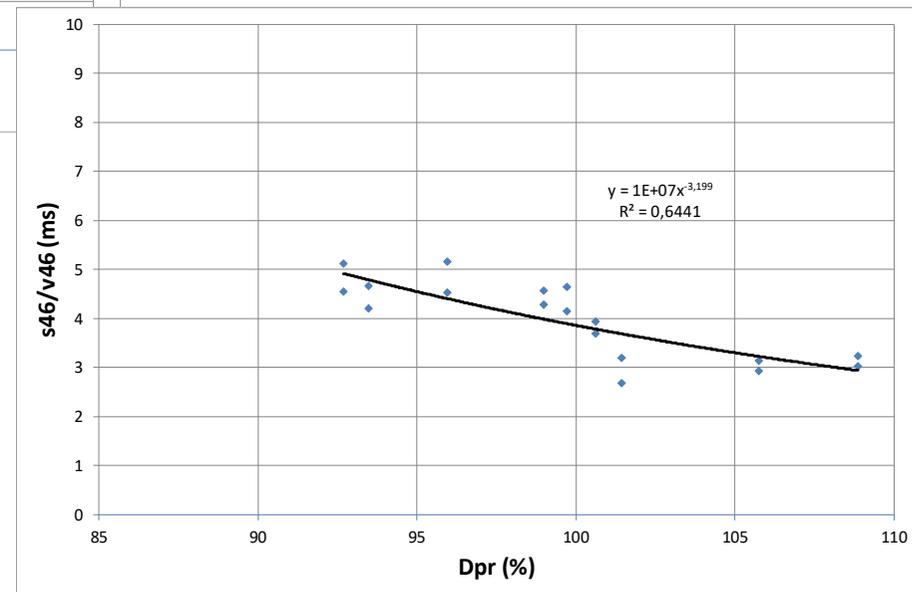


H10 und Z10, Kiese, Densitometer

s_{46}/v_{46} zu D_{Pr}



H10 und Z10, RC ohne EOS,
Troxler



H10 und Z10, Schotter, Troxler

Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert

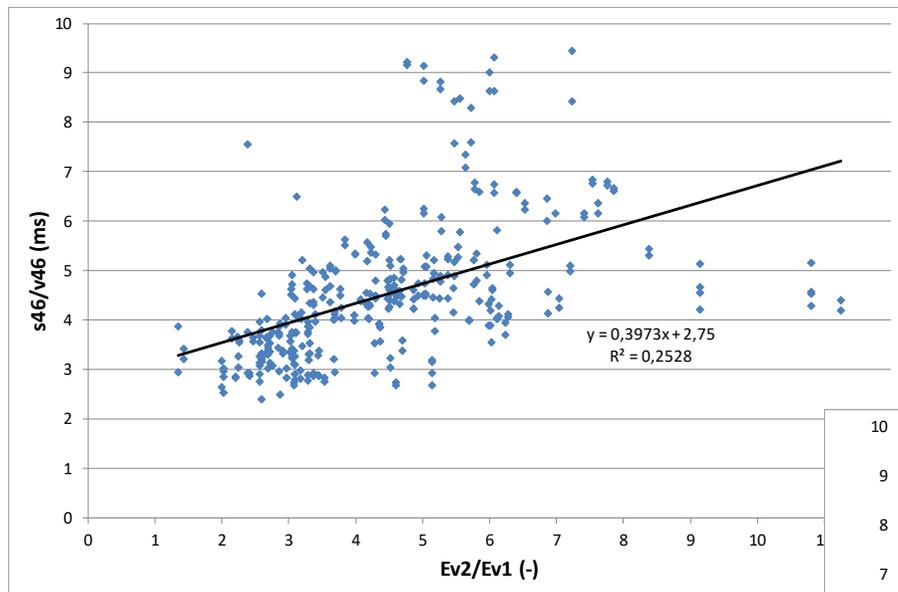
- Für Tragfähigkeit kann vom dynamischen Verformungsmodul E_{vd2} - auf den statischen E_{v2} -Wert mit dem allgemein angewandten Faktor „2“ bei einzelnen Böden geschlossen werden.
- Für den Verhältniswert s_{46}/v_{46} wird eine brauchbare Zuordnung zum statischen Verformungsmodul E_{v2} erhalten, wobei für die Erreichung von $E_{v2} = 100 \text{ MN/m}^2$ ein wohl in der Praxis schon vielfach angewandter Wert von $s_{46}/v_{46} = 4$, über alle Böden betrachtet, erforderlich erscheint.
- Ein zusätzlicher Erkenntnisgewinn durch Anwendung des s_{46}/v_{46} -Wertes gegenüber dem E_{vd2} -Wert ist aus diesen Ergebnissen nicht zu erkennen.
- Hinsichtlich der Verdichtung ist die Zuordnung der dynamischen Kennwerte zum Verdichtungsgrad D_{pr} eher sehr eingeschränkt zu verwenden. Im Allgemeinen liegen sehr große Streuungen vor und nur bei einzelnen Böden sind gezieltere Aussagen möglich.

Inhalt

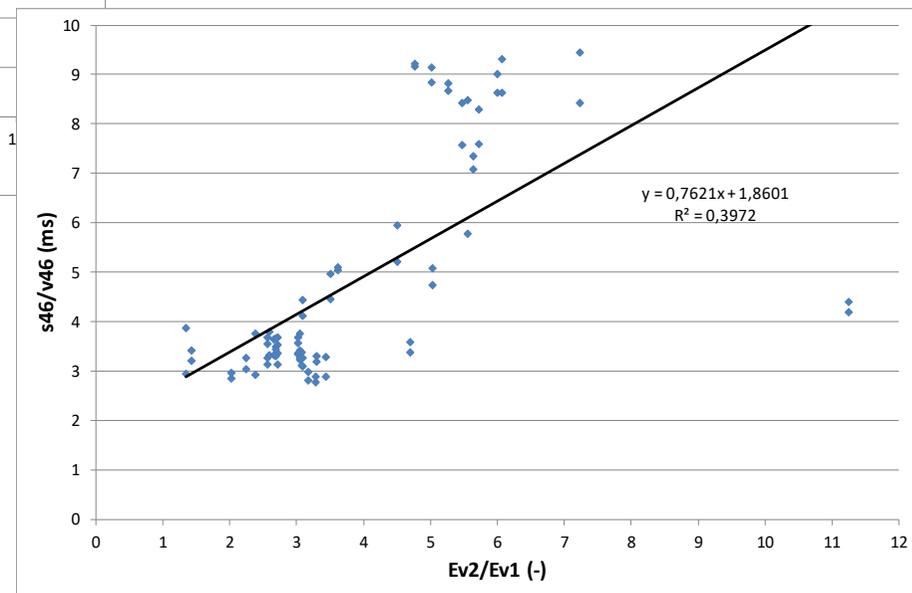
- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- **Auswertungen**
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - **Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert**
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- Ausblick zur Qualitätssicherung
- Literatur

Auswertungen
 s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}

s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}



H10 und Z10, alle Böden



H10 und Z10, Kiese

S_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}

- Bei Kies, Schotter und EOS scheinen die Zusammenhänge eine brauchbare Korrelation mit Bestimmtheitsmaßen $R^2 \geq 0,4$, wenn auch bei sehr unterschiedlich großer Datenbasis, zu ergeben.
- Für Sande, fein- und gemischtkörnige Böden sowie RC-Materialien (ohne EOS) liegen bei Bestimmtheitsmaßen $R^2 < 0,07$ keine belastbaren Zusammenhänge vor.

	LFG H10 und Z10
Boden	$E_{V2} / E_{V1} = 2,5$
Alle Böden	3,5 - 4
Kiese	3,5
Sande	(3,5)
Fein- und gemischtkörnige Böden	(3,5)
Schotter 0/45	3
RC-Materialien (ohne EOS)	(4,5)
RC-Materialien (nur EOS)	5

Inhalt

- Prüfmethoden nach ZTV E-StB
 - M1, M2, M3
- Prüfverfahren
 - Dichtebestimmung
 - Statischer Plattendruckversuch
 - Dynamischer Plattendruckversuch / Leichtes Fallgewichtsgerät
Kalibrierung
- Tragfähigkeits- und Verdichtungsanforderungen
- Feldversuche zur Datensammlung
- Auswertungen
 - Dynamischer Kennwert bezogen auf absoluten statischen Kennwert
 - E_{VD2} zu E_{V2}
 - E_{VD2} zu D_{Pr}
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}
 - s_{46}/v_{46} zu D_{pr}
 - Dynamische Verhältniswerte bezogen auf statischen Verhältniswert
 - s_{46}/v_{46} zu E_{V2}/E_{V1}
 - E_{VDy}/E_{VDx} zu E_{V2}/E_{V1}
- **Ausblick zur Qualitätssicherung**
- **Literatur**

ZTV E-StB - derzeit in *KURSIV*

15 Dokumentation der Qualitätssicherung

Sofern eine Dokumentation der Qualitätssicherung entsprechend dem Abschnitt 15 erfolgen soll, hat der Auftraggeber dies in der Leistungsbeschreibung festzulegen.

Bodenmaterial und Baustoffe nach den TL BuB E-StB sind hinsichtlich ihrer Lage im Bauwerk zu dokumentieren.

Sämtliche Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei einem Erdbauwerk sind umfassend zu dokumentieren und in tabellarisch und grafisch aufbereiteter Form, auf Wunsch des Auftraggebers auch in digitaler Form, dem Auftraggeber zu übergeben. Die tabellarische Auflistung der Eigenüberwachungsprüfungen nach dem Abschnitt 1. 6. 3 und der Prüfungen nach dem Abschnitt 3.2.3 ist fortlaufend zu führen und zur Einsichtnahme für den Auftraggeber vorzuhalten.

Für jedes Erdbauwerk ist ein Bestandsplan anzufertigen. In diesem Bestandsplan in zweidimensionaler und/oder dreidimensionaler Darstellung sind folgende Informationen einzutragen:

- 1. Geometrie des geschütteten Erdkörpers nach Lage (z. B. Koordinaten nach Gauß-Krüger, Stationierung usw.) und Höhe.*
- 2. Böden und Fels sowie sonstige Baustoffe nach ihrer Art und Herkunft. Die geschütteten Materialien sind räumlich gegeneinander abzugrenzen.*
- 3. Die Bereiche, in denen eine Bodenverbesserung/Bodenverfestigung durchgeführt wurde. Das verwendete Bindemittel ist nach Art und Menge (z.B. in kg/m³ oder in M-%, usw.) anzugeben.*
- 4. Die Art der Verdichtung der Böschungsbereiche im Dammbereich (z.B. Böschungsüberschüttung mit nachfolgendem Abtrag, Böschungsverdichtung durch seilgeführte Walzen usw.).*
- 5. Die Ansatzpunkte aller Probenahmestellen für bodenmechanische Laborversuche und die Prüfpunkte aller bodenmechanischen Feldversuche (z.B. Plattendruckversuche, Dichtemessungen, Verdichtungsgrad usw.). Die Ergebnisse aller Versuche sind übersichtlich tabellarisch zusammengestellt zu übergeben.*
- 6. Die Messstellen und die Ergebnisse von Setzungsmessungen (und eventuell weiteren Verschiebungsmessungen).*
- 7. Die Ergebnisse von Ebenheitsmessungen auf dem Planum.*
- 8. Die Ansatzpunkte aller Probenahmestellen für chemische Untersuchungen. Die Ergebnisse aller chemischen Untersuchungen sind zusätzlich übersichtlich tabellarisch zusammengestellt zu übergeben.*
- 9. Ergebnisse von Sondierungen (Ramm- und Drucksondierungen), z.B. bei Brückenwiderlagern und Leitungsgräben sind maßstäblich in die Quer- und Längsschnitte des Erdbauwerkes einzutragen.*

ZTV E-StB 2009, Seite 88 und 89
bzw. 2017

ZTV E-StB - derzeit in *KURSIV*

15 Dokumentation der Qualitätssicherung (forts.)

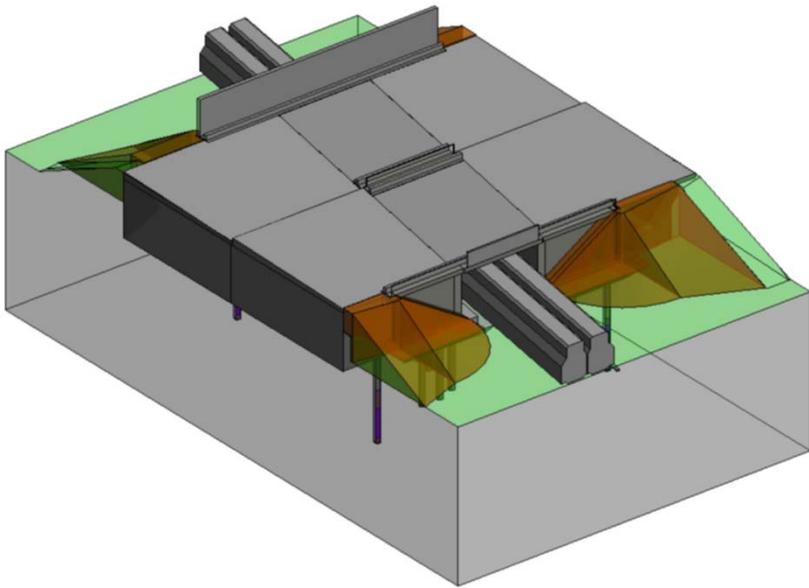
- 10. Sämtliche erdbautechnischen und konstruktiven Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit bei Einschnittsböschungen.*
- 11. Abdichtungen, gegebenenfalls mit Verlegeplan.*
- 12. Die Fläche und die Dicke des Auftrages von Oberboden auf der Böschung.*
- 13. Besondere Vorkommnisse (z.B. Böschungs- oder Grundbrüche, Austauschbereiche von bereits geschüttetem, nicht geeignetem und wieder ausgebautem Material) während der Herstellung.*
- 14. Alle Eignungsprüfungen.*
- 15. Andere Gewerke.*
- 16. Andere Messungen und Prüfungen.*

In den Bestandsplan sind sowohl Ergebnisse von Eigenüberwachungs- als auch von Kontrollprüfungen einzutragen.

Die Bestandspläne des Oberbaus, der Entwässerungseinrichtungen und die Dokumentation der Qualitätssicherung des Erdbauwerkes sollen auf einander abgestimmt sein.

Ausblick

- Weg von punktuellen Prüfungen?
- Qualität durch Überwachung und Dokumentation des Einbaues? Automatisierung?
- Building Information Modelling (BIM)



MA Franziska Mini, TUM
aus: Willberg, VSVI Seminar 2017



BA Kratt, Bauhaus-Universität Weimar, 2016



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Literatur

Literatur

- Brandl, H., Adam, D., Kopf, F. & Niederbrucker, R. (2003): Der dynamische Lastplattenversuch mit dem Leichten Fallgewichtsgesät. – In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Straßenforschungsauftrag Nr. 3.558, 278 S., Straßenforschung, Band. 533, Wien.
- Brandl, H., Adam, D. & Kopf, F. (2007): Die Kalibrierung der dynamischen Lastplatte. – In: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.): Straßenforschungsauftrag Nr. 3.289, 125 S., Straßenforschung, Band. 561, Wien.
- Bräu, G.; Vogt, S.; Vogt, N. (2009): Ermittlung der bodenspezifischen Anwendungsgrenzen der Flächendeckenden Dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK), Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn, Forschungsbericht FE 05.138, Serie: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft Nr. 1015
- Bräu, G.; Vogt, S. (2013): Schaffung eines Bewertungshintergrundes für den Nachweis der Tragfähigkeit mit dem Mittelschweren Fallgewichtsgesät; Schlussbericht zum Forschungsvorhaben BAST FE 06.0094/2011/AGB
- Hartmann, K., Bräu, G. (2003): Aufstellung von Anforderungswerten an den dynamischen Verformungsmodul, Teil 1: Datensammlung und Auswertung. – In: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.): Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 05.114/1998/CGB, 13-68, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Band. 863, Bonn.
- Kudla, W.; Floss, R. (1990): Erprobung des dynamischen Fallplattenversuchs als Schnellprüfverfahren für die Qualitätssicherung im Erdbau und für ungebundene Tragschichten; Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn, Forschungsbericht FE 05.087
- Kudla, W.; Floss, R.; Trautmann, C. (1991): Dynamischer Lastplattenversuch – Schnellprüfverfahren für die Qualitätssicherung von ungebundenen Schichten; Sonderdruck aus Straße und Autobahn, Heft 42, Bonn
- Kudla, W.; Uhlig, M. (2014): Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 05.161/2010/CGB „Ringversuch zur Kalibrierung des Leichten und Mittelschweren Fallgewichtsgesätes“
- Weingart, W. (1978): Theoretische Grundlagen der dynamischen Tragfähigkeitsprüfung mit Fallgewichtsgesäten; Die Strasse, Jhg. 18 Heft 9
- Weingart, W. (2001): Weiterentwicklung der dynamischen Tragfähigkeitsprüfung mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgesätes; Forschungsvorhaben an der Hochschule Anhalt (FH), Veröffentlicht: Mineralstofftagung Köln 2003

Literatur

- TL Gestein-StB 04/07 (2007): Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
- TL BuB E-StB 09 (2009): Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe für den Erdbau, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 2009
- TP Gestein-StB Teil 5.6 (2008): Bestimmung der Festigkeit – Dynamischer CBR-Versuch; Ausgabe 2008, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
- TP BF-StB Teil B 7.1 (2012): Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes; Ausgabe 2012, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
- TP Gestein-StB Teil 8.2.1 (2012): Technische Prüfvorschrift für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Dynamischer Plattendruckversuch mit dem Mittelschweren Fallgewichtsgesetz. – 10 S., Köln (FGSV).
- TP BF-StB Teil B 8.3 (2012): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Dynamischer Plattendruckversuch mit dem Leichtem Fallgewichtsgesetz, Ausgabe 2012; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
- TP BF-StB Teil B 8.4 (2016): Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Kalibriervorschrift für das Leichte und das Mittelschwere Fallgewichtsgesetz. – 30 S., Köln (FGSV).
- ZTV E-StB 09 (2009): Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2009; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
- ZTV E-StB 17 (2017): Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2017; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
- ZTV SoB-StB 20 (2020): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel, Ausgabe 2020, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln
-