

**Technische Prüfvorschriften
für Boden und Fels im Straßenbau**

R 1

TP BF-StB

Teil B 8.4

**Kalibriervorschriften für
das Leichte und das Mittelschwere
Fallgewichtsgesetz**

© 2016 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die des Nachdruckes, der Übersetzung, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

ISBN 978-3-86446-147-7

**Technische Prüfvorschriften
für Boden und Fels im Straßenbau**



R 1

TP BF-StB

**Teil B 8.4
Kalibriervorschriften für
das Leichte und das Mittelschwere
Fallgewichtsgesetz**

Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau
Arbeitsausschuss: Prüftechnik

Leiter: Dipl.-Ing. (FH) Marcel Neuhaus, Münster

Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Alexander Cejka, Hamburg
Dr. rer. nat. Dipl.-Math. Tilmann Deutler, Mannheim/Lampertheim
Dipl.-Ing. Ulrich Diehl, Herdecke
Dr.-Ing. Dirk Jansen, Bergisch Gladbach
Prof. Dr.-Ing. Kurt Kliesch, Frankfurt/Main
Dipl.-Ing. Hans-Josef Kloubert, Boppard
Dipl.-Ing. Bernd Kratzer, Berlin
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Kudla, Freiberg
Dipl.-Ing. Hermann Lammen, Münster
Dipl.-Ing. Werner Lange, Köln
Dipl.-Phys. Reinhardt Nickol, Halberstadt
RBDirekt. Dipl.-Ing. André Paulsen, Neumünster
Dipl.-Ing. (FH) Hartmut Reichenbach, Abstatt
Dipl.-Ing. Franz Schlögl, München
Dipl.-Ing. (FH) Dieter Straußberger, Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Weingart, Barleben

Vorbemerkung

Der Teil B 8.4 „Kalibriervorschriften für das Leichte und das Mittelschwere Fallgewichtsgerät“ der „Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau“ (TP BF-StB) wurde vom Arbeitsausschuss „Prüftechnik“ (Leiter: Dipl.-Ing. (FH) Marcel Neuhaus) der Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“ der FGSV aufgestellt.

Die Kalibriervorschriften gelten für das Leichte Fallgewichtsgerät nach den „Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau“ (TP BF-StB), Teil B 8.3 und für das Mittelschwere Fallgewichtsgerät nach den „Technischen Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau“ (TP Gestein-StB), Teil 8.2.1 „Dynamischer Plattendruckversuch mit dem Mittelschweren Fallgewichtsgerät“.

Inhaltsübersicht

1 Allgemeines	4
2 Kalibrierung der Belastungseinrichtung	6
2.1 Geräte und Durchführung	6
2.2 Ausreißertest für eine Kraftmessreihe	8
2.3 Berechnungen aus den Messergebnissen	9
2.4 Ergebnisauswertung und Konsequenzen, Entscheidungsregeln	9
2.5 Empfohlene Messtechnik zur Kraftmessung	10
3 Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung	10
3.1 Geräte und Durchführung	10
3.2 Ausreißertest für eine Setzungsmessreihe	13
3.3 Berechnungen aus den Messergebnissen	15
3.4 Ergebnisauswertung und Konsequenzen, Entscheidungsregeln	16
3.5 Empfohlene Messtechnik zur Setzungsmessung	18
4 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis	18
5 Technische Regelwerke	22
Anhang: Beispiel für ein Kalibrierprotokoll eines Mittelschweren Fallgewichtsgerätes.....	23

1 Allgemeines

Die Belastungsvorrichtung und die Setzungsmesseinrichtung des Leichten und des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes müssen vor Auslieferung und nach Reparaturen kalibriert werden. Die Kalibrierung muss zudem mindestens einmal jährlich wiederholt werden.

Die Kalibrierung darf nur durch eine von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) anerkannte Kalibrierstelle erfolgen. Die Liste der anerkannten Kalibrierstellen wird von der BASt geführt (siehe www.bast.de > Qualitätsbewertung > Straßenbau > Anerkennung).

Durch die Kalibrierung wird die Funktionsfähigkeit des Gerätes sowie die Einhaltung der Vorgaben für die Belastungsvorrichtung (Tabellen 1 bis 3) und für die Setzungsmesseinrichtung (Tabelle 4) überprüft.

Tabelle 1: Sollwerte für Stoßkraft und Stoßdauer

	Leichtes Fallgewichtsgerät	Mittelschweres Fallgewichtsgerät
Sollwert der maximalen Stoßkraft	7,070 kN ± 1 %	14,140 kN ± 1 %
Maximal zulässige Standardabweichung der Stoßkraft	20 N	40 N
Sollwert der Stoßdauer	17 ms ± 1,5 ms	13 ms ± 1 ms

Die Kalibrierung ist auf der Belastungseinrichtung und auf der Setzungsmesseinrichtung dauerhaft zu kennzeichnen. Diese Kennzeichen müssen den Namen der Kalibrierstelle und die Gültigkeitsdauer der Kalibrierung ausweisen.

Die kalibrierte Belastungsvorrichtung und die Lastplatte mit der kalibrierten Setzungsmesseinrichtung dürfen nur zusammen verwendet werden und müssen zusammen kalibriert werden. Dazu sind die Lastplatte mit der Setzungsmesseinrichtung und die Belastungsvorrichtung so zu kennzeichnen, dass erkenntlich ist, dass diese Teile zusammengehören. Sie dürfen nicht mit Teilen von anderen Fallgewichtsgeräten ausgetauscht werden.

Bei den in den Abschnitten 2 und 3 beschriebenen Messungen sind die Messergebnisse mindestens mit den in den Tabellen 2 bis 4 angegebenen Auflösungen zu messen und mit nachfolgend geforderter Anzahl von Nachkommastellen aus Gründen der mathematischen Weiterverarbeitung zu dokumentieren.

Anmerkung:

Damit der Text leichter lesbar ist und Verwechslungen vermieden werden, wird nachfolgend die empirische Standardabweichung einer Messreihe nicht mit s , sondern mit σ bezeichnet.

Die maximale Setzung bei einem Messstoß mit dem Leichten Fallgewichtsgerät wird mit s_L an Stelle von $s_{max, Leichtes Fallgewichtsgerät}$ bzw. die maximale Setzung bei einem Messstoß mit dem Mittelschweren Fallgewichtsgerät mit s_M an Stelle von $s_{max, Mittelschweres Fallgewichtsgerät}$ bezeichnet.

Außerdem wird die maximale Kraft bei einem Messstoß mit F_m an Stelle von F_{max} bezeichnet (siehe auch Abkürzungsverzeichnis).

Tabelle 2: Vorgaben zur Kraftmessung

				Leichtes Fallgewichtsgerät	Mittelschweres Fallgewichtsgerät
1.	Auflösung bei Kraftmessung $F_{m,ij}$:			≤ 5 N	
2.	Anzahl der Nachkommastellen bei Angabe von				
2.1	Kraft $F_{m,ij}$ [N]:	keine	z. B.	7.060 N	14.133 N
2.2	Mittelwert $\overline{F_{m,i\bullet}}$: (Gl-3)	eine	z. B.	7.059,7 N	14.132,7 N
2.3	Mittelwert $\overline{\overline{F_{m,\bullet\bullet}}}$: (Gl-7)	zwei	z. B.	7.059,74 N	14.132,68 N
2.4	Standardabweichung $\sigma_{F,i\bullet}$: (Gl-5)	zwei	z. B.	1,96 N	3,92 N
2.5	Standardabweichung $\sigma_{F,\bullet\bullet}$: (Gl-8)	drei	z. B.	1,958 N	3,917 N

Anmerkung:

Wenn im Index der Indexzeile ein Punkt steht (z. B. $\overline{F_{m,i\bullet}}$ berechnet aus Gleichung (Gl-3)), bedeutet dies, dass über den anstelle des Punktes vorhandenen Parameter (z. B. Parameter j in (Gl-3)) aufsummiert wurde.

Tabelle 3: Vorgaben zur Stoßdauerermessung

				Leichtes Fallgewichtsgerät	Mittelschweres Fallgewichtsgerät
1.	Auflösung bei Stoßdauerermessung $t_{s,ij}$:			$\leq 0,02$ ms	
2.	Anzahl der Nachkommastellen bei Angabe von				
2.1	Stoßdauer $t_{s,ij}$:	zwei	z. B.	17,71 ms	12,92 ms
2.2	Mittelwert $\overline{t_{s,i\bullet}}$: (Gl-4)	drei	z. B.	17,712 ms	12,883 ms
2.3	Standardabweichung $\sigma_{t,i\bullet}$: (Gl-6)	vier	z. B.	0,0672 ms	
2.4	Prüfgrößen T_{10}, T_1 : (Gl-1a/b), (Gl-2a/b)	drei	z. B.	2,123	

Tabelle 4: Vorgaben zur Setzungsmessung

				Leichtes bzw. Mittelschweres Fallgewichtsgerät
1.	Auflösung			
1.1	bei Setzungsmessung mit Leichtem Fallgewichtsgerät $s_{L,ij}$ bzw. Mittelschwerem Fallgewichtsgerät $s_{M,ij}$:	$\leq 0,005$ mm		
1.2	bei Setzungsmessung mit induktiven Wegaufnehmern $s_{IND,ij}$:	$\leq 0,002$ mm		
2.	Anzahl der Nachkommastellen bei Angabe von			
2.1	Einzelwerten, Mittelwerten und Differenzen der Setzungen, gemessen mit dem Fallgewichtsgerät bzw. mit induktiven Wegaufnehmern: $s_{M,ij}^*, s_{L,ij}^*, s_{M,ij}, s_{L,ij}, s_{IND,ij}, \Delta_{s,L,ij}, \Delta_{s,M,ij}, s_{A,ij}, s_{B,ij}, s_{C,ij}$	drei	z. B.	0,524 mm
2.2	Mittelwerten und Differenzen der Setzungen, gemessen mit dem Fallgewichtsgerät bzw. mit induktiven Wegaufnehmern: $\overline{s_{L,i}^*}, \overline{s_{M,i}^*}, \overline{s_{L,i}}, \overline{s_{M,i}}, \overline{s_{IND,i}}, \overline{\Delta_{s,L,i}}, \overline{\Delta_{s,M,i}}$	vier	z. B.	0,5242 mm
2.3	Standardabweichungen $\sigma_{s,IND}, \sigma_{s^*,L}$ bzw. $\sigma_{s^*,M}, \sigma_{s,L}$ bzw. $\sigma_{s,M}, \sigma_{\Delta}$: (GI-13), (GI-15), (GI-23)	vier	z. B.	0,0125
2.4	Prüfgrößen $T_{\Delta,L}$ und $T_{\Delta,M}$: (GI-24a), (GI-24b)	drei	z. B.	1,249
2.5	Prüfgrößen $T_{Var,L}$ und $T_{Var,M}$: (GI-25a), (GI-25b)	drei	z. B.	0,014
2.6	Prüfgrößen T_1 und T_{10} : (GI-9a/b/c), (GI-10a/b/c)	drei	z. B.	1,192
2.7	Kalibrierfaktor $c_{M,i}$ (GI-16)	fünf	z.B.	1,02431
2.8	Mittelwert der Kalibrierfaktoren $c_{M,i}$ (GI-17)	sechs	z.B.	1,004567

2 Kalibrierung der Belastungseinrichtung

2.1 Geräte und Durchführung

Die Kalibrierung der Belastungsvorrichtung erfolgt durch Einstellen der Stoßkraft und der Stoßdauer auf die Sollvorgaben. Dazu werden die Fallhöhe des Fallgewichtes und die Vorspannung des Federpaketes eingestellt. Die Masse des Fallgewichtes darf nicht verändert werden.

Neue Federelemente sind vor der Kalibrierung durch mindestens 100 Stöße vorzubelasten. Nach Beendigung der Vorbelastungsstöße ist die Kalibrierung frühestens nach 1 Stunde zu beginnen.

Für die Kalibrierung werden benötigt:

- Starre Unterlage; die Unterlage darf durch die Stoßbelastung nicht zu Schwingungen, die den Kraftverlauf stören, angeregt werden. Als starre Unterlage gilt ein Betonfundament mit Mindestabmessungen (Länge x Breite x Höhe) von 0,8 m x 0,8 m x 0,5 m. Die Oberfläche des Betonfundamentes muss horizontal und eben sein.

- Fallgewicht mit Führungsstange und Federelement,
- Halterung zur vertikalen Ausrichtung der Führungsstange,
- Kraftmessgerät mit einer Nennlast von 50 kN und einem Aufnahmezapfen für die Belastungsvorrichtung (Kugelzentrierung),
- Messverstärker mit eingestelltem internem Filter: $1000 \text{ Hz} < \text{obere Grenzfrequenz } f_G < 2000 \text{ Hz}$,
- PC mit A/D-Wandlerkarte, mindestens 12 bit Auflösung, Abtastrate mindestens 19 kHz, Signalfilterung über Software. Softwareparameter: Tiefpassfilter 4. Ordnung mit Filtercharakteristik nach Butterworth, Grenzfrequenz $200 \text{ Hz}/-3\text{dB}$, Auswertesoftware für den gesamten Kraftverlauf und Anzeige des Maximalwertes der Kraft und der Stoßdauer, Nullpunktbestimmung nach Ausklinken der Fallmasse.

Für die Messkette bestehend aus Kraftmessgerät und Messverstärker ist ein Kalibrier-nachweis entsprechend DIN EN ISO 376 erforderlich. Das Kraftmessgerät ist im Teil-lastbereich von 1 kN bis 16 kN zu kalibrieren. Es muss in diesem Messbereich der Klasse 1 nach DIN EN ISO 376 genügen. Die Kalibrierung ist von einer Institution durchzuführen, die über rückgeführte Prüfmittel verfügt.

Die Kalibrierung des Kraftmessgerätes muss jährlich erfolgen.

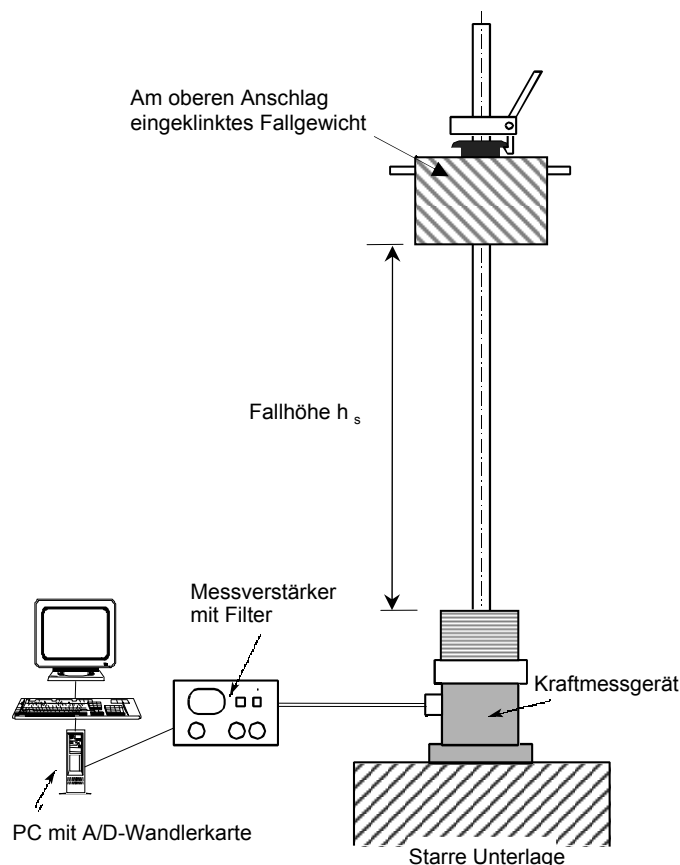


Bild 1: Prinzipskizze für die Kalibrierung der Belastungseinrichtung

Die Führungsstange mit dem Fallgewicht ist auf das Kraftmessgerät aufzusetzen. Die Messkette ist entsprechend der Betriebsanleitung in Messbereitschaft zu bringen. Die Führungsstange muss bei den Messstößen senkrecht stehen. Dazu muss die Führungsstange am oberen Ende an einer Haltevorrichtung befestigt werden, die eine vertikale Stellung der Führungsstange bei jedem Messstoß gewährleistet.

Die vertikale Bewegung der Stange darf nicht behindert sein. Die Führungsstange muss sauber sein, damit die Reibung zwischen Führungsstange und Fallgewicht möglichst klein ist.

Nach dem Aufsetzen der Führungsstange sind drei Vorbelastungsstöße durchzuführen. Deren Ergebnisse werden nicht registriert.

Es sind 3 Messreihen ($i = 1, 2, 3$) mit je 10 Messstößen ($j = 1, 2, \dots, 10$) mit gleicher Fallhöhe auszuführen und dabei die maximale Stoßkraft $F_{m,ij}$ und die Stoßdauer $t_{s,ij}$ bei jedem Messstoß zu registrieren. Die Messergebnisse sind in das Kalibrierprotokoll einzutragen oder in einem Computerausdruck zu dokumentieren. Nach jeder Messreihe ist die Führungsstange komplett auszubauen und wieder neu einzubauen.

Die Messung der Stoßdauer t_s beginnt ab dem Zeitpunkt, bei dem die Kraft 210 N beträgt und endet zu dem Zeitpunkt, bei dem die Kraft wieder den Wert von 210 N erreicht.

2.2 Ausreißertest für eine Kraftmessreihe

Vor der weiteren Auswertung der Messreihen ist ein Ausreißertest für jede Messreihe mit 10 Stößen durchzuführen, unabhängig davon, ob nach subjektiver Einschätzung ein Ausreißer vorliegt oder nicht. Nachfolgender Test überprüft, ob entweder der größte oder der kleinste Wert einer Messreihe mit dem Stichprobenumfang $n = 10$ als Ausreißer zu verwerfen ist.

Aus dem größten Wert $F_{m,i(10)}$ bzw. $t_{s,i(10)}$ in einer geordneten Messreihe mit dem Stichprobenumfang $n = 10$, dem Mittelwert $\overline{F_{m,i}}$ (siehe Gl-3) bzw. $\overline{t_{s,i}}$ (siehe Gl-4) und der Standardabweichung $\sigma_{F,i}$ (siehe Gl-5) bzw. $\sigma_{t,i}$ (siehe Gl-6) ist folgende Prüfgröße zu berechnen:

$$T_{10,F} = \frac{t_{s,i(10)} - \overline{t_{s,i}}}{\sigma_{t,i}} \quad (\text{Gl-1a})$$

$$T_{10,t} = \frac{F_{m,i(10)} - \overline{F_{m,i}}}{\sigma_{F,i}} \quad (\text{Gl-1b})$$

Aus dem kleinsten Wert $F_{m,i(1)}$ bzw. $t_{s,i(1)}$ in einer geordneten Messreihe ist folgende Prüfgröße zu berechnen:

$$T_{1,F} = \frac{\overline{F_{m,i}} - F_{m,i(1)}}{\sigma_{F,i}} \quad (\text{Gl-2a})$$

$$T_{1,t} = \frac{\overline{t_{s,i}} - t_{s,i(1)}}{\sigma_{t,i}} \quad (\text{Gl-2b})$$

Sofern die Prüfgröße $T_{10,F}$ bzw. $T_{1,F}$ oder $T_{10,t}$ bzw. $T_{1,t}$ den Schwellenwert von 2,410 (Signifikanzniveau 1 %) überschreitet, ist der Messwert $F_{m,i(10)}$ bzw. $F_{m,i(1)}$ oder $t_{s,i(10)}$ bzw. $t_{s,i(1)}$ als Ausreißer zu verwerfen.

In diesem Fall ist ein einzelner neuer Stoßversuch zusätzlich auszuführen und dessen Messergebnis zu verwenden. Die Führungsstange soll deshalb am Ende einer Messreihe von 10 Versuchen noch nicht aus der Halterung genommen werden, damit im Falle eines Ausreißers ein zusätzlicher Versuch erfolgen kann.

2.3 Berechnungen aus den Messergebnissen

Aus $n = 10$ Messstößen einer Messreihe i sind zu berechnen:

Mittelwert der Kraft aus n Messstößen:
$$\overline{F_{m,i\bullet}} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n F_{m,ij} \quad (\text{Gl-3})$$

Mittelwert der Stoßdauer aus n Messstößen:
$$\overline{t_{s,i\bullet}} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n t_{s,ij} \quad (\text{Gl-4})$$

Standardabweichung der Kraft aus n Messstößen:

$$\sigma_{F,i\bullet} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (F_{m,ij} - \overline{F_{m,i\bullet}})^2} \quad (\text{Gl-5})$$

Standardabweichung der Stoßdauer aus n Messstößen:

$$\sigma_{t,i\bullet} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (t_{s,ij} - \overline{t_{s,i\bullet}})^2} \quad (\text{Gl-6})$$

Aus den Mittelwerten $\overline{F_{m,i\bullet}}$ der drei Kraftmessreihen i sind zu berechnen:

Mittelwert der 3 Kraftmessreihen:

$$\overline{\overline{F_{m,\bullet\bullet}}} = \frac{1}{3} * \sum_{i=1}^3 \overline{F_{m,i\bullet}} \quad (\text{Gl-7})$$

Standardabweichung der Mittelwerte der 3 Kraftmessreihen:

$$\sigma_{F,\bullet\bullet} = \sqrt{\frac{1}{3-1} * \sum_{i=1}^3 (\overline{F_{m,i\bullet}} - \overline{\overline{F_{m,\bullet\bullet}}})^2} \quad (\text{Gl-8})$$

2.4 Ergebnisauswertung und Konsequenzen, Entscheidungsregeln

1. Sofern ein Ausreißer vorliegt, ist ein zusätzlicher Stoß durchzuführen.
Sofern ein Ausreißer vorliegt und die Durchführung eines weiteren Versuches nicht mehr möglich sein sollte, können alternativ die weiteren Berechnungen mit einem Stichprobenumfang von $n = 9$ durchgeführt werden. Bei mehr als einem Ausreißer in einer Messreihe ist die Messreihe zu wiederholen.
2. Falls beim Leichten Fallgewichtsgerät $\sigma_{F,i\bullet} > 20$ N bzw. beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät $\sigma_{F,i\bullet} > 40$ N ist, darf die Messreihe von $n = 10$ Stößen nicht gewertet werden und muss komplett wiederholt werden.
3. Falls $\sigma_{t,i\bullet} > 0,1$ ms ist, darf die Messreihe von $n = 10$ Stößen nicht gewertet werden und muss komplett wiederholt werden.

4. Weicht der Mittelwert $\overline{F_{m,i}}$ um mehr als $\pm 1 \%$ vom Sollwert der Stoßkraft ab, ist die Fallhöhe so lange zu verändern, bis die zulässige Toleranz von $\pm 1 \%$ eingehalten wird. Bei jeder Veränderung der Fallhöhe ist die gesamte Prozedur der Kalibrierung der Belastungsvorrichtung zu wiederholen.
5. Weicht die gemessene Stoßdauer $\overline{t_{s,i}}$ bei der Fallhöhe h_s um mehr als $\pm 1,5$ ms beim Leichten Fallgewichtsgerät und um mehr als $\pm 1,0$ ms beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät von der geforderten Stoßdauer ab, ist die Tellerfeder entsprechend vorzuspannen oder ein neues Federelement zu verwenden. Mit dem ausgewechselten Federelement ist die Kalibrierung komplett neu durchzuführen.
6. Falls $\sigma_{F_{..}} > 10$ N ist, müssen alle drei Messreihen komplett wiederholt werden. Die drei Messreihen müssen dabei alle mit der gleichen Fallhöhe h_s ausgeführt sein.

Die zur geforderten Stoßkraft $F_{soll} = 7,070$ kN beim Leichten Fallgewichtsgerät bzw. $F_{soll} = 14,140$ kN beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät ermittelte Fallhöhe h_s ist auf der Belastungsvorrichtung dauerhaft zu vermerken. Als Fallhöhe h_s ist die Strecke von der Unterseite des Fallgewichtes, das in der Ausklinkvorrichtung eingehängt ist, bis zur Aufschlagfläche auf der Oberseite des Federelementes anzugeben (siehe Bild 1).

2.5 Empfohlene Messtechnik zur Kraftmessung

Für die Kraftmessung wird folgende Messtechnik empfohlen, die den im Abschnitt 2.1 genannten Vorgaben entspricht:

- Kraftmessgerät: Typ C4/50 kN der Fa. Hottinger-Baldwin-Messtechnik
- Messverstärker: MGC plus mit Einkanalverstärkereinschub, z. B. Typ ML 55B der Fa. Hottinger-Baldwin-Messtechnik
- A/D-Wandlerkarte: mit mindestens 12 bit Auflösung

Mit der angegebenen Messtechnik ist die Einhaltung der im Abschnitt 1 genannten Anforderungen möglich. Eine andere Messtechnik, die sich auf neuem technischen Stand befindet, ist ebenfalls zulässig, sofern sie die Anforderungen im Abschnitt 1 erfüllt.

3 Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung

3.1 Geräte und Durchführung

Die Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung muss für den gesamten Messbereich von 0,3 mm bis 1,5 mm bei kalibrierter Fallhöhe h_s erfolgen. Bei der Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung wird der von der Setzungsmesseinrichtung angezeigte Wert s_L bzw. s_M mit dem Mittelwert s_{IND} der Setzungen von drei induktiven Wegaufnehmern verglichen. Die Aufsetzpunkte A, B und C der drei induktiven Wegaufnehmer müssen möglichst dicht am Zentrum der Lastplatte liegen und sind jeweils um 120° versetzt anzuordnen (siehe Bild 2).

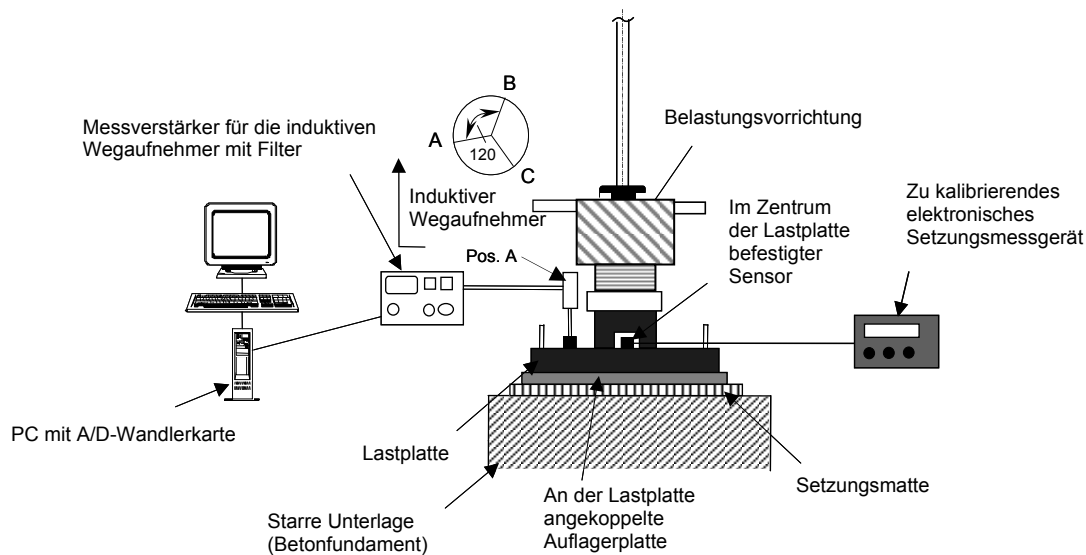


Bild 2: Prinzipskizze für die Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung

Für die Kalibrierung werden entsprechend dem Bild 2 folgende Messeinrichtungen benötigt:

- starre Unterlage; die Unterlage darf durch die Stoßbelastung nicht zu Schwingungen, die den Kraftverlauf stören, angeregt werden. Als starre Unterlage gilt ein Betonfundament mit Mindestabmessungen Länge x Breite x Höhe von 0,8 m x 0,8 m x 0,5 m. Die Oberfläche des Betonfundamentes muss horizontal und eben sein.
- Auflagerplatte aus Stahl (Durchmesser 340 mm, Masse $30 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$) als Äquivalenzmasse für die fiktive mitschwingende Halbraummasse. Die Lastplatte ist für die Kalibrierung mit einer Schnellspannvorrichtung auf der Auflagerplatte zu befestigen. Die Massenangabe von $30 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$ schließt die Masse der Schnellspannvorrichtung mit ein.
- Halterung zur vertikalen Ausrichtung der Führungsstange (ohne Beeinträchtigung der vertikalen Bewegung der Führungsstange)
- drei verschiedene Setzungsmatten mit unterschiedlicher Dicke. Die Matten müssen bei der kalibrierten Stoßkraft nachfolgende Setzungen der Lastplatte gewährleisten:
 1. Setzungsmessbereich $i=1$ (weiche Unterlage):
 $\overline{s_{IND,i}} > 0,9000 \text{ mm}$; der Zielwert im Setzungsmessbereich 1 sollte beim Leichten Fallgewichtsgerät bei $\overline{s_{IND,i}} \approx 1,4000 \text{ mm}$ und beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät bei $\overline{s_{IND,i}} \approx 1,2000 \text{ mm}$ liegen.
 2. Setzungsmessbereich $i=2$ (mittelharte Unterlage):
 $\overline{s_{IND,i}}$ zwischen $0,4000 \text{ mm}$ und $0,6000 \text{ mm}$; der Zielwert sollte im Setzungsmessbereich 2 beim Leichten und beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät bei $\overline{s_{IND,i}} \approx 0,5000 \text{ mm}$ liegen.
 3. Setzungsmessbereich $i=3$ (harte Unterlage):
 $0,2500 \text{ mm} < \overline{s_{IND,i}} < 0,4000 \text{ mm}$; der Zielwert sollte im Setzungsmessbereich 3 beim Leichten und beim Mittelschweren Fallgewichtsgerät bei $\overline{s_{IND,i}} \approx 0,3000 \text{ mm}$ liegen.

Für die Setzungsmatten sind Matten vom Typ Aclacell der Firma Acla-Werke GmbH, Köln, mit den in der Tabelle 5 genannten Dicken zu verwenden. Die Matten werden von der BASt zur Verfügung gestellt bzw. sind über die BASt zu beziehen.

Tabelle 5: Zu verwendende Setzungsmatten bei der Kalibrierung

1	2	3	4	5	6	7
			Leichtes Fallgewichtsgesetz		Mittelschweres Fallgewichtsgesetz	
Setzungsbereich	von bis [mm]	Zielwert [mm]	entsprechender Verformungsmodul $E_{vd,LFG}$ beim Zielwert [MN/m ²]	Dicke der Setzungsmatte für LFG-Kalibrierung [mm]	entsprechender Verformungsmodul $E_{vd,MFG}$ beim Zielwert [MN/m ²]	Dicke der Setzungsmatte für MFG-Kalibrierung [mm]
3	0,2500 - 0,4000	0,3	75	6	150	2
2	0,4000 - 0,6000	0,5	45	10	90	4
1	> 0,9000	1,4 (LFG) / 1,2 (MFG)	16	23	37,5	10

Anmerkung zur Tabelle 5:

Die Zielwerte der Setzungsmessbereiche (Spalte 3) für die Kalibrierung sind so festgelegt, dass mit den drei Setzungsmessbereichen sowohl an den Rändern als auch in der Mitte des gesamten zulässigen Messbereiches für das LFG (15 MN/m² bis 75 MN/m²) bzw. für das MFG (30 MN/m² bis 150 MN/m²) kalibriert wird. Um die Zielwerte (Spalte 3) zu erreichen, werden die in Spalte 5 und 7 angegebenen Setzungsmattendicken empfohlen. Da jedoch der Zielwert der Setzungen mit den angegebenen Dicken nicht immer genau erreicht werden kann, ist eine Kalibrierung auch gültig, sofern die Setzung im jeweiligen Setzungsmessbereich die Bedingung in Spalte 2 der Tabelle 5 erfüllt.

- drei induktive Wegaufnehmer mit Tauchstab oder Tastspitze, die für Stoßmessungen geeignet sind; Ankopplung der Tauchstäbe an die Lastplatte (siehe unten); Messbereich mindestens ± 5 mm.
Die induktiven Wegaufnehmer sind für einen Messbereich von ± 2 mm um die Nullpunktlage zu kalibrieren. Sie müssen in diesem Messbereich der Genauigkeitsklasse 0,5 nach DIN EN ISO 9513 genügen.
- Brücke oder Stativ für Wegaufnehmer
- Messverstärker mit eingestelltem internem Filter:
1000 Hz < obere Grenzfrequenz f_G < 2000 Hz
- PC mit A/D-Wandlerkarte, mindestens 12 bit Auflösung, Abtastrate mindestens 19 kHz, Signalfilterung über Software.
Softwareparameter: Tiefpassfilter 4. Ordnung mit Filtercharakteristik nach Butterworth, Grenzfrequenz 200 Hz/-3dB, Auswertesoftware für den gesamten Setzungsverlauf und Anzeige des Maximalwertes der Setzung, Nullpunktbestimmung nach Ausklinken der Fallmasse.

Für die Messkette, bestehend aus den induktiven Wegaufnehmern und dem zugehörigen Messverstärker, ist ein Kalibriernachweis nach DIN EN ISO 9513 erforderlich. Die Kalibrierung der Wegmesskette mit Kalibriernachweis für die drei Wegmesskanäle ist von einem Prüfinstitut durchzuführen, das über rückgeführte Prüfmittel verfügt. Die Kalibrierung der Wegaufnehmer zusammen mit den zugehörigen Messverstärkern muss jährlich erfolgen.

Die Auflagerplatte wird auf die Setzungsmatte für den Messbereich von $> 0,9$ mm (weiche Unterlage, entspricht Setzungsmessbereich $i = 1$) gelegt und die Lastplatte auf der Auflagerplatte befestigt.

Die Messbrücke oder das Stativ ist so weit vom Lastplattenzentrum auf einer festen Unterlage aufzulagern, dass keine störenden Erschütterungen übertragen werden können. Die induktiven Wegaufnehmer werden auf den Punkten A, B und C der Lastplatte aufgesetzt. Die Tauchstäbe müssen unter Verwendung von Klebfett fest auf der Lastplatte angekoppelt sein oder mit Feder verstärkter Tastspitze auf die Lastplatte gedrückt werden oder mit Magnet an der Lastplatte befestigt werden. Die Messung erfolgt im mittleren Messbereich der induktiven Wegaufnehmer.

Zur Ausführung der Kalibrierung ist die Belastungsvorrichtung im Zentrum der Lastplatte aufzusetzen und die Messkette entsprechend den Betriebsanleitungen in Messbereitschaft zu bringen.

Nach dem Aufsetzen der Führungsstange sind drei Vorbelastungsstöße durchzuführen. Deren Ergebnisse werden nicht registriert.

Anschließend werden $n = 10$ Messstöße ($j = 1, 2, \dots, 10$) mit dem Fallgewicht aus der nach Abschnitt 2 festgelegten Fallhöhe h_s ausgeführt. Dabei werden bei jedem Stoß die Setzungen $s_{L,ij}^*$ mit dem zum Leichten Fallgewichtsgerät gehörigen Setzungsmessgerät bzw. $s_{M,ij}^*$ mit dem zum Mittelschweren Fallgewichtsgerät gehörigen Setzungsmessgerät und die Setzungen $s_{IND,ij}$ mit den induktiven Wegaufnehmern gemessen. Die Setzungen $s_{IND,ij}$ entsprechen dem Mittelwert der an den Messpunkten A, B und C gemessenen Setzungen $s_{A,ij}$, $s_{B,ij}$ und $s_{C,ij}$ (siehe Gl-11). Die Messergebnisse sind in das Kalibrierprotokoll einzutragen oder in einem Computerausdruck zu dokumentieren.

Daran anschließend werden jeweils 10 weitere Messungen unter Verwendung der Setzungsmatten für den Setzungsmessbereich 2 (Setzung im Bereich von 0,4 mm bis 0,6 mm) und für den Setzungsmessbereich 3 (Setzung im Bereich von $< 0,4$ mm) analog zu den Messungen im Setzungsmessbereich 1 ausgeführt.

3.2 Ausreißertest für eine Setzungsmessreihe

Vor der weiteren Auswertung der Messreihen ist ein Ausreißertest für jede der nachfolgend genannten Messreihen mit $n = 10$ Messstößen durchzuführen, unabhängig davon, ob nach subjektiver Einschätzung ein Ausreißer vorliegt oder nicht:

1. Messreihe $s_{L,ij}^*$ bzw. $s_{M,ij}^*$ der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten bzw. Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzungen
2. Messreihe $s_{IND,ij}$ der mit den induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen $s_{A,ij}$, $s_{B,ij}$ und $s_{C,ij}$
3. Messreihe $\Delta_{s,ij}$ der Differenzen aus der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten bzw. Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzung und der mit den induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzung

Nachfolgender Test überprüft, ob entweder der größte oder der kleinste Wert einer Messreihe mit dem Stichprobenumfang $n = 10$ als Ausreißer zu verwerfen ist.

Der Ausreißertest und die Berechnungen aus den Messergebnissen im Abschnitt 3.3 sind nachfolgend für die Messreihe $s_{M,ij}^*$ der mit dem Mittelschweren Fallgewichtsgerät gemessenen Setzungen beispielhaft dargestellt.

Für die Messreihe $s_{L,ij}^*$ der mit dem Leichten Fallgewichtsgerät gemessenen Setzungen ist analog zu verfahren.

Aus dem größten Wert $s_{IND,i,(10)}$ bzw. $s_{M,i,(10)}^*$ bzw. $\Delta_{S,M,i,(10)}$ in einer geordneten Messreihe mit dem Stichprobenumfang $n = 10$, dem Mittelwert $\overline{s_{IND,i}}$ (siehe Gl-12) bzw. $\overline{s_{M,i}^*}$ (siehe Gl-14) bzw. $\overline{\Delta_{S,M,i}}$ (siehe Gl-22) und der Standardabweichung $\sigma_{s,IND,i}$ (siehe Gl-13) bzw. $\sigma_{s,M,i}^*$ (siehe Gl-15) bzw. $\sigma_{\Delta,M,i}$ (siehe Gl-23) sind folgende Prüfgrößen zu berechnen:

$$T_{10,IND} = \frac{s_{IND,i,(10)} - \overline{s_{IND,i}}}{\sigma_{s,IND,i}} \quad (\text{Gl-9a})$$

$$T_{10,M} = \frac{s_{M,i,(10)}^* - \overline{s_{M,i}^*}}{\sigma_{s,M,i}^*} \quad (\text{Gl-9b})$$

$$T_{10,\Delta} = \frac{\Delta_{S,M,i,(10)} - \overline{\Delta_{S,M,i}}}{\sigma_{\Delta,M,i}} \quad (\text{Gl-9c})$$

Aus dem kleinsten Wert $s_{IND,i,(1)}$ bzw. $s_{M,i,(1)}^*$ bzw. $\Delta_{S,M,i,(1)}$ in einer geordneten Messreihe sind analog hierzu folgende Prüfgrößen zu berechnen:

$$T_{1,IND} = \frac{\overline{s_{IND,i}} - s_{IND,i,(1)}}{\sigma_{s,IND,i}} \quad (\text{Gl-10a})$$

$$T_{1,M} = \frac{\overline{s_{M,i}^*} - s_{M,i,(1)}^*}{\sigma_{s,M,i}^*} \quad (\text{Gl-10b})$$

$$T_{1,\Delta} = \frac{\overline{\Delta_{S,M,i}} - \Delta_{S,M,i,(1)}}{\sigma_{\Delta,M,i}} \quad (\text{Gl-10c})$$

Sofern die Prüfgrößen T_{10} bzw. T_1 den Schwellenwert von 2,410 (Signifikanzniveau 1 %) überschreiten, ist der Messwert $s_{IND,i,(10)}$ bzw. $s_{M,i,(10)}^*$ bzw. $\Delta_{S,M,i,(10)}$ oder $s_{IND,i,(1)}$ bzw. $s_{M,i,(1)}^*$ bzw. $\Delta_{S,M,i,(1)}$ als Ausreißer zu verwerfen.

In diesem Fall ist ein einzelner neuer Stoßversuch zusätzlich auszuführen und dessen Messergebnis zu verwenden. Der Versuchsaufbau soll deshalb am Ende einer Messreihe von 10 Versuchen noch nicht abgebaut werden, damit im Falle eines Ausreißers ein zusätzlicher Versuch erfolgen kann.

3.3 Berechnungen aus den Messergebnissen

Aus den Messergebnissen sind folgende Werte zu berechnen.

Mittelwert der mit den drei induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen:

$$s_{IND,ij} = \frac{1}{3} * (s_{A,ij} + s_{B,ij} + s_{C,ij}) \quad (GI-11)$$

Mittelwert der Setzungen der induktiven Wegaufnehmer aus $n = 10$ Messstößen:

$$\overline{s_{IND,i\bullet}} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n s_{IND,ij} \quad (GI-12)$$

Standardabweichung der mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen aus $n = 10$ Messstößen:

$$\sigma_{s,IND,i\bullet} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (s_{IND,ij} - \overline{s_{IND,i\bullet}})^2} \quad (GI-13)$$

Mittelwert der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzung aus $n = 10$ Messstößen:

$$\overline{s_{M,i\bullet}^*} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n s_{M,ij}^* \quad (GI-14)$$

Standardabweichung der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzung aus $n = 10$ Messstößen:

$$\sigma_{s,M,i\bullet}^* = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (s_{M,ij}^* - \overline{s_{M,i\bullet}^*})^2} \quad (GI-15)$$

Kalibrierfaktor der Messreihe i :

$$c_{M,i} = \frac{\overline{s_{IND,i\bullet}}}{\overline{s_{M,i\bullet}^*}} \quad (GI-16)$$

Mittelwert der Kalibrierfaktoren der Messbereiche $i = 1$ bis 3:

$$\overline{c_{M\bullet}} = \frac{1}{3} * \sum_{i=1}^3 c_{M,i} \quad (GI-17)$$

Kalibrierte Setzungen $s_{M,ij}$ der mit dem Setzungsmessgerät gemessenen Setzungen des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes $s_{M,ij}^*$

$$s_{M,ij} = \overline{c_{M\bullet}} * s_{M,ij}^* \quad (GI-18)$$

Anmerkung:

Die Berechnungen (GI-16, GI-17, GI-18) sind auszuführen, wenn die Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung über einen Kalibrierfaktor erfolgt. Alternativ kann anstelle des Kalibrierfaktors auch eine Kalibrierfunktion verwendet werden. Der Kalibrierfaktor bzw. die Kalibrierfunktion müssen jedoch nicht zwangsläufig berechnet werden. Für diesen Fall gilt: $s_{M,ij} = s_{M,ij}^*$ bzw. $s_{L,ij} = s_{L,ij}^*$.

Mittelwert der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzung aus $n = 10$ Messstößen:

$$\overline{s_{M,i\bullet}} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n s_{M,ij} \quad (GI-19)$$

Standardabweichung der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzung aus $n = 10$ Messstößen:

$$\sigma_{s,M,i\bullet} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (s_{M,ij} - \overline{s_{M,i\bullet}})^2} \quad (GI-20)$$

Differenzen der mit dem Messgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen zu den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen:

$$\Delta_{s,M,ij} = S_{M,ij} - S_{IND,ij} \quad (\text{Gl-21})$$

Mittelwert der Differenzen aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des jeweiligen Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i :

$$\overline{\Delta_{s,M,i\bullet}} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n \Delta_{s,M,ij} \quad (\text{Gl-22})$$

Standardabweichung aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des jeweiligen Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i :

$$\sigma_{\Delta_{s,M,i\bullet}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{j=1}^n (\Delta_{s,M,ij} - \overline{\Delta_{s,M,i\bullet}})^2} \quad (\text{Gl-23})$$

3.4 Ergebnisauswertung und Konsequenzen, Entscheidungsregeln

1. Sofern ein Ausreißer vorliegt, ist ein zusätzlicher Stoß durchzuführen. Sofern ein Ausreißer vorliegt und die Durchführung eines weiteren Versuches nicht mehr möglich sein sollte, können alternativ die weiteren Berechnungen mit einem Stichprobenumfang von $n = 9$ durchgeführt werden.
Bei mehr als einem Ausreißer in einer Messreihe ist die Messreihe zu wiederholen.
2. Der Betrag des Mittelwertes der Differenzen $|\overline{\Delta_{s,L,i\bullet}}|$ bzw. $|\overline{\Delta_{s,M,i\bullet}}|$ aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des jeweiligen Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i darf die in der Tabelle 6 angegebenen maximal zulässigen Abweichungen $\Delta_{s,i,zul}$ nicht überschreiten. Bei einer Überschreitung ist das jeweilige Setzungsmessgerät entsprechend der Bedienungsanleitung des Herstellers zu justieren und die Kalibrierung mit 10 Messstößen zu wiederholen.

Tabelle 6: Maximal zulässige Abweichung des Mittelwertes der Setzungsmessungen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des jeweiligen Fallgewichtsgerätes, vom Mittelwert der Setzungsmessungen mit induktiven Wegaufnehmern

Setzungsmessbereich	$\overline{S_{IND,i\bullet}}$	$\Delta_{s,i,zul}$
$i = 1$	$> 0,6000 \text{ mm}$	0,0150 mm
$i = 2 \text{ und } 3$	$\leq 0,6000 \text{ mm}$	0,0100 mm

3. Aus dem Betrag des Mittelwertes $|\overline{\Delta_{s,L,i}}|$ bzw. $|\overline{\Delta_{s,M,i}}|$ und der Standardabweichung $\sigma_{\Delta,L,i}$ bzw. $\sigma_{\Delta,M,i}$ ist die Prüfgröße

$$T_{\Delta,L} = \frac{\left(|\overline{\Delta_{s,L,i}}| - \Delta_{s,i,zul} \right) * \sqrt{10}}{\sigma_{\Delta,L,i}} \quad (\text{für Leichtes Fallgewichtsgerät}) \quad (\text{Gl-24a})$$

$$T_{\Delta,M} = \frac{\left(|\overline{\Delta_{s,M,i}}| - \Delta_{s,i,zul} \right) * \sqrt{10}}{\sigma_{\Delta,M,i}} \quad (\text{für Mittelschweres Fallgewichtsgerät}) \quad (\text{Gl-24b})$$

zu bilden. Für $\Delta_{s,i,zul}$ sind die in der Tabelle 6 angegebenen Werte bei der Berechnung zu verwenden.

Sofern die Prüfgröße $T_{\Delta} > 2,262$ ist, muss die Setzungsmesseinrichtung entsprechend der Bedienungsanleitung des Herstellers justiert und die Kalibrierung komplett wiederholt werden.

4. Die Standardabweichung $\sigma_{s,L,i}$ bzw. $\sigma_{s,M,i}$ darf bei einem Messweg $\overline{s_{M,i}} > 0,6000$ mm einen Wert von 0,0200 mm und bei einem Messweg $\overline{s_{M,i}} \leq 0,6000$ mm einen Wert von 0,0100 mm nicht überschreiten. Bei einer Überschreitung ist die Setzungsmessreihe mit 10 Messstößen zu wiederholen.

Anmerkung 1:

Sofern auch bei mehrfachen Wiederholungsmessungen die Standardabweichung $\sigma_{s,L,i}$ bzw. $\sigma_{s,M,i}$ den geforderten Wert überschreitet, liefert das zum jeweiligen Fallgewichtsgerät zugehörige Setzungsmessgerät keine stabilen Messwerte, sodass die Wiederholstandardabweichung in der Messreihe zu groß ist.

5. Die Standardabweichung $\sigma_{s,IND,i}$ darf bei einem Messweg $\overline{s_{IND,i}} > 0,6000$ mm einen Wert von 0,0200 mm und bei einem Messweg $\overline{s_{IND,i}} \leq 0,6000$ mm einen Wert von 0,0100 mm nicht überschreiten. Bei einer Überschreitung dieses Wertes ist die Setzungsmessreihe mit 10 Messstößen zu wiederholen.

Anmerkung 2:

Falls auch bei mehrfachen Wiederholungsmessungen die Standardabweichung $\sigma_{s,IND,i}$ den geforderten Wert überschreitet, können dafür folgende Ursachen infrage kommen:

1. Die Messkette der induktiven Wegaufnehmer liefert eventuell fehlerhafte Werte.
2. An der Halterung der induktiven Wegaufnehmer ist ein mechanischer Fehler aufgetreten.
3. Die Gummimatte drückt sich im Laufe der Messreihe erheblich zusammen. Diese ist dann zu erneuern.

6. Bei Verwendung der Setzungsmatte für die kleinste Einsenkung $< 0,4000$ mm (und nur bei dieser!) ist aus den Messergebnissen zusätzlich die Prüfgröße T_{Var} wie folgt zu berechnen:

$$T_{Var,L} = \frac{\sigma_{s,L,3}}{s_{L,3}} \quad (\text{für Leichtes Fallgewichtsgerät}) \quad (\text{Gl-25a})$$

$$T_{Var,M} = \frac{\sigma_{s,M,3}}{s_{M,3}} \quad (\text{für Mittelschweres Fallgewichtsgerät}) \quad (\text{Gl-25b})$$

Falls die Prüfgröße $T_{Var,L}$ bzw. $T_{Var,M}$ größer als 0,021 ist, ist der Variationskoeffizient signifikant größer als 0,015. Bei einer Überschreitung dieses Wertes ist die Setzungsmessreihe mit 10 Messstößen zu wiederholen.

Hinsichtlich der Folgerungen gelten die Anmerkungen 1 und 2 unter den Punkten 4 und 5 sinngemäß.

3.5 Empfohlene Messtechnik zur Setzungsmessung

Für die Setzungsmessung wird folgende Messtechnik empfohlen, die den im Abschnitt 3.1 genannten Vorgaben entspricht:

- Induktive Wegaufnehmer: Typ K-WA-L-O50W (Tauchanker) der Fa. Hottinger-Baldwin-Messtechnik
- Messverstärker: MGC plus mit Einkanalverstärkereinschub, z. B. Typ ML55B oder Typ MC 55 S6 der Fa. Hottinger-Baldwin-Messtechnik
- A/D-Wandlerkarte: mit mindestens 12 bit Auflösung

Mit der angegebenen Messtechnik ist die Einhaltung der Anforderungen möglich. Eine andere Messtechnik, die sich auf neuerem technischem Stand befindet, ist ebenfalls zulässig, sofern sie die Anforderungen erfüllt.

4 Formelzeichen und Abkürzungsverzeichnis

zur Kraft

- $F_{m,ij}$ maximale Stoßkraft in der Messreihe Nr. i beim Versuch Nr. j
- F_{Soll} Sollwert der Stoßkraft
- $\overline{F_{m,i}}$ Mittelwert der Kraft in der Messreihe Nr. i aus 10 Messstößen
- $\overline{\overline{F_{m,ii}}}$ Mittelwert der Kraft aus 3 Kraftmessreihen
- $\sigma_{F,i}$ Standardabweichung der Kraft in der Messreihe Nr. i aus 10 Messstößen
- $\sigma_{F,ii}$ Standardabweichung der Mittelwerte der 3 Kraftmessreihen
- $\sigma_{F,zul}$ maximal zulässige Standardabweichung der Kraft
- h_s eingestellte bzw. einzustellende Fallhöhe bei einem Stoß (gemessen von Unterkante eingeklinktes Fallgewicht bis zur Oberkante Federelement)

zur Stoßdauer

- $t_{s,ij}$ Stoßdauer in der Messreihe Nr. i beim Versuch Nr. j
- $t_{s, Soll}$ Sollwert der Stoßdauer
- $\overline{t_{s,i}}$ Mittelwert der Stoßdauer aus 10 Messstößen der Messreihe Nr. i
- $\sigma_{t,i}$ Standardabweichung der Stoßdauer aus 10 Messstößen der Messreihe Nr. i

zur Setzung

- $s_{M,ij}^*$ maximale Setzung im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j , gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes
- $s_{L,ij}^*$ maximale Setzung im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j , gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes
- $s_{M,ij}$ kalibrierte maximale Setzung $s_{M,ij}^*$
- $s_{L,ij}$ kalibrierte maximale Setzung $s_{L,ij}^*$
-
- $\overline{s_{M,i}^*}$ Mittelwert der Setzung $s_{M,ij}^*$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes (siehe GI-14)
-
- $\overline{s_{L,i}^*}$ Mittelwert der Setzung $s_{L,ij}^*$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes
-
- $\overline{s_{M,i}}$ Mittelwert der kalibrierten Setzung $s_{M,ij}$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes
-
- $\overline{s_{L,i}}$ Mittelwert der kalibrierten Setzung $s_{L,ij}$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes
-
- $\sigma_{s,M,i}^*$ Standardabweichung der Setzung $s_{M,ij}^*$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes
- $\sigma_{s,L,i}^*$ Standardabweichung der Setzung $s_{L,ij}^*$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes
- $\sigma_{s,M,i}$ Standardabweichung der kalibrierten Setzung $s_{M,ij}$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes
- $\sigma_{s,L,i}$ Standardabweichung der kalibrierten Setzung $s_{L,ij}$ im Setzungsmessbereich i aus 10 Messstößen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes
- $\sigma_{s,zul}$ maximal zulässige Standardabweichung der Setzung

- $s_{A,ij}$, $s_{B,ij}$, $s_{C,ij}$ maximale Setzung, gemessen mit den induktiven Wegaufnehmern an den Stellen A, B und C auf der Lastplatte im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j
- $s_{IND,ij}$ Mittelwert der mit den drei induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzung im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j
- $\overline{s_{IND,i}}$ Mittelwert der Setzung aus 10 Messstößen, gemessen mit den induktiven Wegaufnehmern
- $\sigma_{s,IND,i}$ Standardabweichung der Setzung aus 10 Messstößen, gemessen mit den induktiven Wegaufnehmern
- $c_{M,i}$ Kalibrierfaktor des Setzungsmessbereichs i entspricht dem Verhältnis des Mittelwertes der mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzung $\overline{s_{IND,i}}$ zum Mittelwert der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzung $s_{M,i}^*$
- $c_{L,i}$ Kalibrierfaktor des Setzungsmessbereichs i entspricht dem Verhältnis des Mittelwertes der mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzung $\overline{s_{IND,i}}$ zum Mittelwert der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes gemessenen Setzung $s_{L,i}^*$
- $\overline{c_{M,i}}$ Mittelwert der einzelnen Kalibrierfaktoren $c_{M,i}$ der Setzungsmessbereiche $i = 1$ bis 3 (= Gesamtkalibrierfaktor für das Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes)
- $\overline{c_{L,i}}$ Mittelwert der einzelnen Kalibrierfaktoren $c_{L,i}$ der Setzungsmessbereiche $i = 1$ bis 3 (= Gesamtkalibrierfaktor für das Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes)
- $\Delta_{s,zul}$ maximal zulässige Abweichung des Mittelwertes aus 10 Setzungsmessungen, gemessen mit dem Setzungsmessgerät des jeweiligen Fallgewichtsgerätes, vom Mittelwert der Setzungen, gemessen mit den induktiven Wegaufnehmern
- $\Delta_{s,L,ij}$ Differenz der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j
- $\Delta_{s,M,ij}$ Differenz der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i beim Versuch Nr. j

$\overline{\Delta}_{s,L,i}$ Mittelwert der Differenzen aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i

$\overline{\Delta}_{s,M,i}$ Mittelwert der Differenzen aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i

$\sigma_{\Delta,L,i}$ Standardabweichung der Differenzen aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des Leichten Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i

$\sigma_{\Delta,M,i}$ Standardabweichung der Differenzen aus 10 Messstößen der mit dem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes gemessenen kalibrierten Setzungen und den mit induktiven Wegaufnehmern gemessenen Setzungen im Setzungsmessbereich i

$T_{\Delta,L}$ bzw. $T_{\Delta,M}$ Prüfgrößen (siehe GI-24a bzw. GI-24b)

$T_{Var,L}$ bzw. $T_{Var,M}$ Prüfgrößen (siehe GI-25a bzw. GI-25b)

Indizes

i	Laufvariable für Stoßkraft-Messreihen bzw. Setzungsmessbereiche
j	Laufvariable der Messstöße (Messstoßnummer in einer Messreihe)
n	Stichprobenumfang
F	Kraft
s	Setzung
t	Stoßdauer
m	Maximum
M	Mittelschweres Fallgewichtsgerät
L	Leichtes Fallgewichtsgerät
IND	induktive Wegaufnehmer

5 Technische Regelwerke

DIN ¹⁾	DIN EN ISO 376	Metallische Werkstoffe – Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüfmaschinen mit einachsiger Beanspruchung
	DIN EN ISO 9513	Metallische Werkstoffe – Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung
FGSV ²⁾	TP BF-StB, Teil B 8.3	Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau Teil: Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgesetz (FGSV 591/B 8.3)
	TP Gestein-StB, Teil 8.2.1	Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau Teil: Dynamischer Plattendruckversuch mit Mittelschwerem Fallgewichtsgesetz (FGSV 610)

Bezugsquellen

1) Beuth Verlag GmbH

Anschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin
 Tel. 0 30 / 26 01-1331, Fax: 0 30 / 26 01-12 60,
 E-Mail: kundenservice@beuth.de, Internet: www.beuth.de

2) FGSV Verlag GmbH

Anschrift: Wesselinger Straße 17, 50999 Köln
 Tel. 0 22 36 / 38 46 30, Fax: 0 22 36 / 38 46 40
 E-Mail: info@fgsv-verlag.de, Internet: www.fgsv-verlag.de

Alle aufgeführten FGSV-Veröffentlichungen sind auch digital für den FGSV Reader erhältlich und enthalten im umfassenden Abo-Service „FGSV – Technisches Regelwerk – Digital“

Anhang: Beispiel für ein Kalibrierprotokoll eines Mittelschweren Fallgewichtsgerätes

Kalibrierprotokoll
für das Mittelschwere Fallgewichtsgerät

Sollwerte: Kraft [N] = 14.140

Stoßdauer [ms] = 13

Geräte-Nr.:
 Hersteller:
 Gerätetyp:
 Baujahr:

Datum:
 Ausgeführt durch:
 Prüfungsnummer:
 Lufttemperatur:

Fallhöhe des 15 kg – Fallgewichtes $h_3 =$

71,0 cm

1. Kalibrierung der Belastungsvorrichtung (Stoßkraft):						
Kontrollmessungen für die Stoßkraft und Stoßdauer der Belastungsvorrichtung						
Messreihe	i = 1		i = 2		i = 3	
Messstoß Nr. j	Stoßkraft [N]	Stoßdauer [ms]	Stoßkraft [N]	Stoßdauer [ms]	Stoßkraft [N]	Stoßdauer [ms]
1	14.157	12,91	14.163	12,94	14.156	12,92
2	14.140	12,91	14.169	12,93	14.163	12,92
3	14.161	12,92	14.163	12,92	14.162	12,93
4	14.153	12,93	14.179	12,93	14.158	12,92
5	14.167	12,92	14.155	12,92	14.159	12,93
6	14.147	12,91	14.167	12,93	14.167	12,93
7	14.151	12,91	14.152	12,92	14.156	12,92
8	14.148	12,91	14.162	12,93	14.162	12,92
9	14.155	12,91	14.153	12,93	14.170	12,93
10	14.148	12,91	14.168	12,93	14.164	12,92
Mittelwerte	14.152,7	12,914	14.163,1	12,928	14.161,7	12,924
Stabw. σ	7,73	0,0070	8,29	0,0063	4,60	0,0052
T_{10}	1,850	2,286	1,918	1,905	1,804	1,154
T_1	1,643	0,571	1,339	1,270	1,239	0,769
Mittelwertabw.	0,09%	0,086	0,16%	0,072	0,15%	0,076
Entscheidungsregeln						
1a) $T_{10} < 2,410$	ja	ja	ja	ja	ja	ja
1b) $T_1 < 2,410$	ja	ja	ja	ja	ja	ja
2) $\sigma_{F,i} < 40 \text{ N}$	ja		ja		ja	
3) $\sigma_{t,i} < 0,1 \text{ ms}$		ja		ja		ja
4) $ \Delta F < 1\%$	ja		ja		ja	
5) $ \Delta t < 1,0 \text{ ms}$		ja		ja		ja
Mittelwert der Kraft der drei Messreihen $\overline{F_{m..}}$ 14.159,17						
Standardabweichung $\sigma_{F..}$ 5,644						
6) $\sigma_{F..} < 10 \text{ N}$ ja						
Alle Entscheidungsregeln erfüllt: ja						
Belastungsvorrichtung richtig kalibriert; Fallhöhe korrekt eingestellt.						

2.1 Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung:

Vergleichsmessungen der Setzungsamplituden [mm] zwischen induktivem Wegaufnehmer (Referenz $s_{IND,1,j}$) und elektronischem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes (Prüfgerät. $s_{M,1,j}$)

Setzungsbereich > 0,9 mm (weiche Unterlage) $i = 1$

Messstoß Nr. j	Referenz A [mm]	Referenz B [mm]	Referenz C [mm]	Ref. i.M. $s_{IND,1,j}$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,1,j}^*$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,1,j}$ [mm]	Differenz $\Delta_{s,1,j}$ [mm]
1	0,977	1,111	1,061	1,050	1,028	1,055	0,005
2	0,979	1,112	1,067	1,053	1,026	1,053	0,000
3	0,980	1,112	1,068	1,053	1,028	1,055	0,002
4	0,971	1,111	1,071	1,051	1,026	1,053	0,002
5	0,982	1,105	1,066	1,051	1,026	1,053	0,002
6	0,982	1,109	1,071	1,054	1,027	1,054	0,000
7	0,982	1,109	1,071	1,054	1,031	1,058	0,004
8	0,976	1,117	1,072	1,055	1,029	1,056	0,001
9	0,985	1,111	1,170	1,055	1,028	1,055	0,000
10	0,975	1,113	1,069	1,052	1,023	1,050	-0,002
Mittelwerte				1,0528	1,0272	1,0542	0,0014
Kalibrierfaktor $c_{M,1}$				1,025			
Standardabweichungen σ				0,0018	0,0021	0,0021	0,0021
Prüfgröße T_{10}				1,222	1,810		1,714
Prüfgröße T_1				1,556	2,000		1,619
Prüfgröße T_{Δ}							-20,480
Entscheidungsregeln							
1a) $T_{10} < 2,410$				ja	ja		ja
1b) $T_1 < 2,410$				ja	ja		ja
3) $T_{\Delta} < 2,262$							ja
4), 5) $\sigma < 0,0200$				ja	ja		
Alle Entscheidungsregeln erfüllt:					ja		
Setzungsmessgerät auf weicher Unterlage richtig kalibriert.							
Zusammenfassung für alle drei Setzungsmessbereiche							
Gesamtkalibrierfaktor für die Setzungsamplitude =				1,026			
Setzungsmessbereich $i =$				1	2	3	
Plattenunterlage =				weich	mittelhart	hart	
Kalibrierte mittlere Setzungsdifferenz [mm] =				0,0014	-0,0022	0,0011	
2) Absolutwert der zulässigen Differenz Δ_{zul} [mm] =				0,0150	0,0100	0,0100	
Anforderung für alle Setzungsmessbereiche $i = 1$ bis 3 erfüllt.							

2.2 Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung:

Vergleichsmessungen der Setzungsamplituden [mm] zwischen induktivem Wegaufnehmer (Referenz $s_{IND,2,j}$) und elektronischem Setzungsmessgerät des Mittelschweren Fallgewichtsgerätes (Prüfgerät $s_{M,2,j}$)

Setzungsbereich 0,4 mm bis 0,6 mm (mittelharte Unterlage) $i = 2$

Messstoß Nr. j	Referenz A [mm]	Referenz B [mm]	Referenz C [mm]	Ref. i.M. $s_{IND,2,j}$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,2,j}^*$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,2,j}$ [mm]	Differenz $\Delta_{s,2,j}$ [mm]
1	0,483	0,506	0,511	0,500	0,489	0,502	0,002
2	0,488	0,497	0,516	0,500	0,488	0,501	0,001
3	0,487	0,501	0,515	0,501	0,486	0,499	-0,002
4	0,489	0,495	0,518	0,501	0,485	0,498	-0,003
5	0,489	0,500	0,514	0,501	0,483	0,496	-0,005
6	0,489	0,505	0,510	0,501	0,484	0,497	-0,004
7	0,491	0,502	0,510	0,501	0,482	0,495	-0,006
8	0,488	0,501	0,510	0,500	0,486	0,499	-0,001
9	0,485	0,508	0,513	0,502	0,486	0,499	-0,003
10	0,482	0,502	0,517	0,500	0,486	0,499	-0,001
Mittelwerte				0,5007	0,4855	0,4985	-0,0022
Kalibrierfaktor $c_{M,2}$				1,031			
Standardabweichungen σ				0,0007	0,0021	0,0021	0,0025
Prüfgröße T_{10}				1,857	1,667		1,680
Prüfgröße T_1				1,000	1,667		1,520
Prüfgröße T_{Δ}							-9,866
Entscheidungsregeln							
1a) $T_{10} < 2,410$				ja	ja		ja
1b) $T_1 < 2,410$				ja	ja		ja
3) $T_{\Delta} < 2,262$							ja
4), 5) $\sigma < 0,0100$				ja	ja	ja	
Alle Entscheidungsregeln erfüllt:					ja		
Setzungsmessgerät auf mittelharter Unterlage richtig kalibriert.							

2.3 Kalibrierung der Setzungsmesseinrichtung:

Vergleichsmessungen der Setzungsamplituden [mm] zwischen induktivem Wegaufnehmer (Referenz $s_{IND,3,j}$) und elektronischem Setzungsmessgerät des Leichten bzw. Mittelschweren Fallgewichtsgerätes (Prüfgerät. $s_{M,3,j}$)

Setzungsbereich < 0,4 mm (harte Unterlage) $i = 3$

Messstoß Nr. j	Referenz A [mm]	Referenz B [mm]	Referenz C [mm]	Ref. i.M. $s_{IND,3,j}$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,3,j}^*$ [mm]	Prüfgerät $s_{M,3,j}$ [mm]	Differenz $\Delta_{s,3,j}$ [mm]
1	0,294	0,340	0,298	0,311	0,302	0,310	-0,001
2	0,294	0,337	0,299	0,310	0,305	0,313	0,003
3	0,294	0,339	0,300	0,311	0,303	0,311	0,000
4	0,294	0,336	0,303	0,311	0,304	0,312	0,001
5	0,294	0,337	0,302	0,311	0,306	0,314	0,003
6	0,291	0,340	0,301	0,311	0,302	0,310	-0,001
7	0,293	0,338	0,301	0,311	0,302	0,310	-0,001
8	0,294	0,338	0,301	0,311	0,304	0,312	0,001
9	0,291	0,338	0,303	0,311	0,306	0,314	0,003
10	0,290	0,339	0,302	0,310	0,305	0,313	0,003
Mittelwerte				0,3108	0,3039	0,3118	0,0011
Kalibrierfaktor $c_{M,3}$				1,023			
Standardabweichungen σ				0,0004	0,0016	0,0016	0,0018
Prüfgröße T_{10}				0,500	1,312		1,056
Prüfgröße T_1				2,000	1,188		1,167
Prüfgröße T_{Δ}							-15,636
Prüfgröße T_{var}						0,005	
Entscheidungsregeln							
1a) $T_{10} < 2,410$				ja	ja		ja
1b) $T_1 < 2,410$				ja	ja		ja
3) $T_{\Delta} < 2,262$							ja
4), 5) $\sigma < 0,0100$				ja	ja	ja	
6) $T_{var} < 0,021$						ja	
Alle Entscheidungsregeln erfüllt: ja							
Setzungsmessgerät auf harter Unterlage richtig kalibriert.							

Erläuterung zur Systematik von Technischen Veröffentlichungen der FGSV

R steht für Regelwerke:

Solche Veröffentlichungen regeln entweder, wie technische Sachverhalte geplant oder realisiert werden müssen bzw. sollen (R 1), oder empfehlen, wie diese geplant oder realisiert werden sollten (R 2).

W steht für Wissensdokumente:

Solche Veröffentlichungen zeigen den aktuellen Stand des Wissens auf und erläutern, wie ein technischer Sachverhalt zweckmäßigerweise behandelt werden kann oder schon erfolgreich behandelt worden ist.

Die Kategorie **R 1** bezeichnet Regelwerke der 1. Kategorie:

R 1-Veröffentlichungen umfassen Vertragsgrundlagen (ZTV – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien, TL – Technische Lieferbedingungen und TP – Technische Prüfvorschriften) sowie Richtlinien. Sie sind stets innerhalb der FGSV abgestimmt. Sie haben, insbesondere wenn sie als Vertragsbestandteil vereinbart werden sollen, eine hohe Verbindlichkeit.

Die Kategorie **R 2** bezeichnet Regelwerke der 2. Kategorie:

R 2-Veröffentlichungen umfassen Merkblätter und Empfehlungen. Sie sind stets innerhalb der FGSV abgestimmt. Die FGSV empfiehlt ihre Anwendung als Stand der Technik.

Die Kategorie **W 1** bezeichnet Wissensdokumente der 1. Kategorie:

W 1-Veröffentlichungen umfassen Hinweise. Sie sind stets innerhalb der FGSV, jedoch nicht mit Externen abgestimmt. Sie geben den aktuellen Stand des Wissens innerhalb der zuständigen FGSV-Gremien wieder.

Die Kategorie **W 2** bezeichnet Wissensdokumente der 2. Kategorie:

W 2-Veröffentlichungen umfassen Arbeitspapiere. Dabei kann es sich um Zwischenstände bei der Erarbeitung von weitergehenden Aktivitäten oder um Informations- und Arbeitshilfen handeln. Sie sind nicht innerhalb der FGSV abgestimmt; sie geben die Auffassung eines einzelnen FGSV-Gremiums wieder.

Herstellung und Vertrieb:

FGSV Verlag GmbH

50999 Köln · Wesselinger Straße 17

Tel.: 0 22 36 / 38 46 30 · Fax: 0 22 36 / 38 46 40

Internet: www.fgsv-verlag.de

ISBN 978-3-86446-147-7



R 1