

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN



LEHRSTUHL UND PRÜFAMT FÜR VERKEHRSWEGEBAU  
Univ. Prof. Dr.-Ing. S. Freudenstein

---



**Bericht Nr. 3017 vom 08.07.2013**

**FORSCHUNGSBERICHT**

**Untersuchungen an FFU-Kunstholzschwellen  
mit 100 mm bzw. 120 mm Höhe**

**(Auftraggeber: SEKISU Chemical GmbH)**

**Forschungsbericht Nr. 3017**  
**Untersuchungen an FFU-Kunstholzswellen**  
**mit 100 mm bzw. 120 mm Höhe**

**(SEKISU Chemical GmbH)**

## **1. ALLGEMEINES**

Im Auftrag der Fa. SEKISU Chemical GmbH sollten Untersuchungen an FFU-Kunstholzswellen mit den Abmessungen 10 x 26 x 260 cm bzw. 12 x 26 x 260 cm (Eslon Neo Lumber) aus dem Hause SEKISUI für den Einsatz im Gleisbau durchgeführt werden. Gemäß Angaben des Auftraggebers werden bei Herstellung der Kunstholzschwelle Glasfaserstränge gespannt und mit Polyurethan vergossen. Nach der Erhärtung werden Kunstholzswellen millimetergenau geschnitten (s. Forschungsbericht Nr. 2466).

Nach Rücksprache mit dem deutschen EBA (Eisenbahnbundesamt) sowie DB sollten nun folgende Untersuchungen an der Kunstholzschwelle durchgeführt werden:

1. Verhalten der Schwelle unter Einwirkung vertikaler und horizontaler Lasten im Scherenhebelschwingversuch. Auflagerung im Schotterbett in Anlehnung an die DIN EN 13481-3 (Leistungsanforderungen für Befestigungssysteme auf Holzschwellen).
2. Statische und dynamische Prüfungen der Kunstholzschwelle in Anlehnung an die DIN EN 13230-2.
3. Ausziehversuche an Schwellenschrauben gemäß DIN EN 13481-2.

Vom Auftraggeber wurden Kunstholzswellen mit den Abmessungen 10 x 26 x 260 cm und 12 x 26 x 260 cm dem Prüfamnt übersandt.

## VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

### 2.1 Scherenhebelschwingversuch gemäß DIN EN 13146-3 (Schwellenhöhe 100 mm)

Der Versuchsaufbau sowie Durchführung wurde wie im Forschungsbericht 2466 beschrieben durchgeführt. Die Belastungsparameter betragen:  $\alpha = 33^\circ$ ,  $P_{0,v} = 140 \text{ kN}$ ,  $X = 15 \text{ mm}$ ,  $f = 3 \text{ Hz}$ , 3,0 Mio. Lastspiele, RT (23°C). Jeder Stützpunkt bestand aus nachfolgenden Schienenbefestigungskomponenten:

- 1 Rippenplatte RPBH28SW11
- 4 Schwellenschrauben mit der Bezeichnung „NZ 5.6 10“
- 4 Federringe Fe 6
- 2 Spannklemmen Skl 12
- 2 Unterlegscheiben Uls 6
- 2 Hakenschrauben Hs 32-5.6 mit Muttern
- 1 Zwischenlage PM08 EVA

Die Auslenkungen der Schiene gegenüber der Schwelle nach 3 Mio. Lastspielen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Hier sind keine Vorgaben in den Normen DIN EN 13481-3 und 13146-4 definiert. Die Verformungen wurden mit Messuhren nach Bild 5 der DIN EN 13146-4 ermittelt (s. Anlagen 2.1 bis 2.6).

**Tabelle 1:**

Kunstholzschwelle (h = 100 mm) nach Dauerversuch	elastische Schienenkopfauslenkung		bleibende Schienenkopfauslenkung	
	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2
3 Mio. Lastspiele	1,60 mm	1,60 mm	0,45 mm	0,15 mm
Kunstholzschwelle (h = 160 mm) nach Dauerversuch (Be-2466)	elastische Schienenkopfauslenkung		bleibende Schienenkopfauslenkung	
	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2
3 Mio. Lastspiele	2,12 mm	1,71 mm	0,42 mm	0,29 mm

Nach den hier vorliegenden Erfahrungen liegen die o.a. Werte im zulässigen Bereich. Demnach wurden vergleichbare oder geringere Verformungen als im Forschungsbericht 2466 festgestellt.

Zusätzlich wurde die horizontale sowie vertikale Bewegung der Rippenplatte (außen) registriert. Nach 3,0 Mio. Lastwechseln wurde eine maximale elastische Einsenkung von

0,23 mm sowie eine maximale bleibende von 0,18 mm an der Rippenplatte registriert. Die horizontale Verschiebung (elastisch und bleibend) der Rippenplatten betrug i.M. ca. 0,6 mm.

Anschließend wurde die Schwelle aus dem Schotter ausgebaut und augenscheinlich untersucht, es wurden nur leichte Druckstellen an der Unterseite registriert (s. Fotos, Anhang 1).

## **2.2 Statische Prüfungen in Schwellenmitte (Schwellenhöhe 100 mm bzw. 120 mm)**

Um das Verhalten der Schwelle unter Biegebeanspruchung zu untersuchen, wurden statische Versuche in Schwellenmitte in Anlehnung an die DIN EN 13230-2 durchgeführt. Der erste Versuch erfolgte an einer Schwelle mit 100 mm Höhe und bei dem zweiten Versuch wurde eine Schwelle mit einer Höhe von 120 mm gewählt.

Der Versuchsaufbau ist in Anhang 2 ersichtlich. Der Auflagerabstand betrug 1,5 m, die Breite der Lastplatte 100 mm. Die anfängliche Prüfkraft lag bei 10 kN. Anschließend wurde die Last in Stufen von 10 kN gesteigert, wobei die Durchbiegung der Schwelle mit 4 Messuhren registriert wurde. In Anlage 3 ist die Durchbiegung der Schwellen bis zu einer Last von 70 kN, entsprechend einem Moment von 24,5 kNm, dargestellt. Auf Basis der gemessenen Durchbiegung wurde der E-Modul mit folgender Gleichung ermittelt:

$$E = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot f}$$

E = E-Modul N/mm<sup>2</sup>

l = Spannweite 1500 mm

I = Trägheitsmoment [mm<sup>4</sup>]

f = Durchbiegung [mm]

Der E-Modul der Kunststoffschwelle (Höhe 100 mm) beträgt bei Biegebeanspruchung ca. 9800 N/mm<sup>2</sup> bzw. der E-Modul der Schwelle (Höhe 120 mm) liegt bei 8800 N/mm<sup>2</sup> (Forschungsbericht Nr. 2466 ca. 7000 N/mm<sup>2</sup>). Bei 70 kN beträgt die Durchbiegung der Schwelle (Höhe 100 mm) 23 mm und ist somit um den Faktor 3 größer als bei der Schwelle

gemäß Forschungsbericht Nr. 2466. Wäre der E-Modul  $7000 \text{ N/mm}^2$  (s. Forschungsbericht Nr. 2466), wäre die Durchbiegung sogar um den Faktor 4 größer.

Bei 70 kN liegt die Durchbiegung der Schwelle (Höhe 120 mm) bei 15 mm. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden die weiteren statischen und dynamischen Versuche nur mit Schwellen mit einer Höhe von 120 mm durchgeführt.

### **2.3 Ermüdungsprüfung in Schwellenmitte (Schwellenhöhe 120 mm)**

Um das Verhalten der Kunstholzwelle (Höhe 120 mm) unter wiederholter Belastung zu untersuchen, wurde ein Ermüdungsversuch mit 2,0 Mio. Lastspielen in Schwellenmitte in Anlehnung an die DIN EN 13230-4 durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist von Anhang 2 zu entnehmen. Während des gesamten Versuchs wurde die Durchbiegung der Schwelle im Bereich des maximalen Momentes registriert. Der Auflagerabstand bei der Prüfung betrug 1,5 m, die Lasteinleitung erfolgte gemäß der DIN EN 13230-4 über eine 100 mm breite Gelenkstütze.

Die Last wurde zunächst bis 65 kN aufgebracht. Anschließend erfolgte der Ermüdungsversuch mit folgenden Randbedingungen:

Oberlast  $P_o = 65 \text{ kN}$

Unterlast  $P_u = 17 \text{ kN}$

Frequenz  $f = 3 \text{ Hz}$ .

Mit der o.a. Last wurde ein Moment von 23 kNm erzeugt. Dieses Moment entspricht einer Achslast von 250 kN und einer Zuggeschwindigkeit  $V \geq 200 \text{ km/h}$ .

Während der Ermüdungsprüfung mit 2,0 Mio. Lastspielen konnte keine Beschädigung an der Schwelle festgestellt werden. In Anlage 4 ist die Durchbiegung vor, während sowie nach der Ermüdungsprüfung dargestellt. Demnach ist die elastische Durchbiegung nach 2,0 Mio. Lastspielen nur um 0,25 mm größer als zu Versuchsbeginn. Weiterhin ist von Anlage 4 erkennbar, dass während des gesamten Dauerversuchs die Verformungen nahezu konstant verliefen, d.h. es treten keine Ermüdungserscheinungen auf.

## **2.4 Ermüdungsprüfung unter dem Schienenaufleger (Schwellenhöhe 120 mm)**

Mit dem Ermüdungsversuch unter dem Schienenaufleger (Druckbeanspruchung) sollte untersucht werden, wie sich die Schwelle unter hoher Pressung beim Ermüdungsversuch verhält. Die Ermüdungsprüfung wurde an drei Schwellen (Höhe 120 mm) durchgeführt.

Die Ermüdungs-Druckprüfung unter dem Schienenaufleger erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 13230-2 (Spannbetonschwellen). Gemäß der angegebenen Norm wurde ein Auflagerabstand von 600 mm gewählt. Im ersten Dauerversuch erfolgte die Lasteinleitung über eine Rippenplatte mit den Abmessungen 160 mm x 370 mm. Da es in die Schwelle keine Schraubenlöcher gab, wurde die Rippenplatte im Bereich des Schienenauflegers nur aufgelegt und somit zur Schwelle nicht verspannt. Für den Dauerversuch wurde eine Last von 150 kN gewählt. Diese entspricht einer Achslast von 250 kN und einer Zuggeschwindigkeit  $V < 200$  km/h. Vor dem Dauerversuch wurde eine statische Last von  $1,2 \times 150$  kN = 180 kN aufgebracht. Nach dem Dauerversuch wurde die statische Last auf  $2 \times 150$  kN = 300 kN erhöht. In der Anlage 5.1 ist die Durchbiegung der Schwelle Nr.1 dargestellt.

Der Versuchsaufbau ist in Anhang 3 ersichtlich. Es wurden folgende Randbedingungen gewählt:

Oberlast  $P_o = 150$  kN

Unterlast  $P_u = 50$  kN

Frequenz = 3 Hz.

Zu Beginn des Dauerversuchs wurde eine Durchbiegung der Schwelle von ca. 3 mm registriert, die nach 2 Mio. Lastspielen auf ca. 4 mm anwuchs und somit ca. um den Faktor 2 größer ist als bei der Schwelle die im Prüfbericht 2466 unter gleichen Randbedingungen getestet wurde.

Während der Ermüdungsprüfung mit 2 Mio. Lastspielen konnten keine Beschädigungen an der Schwelle festgestellt werden. Anschließend wurde die Rippenplatte ausgebaut. An der Oberseite der Schwelle (unter der Rippenplatte) wurden plastische Verformungen der

Oberfläche von ca. 0,85 mm registriert (1,0 mm im Prüfbericht 2466). Darüber hinaus konnte keine Schädigung festgestellt werden.

In Abstimmung mit dem AG wurde die Ermüdungsprüfung unter dem Schienenaufleger an zwei weiteren Schwellen (Höhe 120 mm), unter Einsatz der Rippenplatte Rph 1 mit den Abmessungen 160 mm x 345 mm, durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Kunststoffzwischenplatte mit einer Dicke von 0,5 mm unter der Rippenplatte eingebaut. Die erste Schwelle wurde mit 5,0 Mio. Lastspielen und die zweite Schwelle mit 2,0 Mio. Lastspielen belastet. Die Oberlast blieb mit  $P_o = 150$  kN unverändert, die Unterlast  $P_u$  betrug 50 kN.

In den Anlagen 5.2 und 5.3 ist die Durchbiegung beider Schwellen dargestellt. Demnach wurde unter einer Last von 150 kN eine Durchbiegung von 4,8 mm (Schwelle Nr. 2, 5,0 Mio. Lw) bzw. von 4,2 mm (Schwelle Nr. 3, 2,0 Mio. Lw) registriert. An den Schwellen konnten keine Beschädigungen festgestellt werden.

## **2.5 Ausziehversuche (Schwellenhöhe 120 mm)**

Bei den Ausziehversuchen wird eine zentrische Zugkraft in die Schwellenschrauben eingeleitet und durch eine zwischengeschaltete Druckmessdose die eingeleitete Zugkraft registriert (s. Fotos, Anhang 4).

Die Versuche wurden in Anlehnung an die EN 13481-2 Anhang A an 12 Schwellenschrauben Ss 8-140 und Kunstholzschwellen mit einer Höhe von 120 mm durchgeführt. Nach Angaben des AG liegt der Standarddurchmesser der Bohrlöcher für die Schraube Ss 8-140 bei 19 mm. Um die Auswirkung eines größeren Durchmessers auf die Ausziehkraft zu untersuchen, wurden am Prüfamnt für Verkehrswegebau vom AG zusätzlich 8 weitere Bohrlöcher mit Durchmesser 20 mm mit Hilfe von Holz- und Stahlbohrern erzeugt.

Anschließend erfolgte die Versuchsdurchführung. Die Last wurde kontinuierlich bis zum Auszug der Schraube gesteigert. In Tabelle 2 sind die maximalen Ausziehkräfte zusammengestellt:

**Tabelle 2: Ausziehversuche an Kunstholzswellen (Höhe 120 mm)**

<b>Swellenschraube Ss 8, Bohrlochdurchmesser 19 mm</b>	
<b>Bohrloch Nr.</b>	<b>maximale Ausziehungskraft [kN]</b>
1	55,0
2	59,7
3	54,5
4	58,1
<b>Mittelwert</b>	<b>56,8</b>
<b>Swellenschraube Ss 8, Bohrlochdurchmesser 20 mm mit Stahlbohrer</b>	
1	53,0
2	56,6
3	49,4
4	51,9
<b>Mittelwert</b>	<b>52,7</b>
<b>Swellenschraube Ss 8, Bohrlochdurchmesser 20 mm mit Holzbohrer</b>	
1	44,6
2	51,6
3	48,2
4	53,9
<b>Mittelwert</b>	<b>49,6</b>

Demnach liegt bei der Swellenschraube Ss 8-140 eine Ausziehungskraft von i.M. 57 kN (Standardbohrlochdurchmesser 19 mm) bzw. von i.M. 51 kN (Bohrlochdurchmesser 20 mm) vor. Bei früheren Ausziehversuchen an Swellenschrauben auf Holzschwellen wurden Ausziehungskräfte von ca. 35 kN erreicht (s. Forschungsbericht Nr. 1687 vom 30.06.1997).

### **3. ZUSAMMENFASSUNG**

Im Auftrag von der Fa. SEKISU Chemical GmbH sollten umfangreiche Untersuchungen an FFU-Kunstholzswellen mit den Abmessungen 10 x 26 x 260 cm bzw. 12 x 26 x 260 cm (Eslon Neo Lumber) aus dem Hause SEKISUI für den Einsatz im Gleisbau durchgeführt werden. Gemäß Angaben des Auftraggebers werden bei Herstellung der Kunstholzschwelle Glasfaserstränge gespannt und mit Polyurethan vergossen. Nach der Erhärtung werden Kunstholzswellen millimetergenau geschnitten.



Nach Rücksprache mit dem deutschen EBA (Eisenbahnbundesamt) und der DB wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Verhalten der Schwelle unter Einwirkung vertikaler und horizontaler Lasten im Scherenhebelschwingversuch. Auflagerung im Schotterbett in Anlehnung an die DIN EN 13481-3 (Leistungsanforderungen für Befestigungssysteme auf Holzschwellen).
2. Statische und dynamische Prüfungen der Kunstholzwelle in Anlehnung an die DIN EN 13230-2.
3. Ausziehversuche an Schwellenschrauben gemäß DIN EN 13481-2.

Im Dauerschwellversuch (Scherenhebelschwingversuch) bei RT (23°C) wurden keine nennenswerten Schäden an Schwelle (Höhe 100 mm) und Befestigung festgestellt.

Weiterhin wurden statische und dynamische Versuche in Schwellenmitte und unter dem Schienenaufleger durchgeführt. Anhand der gemessenen Verformungen unter Maximallast ist empfehlenswert für Achslasten von 22,5 t (Vollbahn) und Zuggeschwindigkeiten  $V < 200$  km/h nur Kunstholzwellen mit einer Höhe  $\geq 120$  mm im Gleis einzubauen. Mit Ausnahme von plastischen Verformungen an der Schwellenoberseite konnten in 4 durchgeführten Ermüdungsprüfungen (1 in Schwellenmitte, 3 unter dem Schienenaufleger) keine Schäden an den Kunstholzwellen (Höhe 120 mm) festgestellt werden.

Mit einer Ausziehkraft von i.M. 57 kN (Bohrdurchmesser 19 mm) bzw. 51 kN (Bohrdurchmesser 20 mm) der Schwellenschraube Ss 8-140 in Kombination mit der 120 mm hohen Kunstholzwelle wurde ein höherer Wert als bei früheren Versuchen an Holzschwellen (35 kN) registriert.

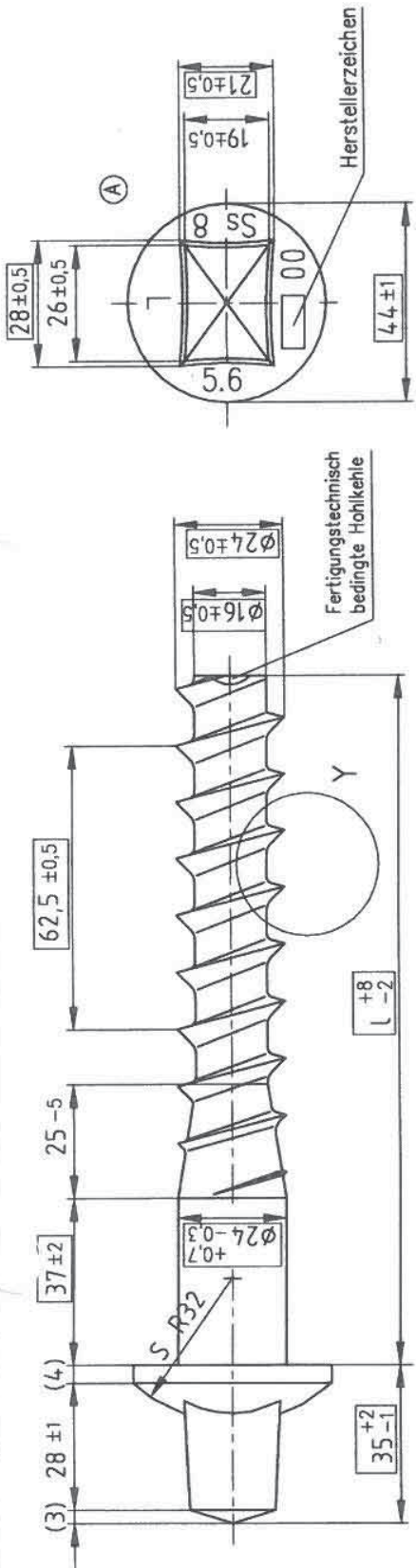
München, 08.07.2013



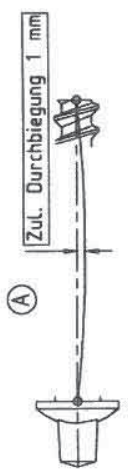
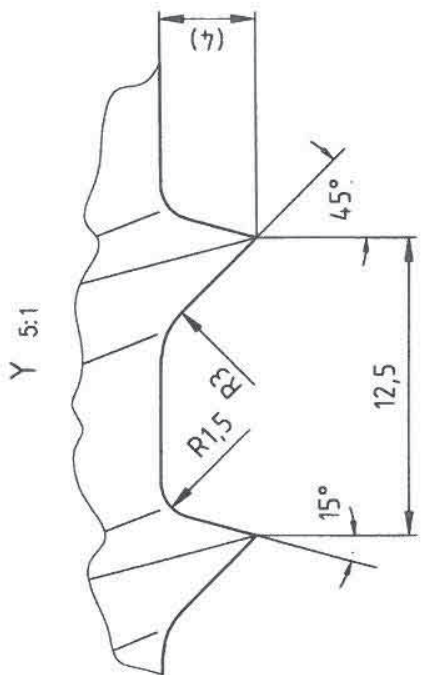
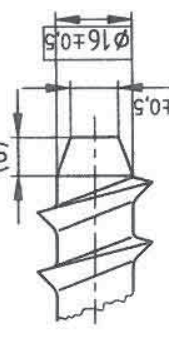
Für die Durchführung und  
Auswertung der Versuche:

(Dr.-Ing. S. Freudenstein)  
Univ.-Prof.

(Dr.-Ing. D. Iliev)



Ⓑ alternative Ausbildung der Schraubenspitze



(9139046294)

Schwellenschraube	Ss 8 -160 fverz	160	152	0,576	491 287
Schwellenschraube	Ss 8 -150 fverz	150	142	0,555	491 286
Schwellenschraube	Ss 8 -140 fverz	140	132	0,534	491 285
Schwellenschraube	Ss 8 -160	160	152	0,568	491 284
Schwellenschraube	Ss 8 -150	150	142	0,548	491 283
Schwellenschraube	Ss 8 -140	140	132	0,528	491 282
Benennung	Kurzbezeichnung	L=+8mm	l (mm)	Gewicht kg	Material-Nr.

EBA		Allgemeine Zulassung	
(Verwendungsbereich)		AZ: /.	Datum: /.
Ss 8 -140; Holzschwellen Gr.2,4,5;		Freigabe als Regelbauart	
Ss 8 -150; Holzschwellen Gr.1;		Datum: /.	
Ss 8 -160; Brückenbalken		AZ: BZA	
CAD-Zeichnung		log 40.1000	
Nicht von Hand ändern		Ausgabe 01/07/03 04/05	
		Datum 08/04/05/06/07/06/05/07/06/08	
		Gewicht	
		Maßstab 1:1 5:1	
		Werkstoff	
		Material-Nr.	
		5.6	
		Name	
		Datei	
		Beur. 05.07.04 Weimann	
		Gepr. 27.09.04 Danneberg	
		Norm	
		D Werkstoff 5.6	
		19.06.08 Weim.	
		C L + 8 mm	
		31.05.07 Weim.	
		B altern.Schraubenspitze 07.07.06 Weim.	
		A Bem.Zul.Durchb.Kennz 02.03.06 Weim.	
Zust.	Änderung	Datum	Name
		Deutsche Bahn AG	
		DB Systemtechnik	
		Blatt	
		Bl.	
		(Ers. f.)	
		loktisch 4c	
		(Ers. d.)	

Ⓐ Bemerkungen:

Kurzbezeichnung, Herstellerzeichen, Festigkeitsklasse, Länge der Schraube und Herstelljahr 00 in Schriftgröße mind. 4 mm, 0,5-1 mm erhaben.

Für die Fertigung und Abnahme gilt DBS 918 024.

Der Abschluss des Gewindekerns kann je nach Herstellungsverfahren kraterartig ausgebildet sein.

Lieferzustand: roh

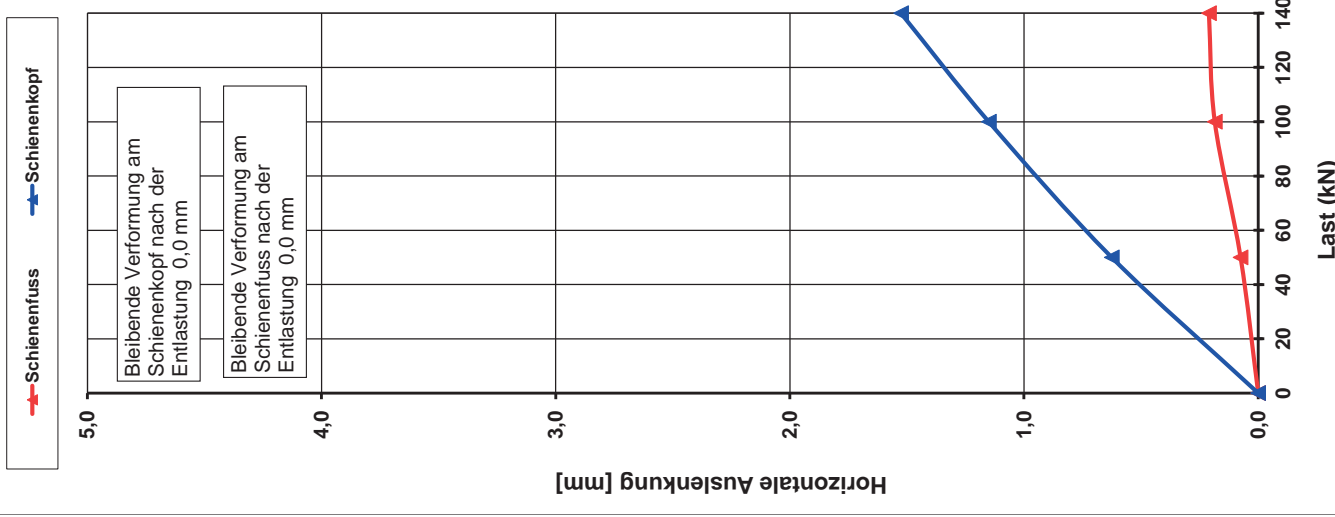
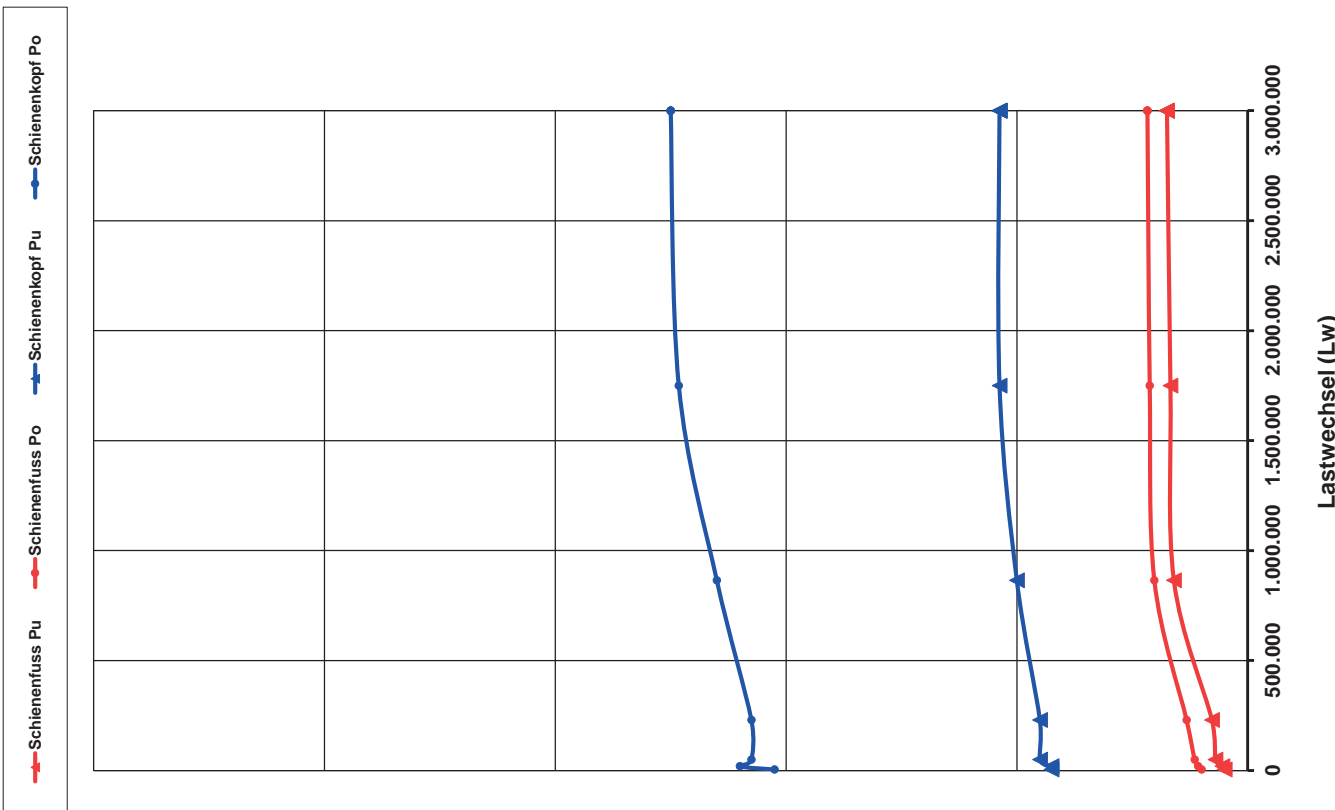
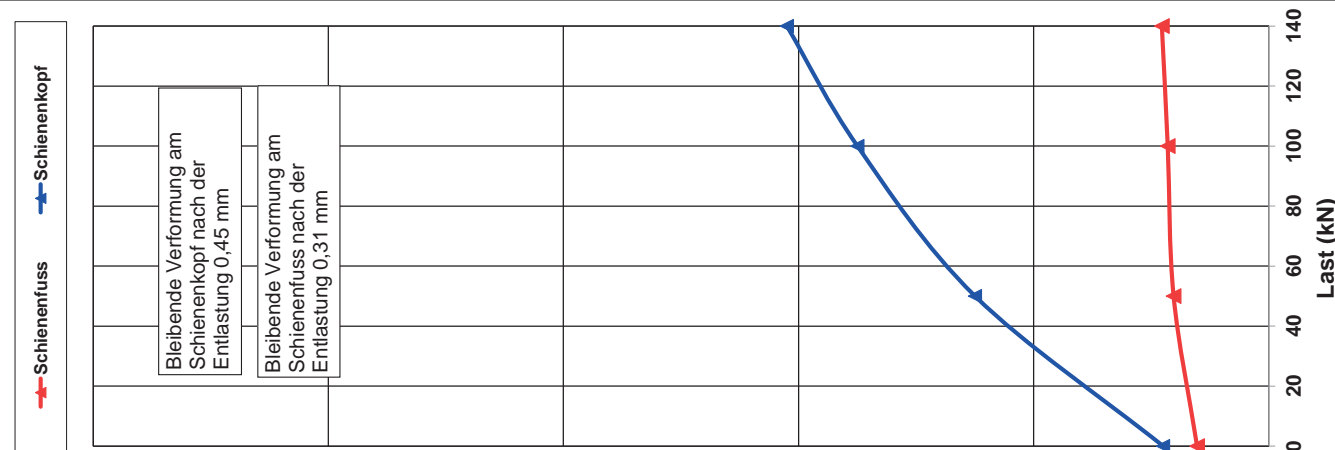
Alternativ feuerverzinkt gemäß DIN EN ISO 1461.

Die eingerahmten Maße sind gemäß den vorgegebenen Prüfmessungen zu überprüfen.



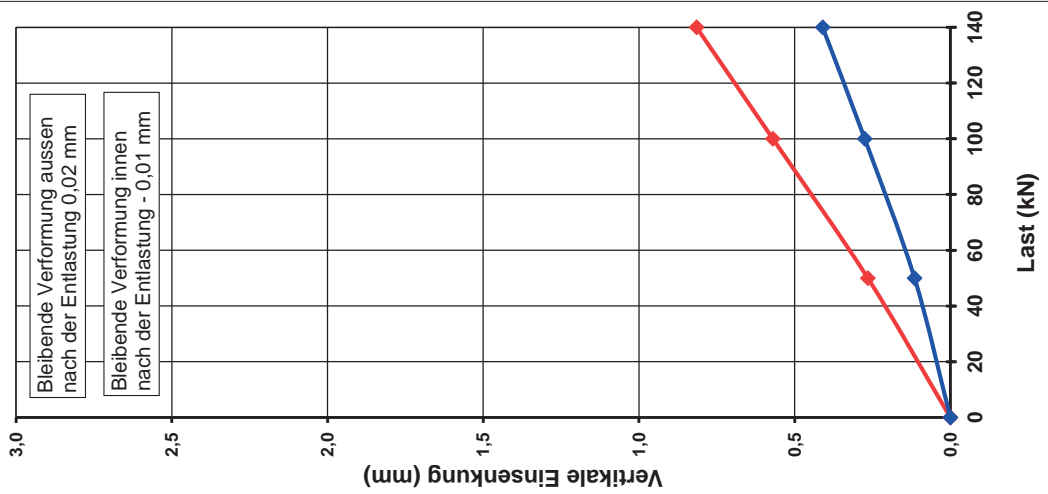
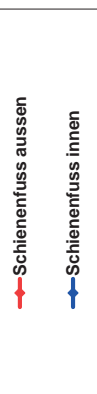
# FFU mit 100 mm Bauhöhe

## Scherenhebelversuch Stützpunkt 1



FFU mit 100 mm Bauhöhe

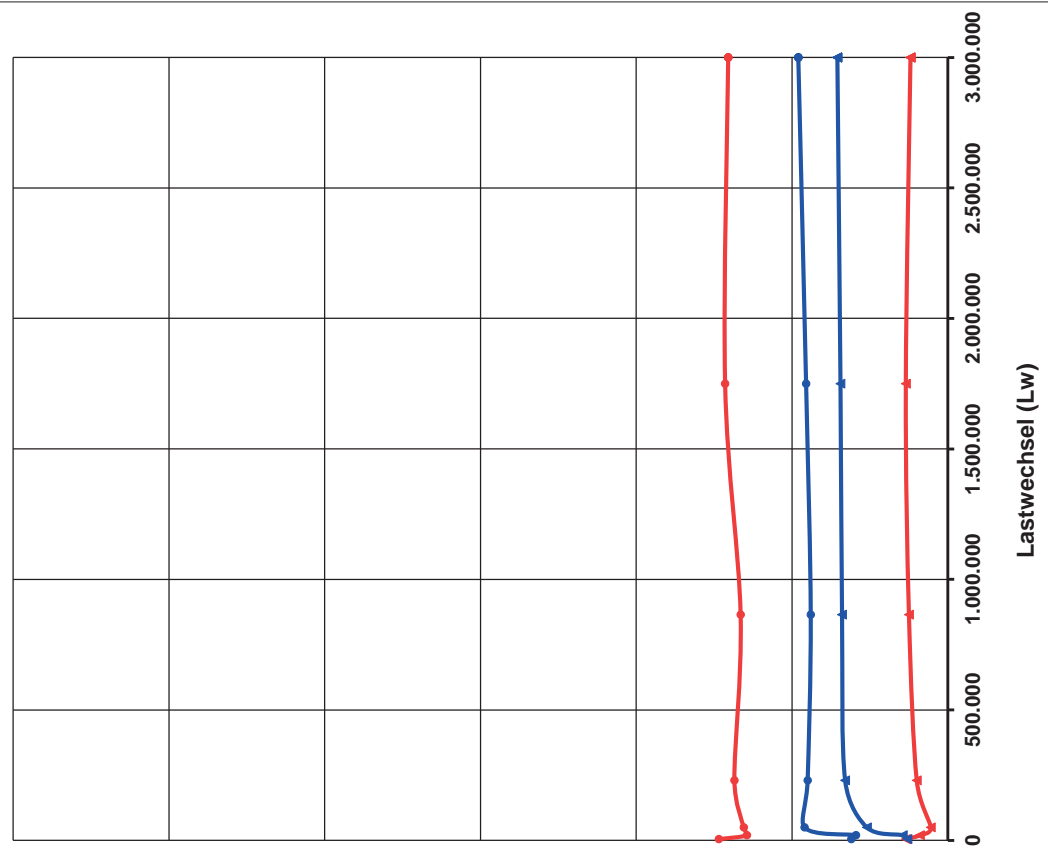
statische Voreichung



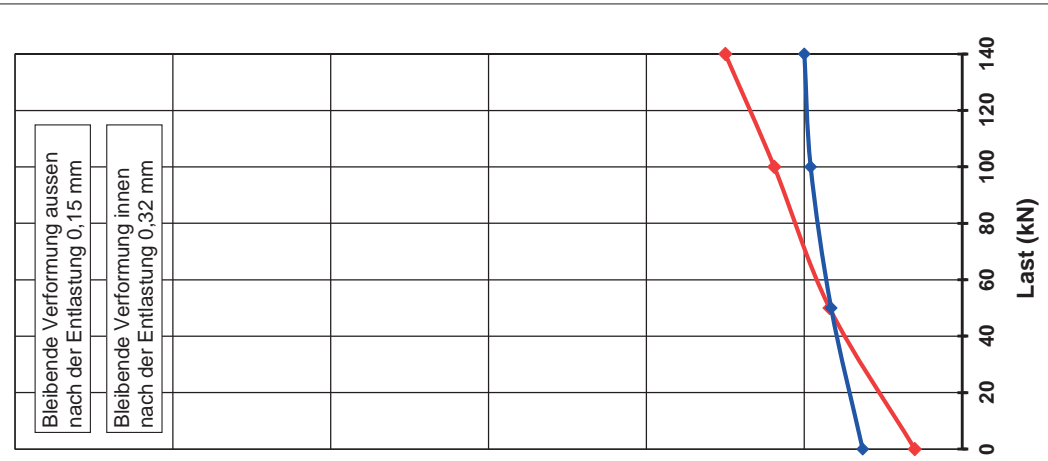
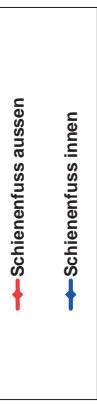
Bleibende Verformung aussen nach der Entlastung 0,02 mm

Bleibende Verformung innen nach der Entlastung - 0,01 mm

Scherenhebelversuch Stützpunkt 1



statische Nacheichung

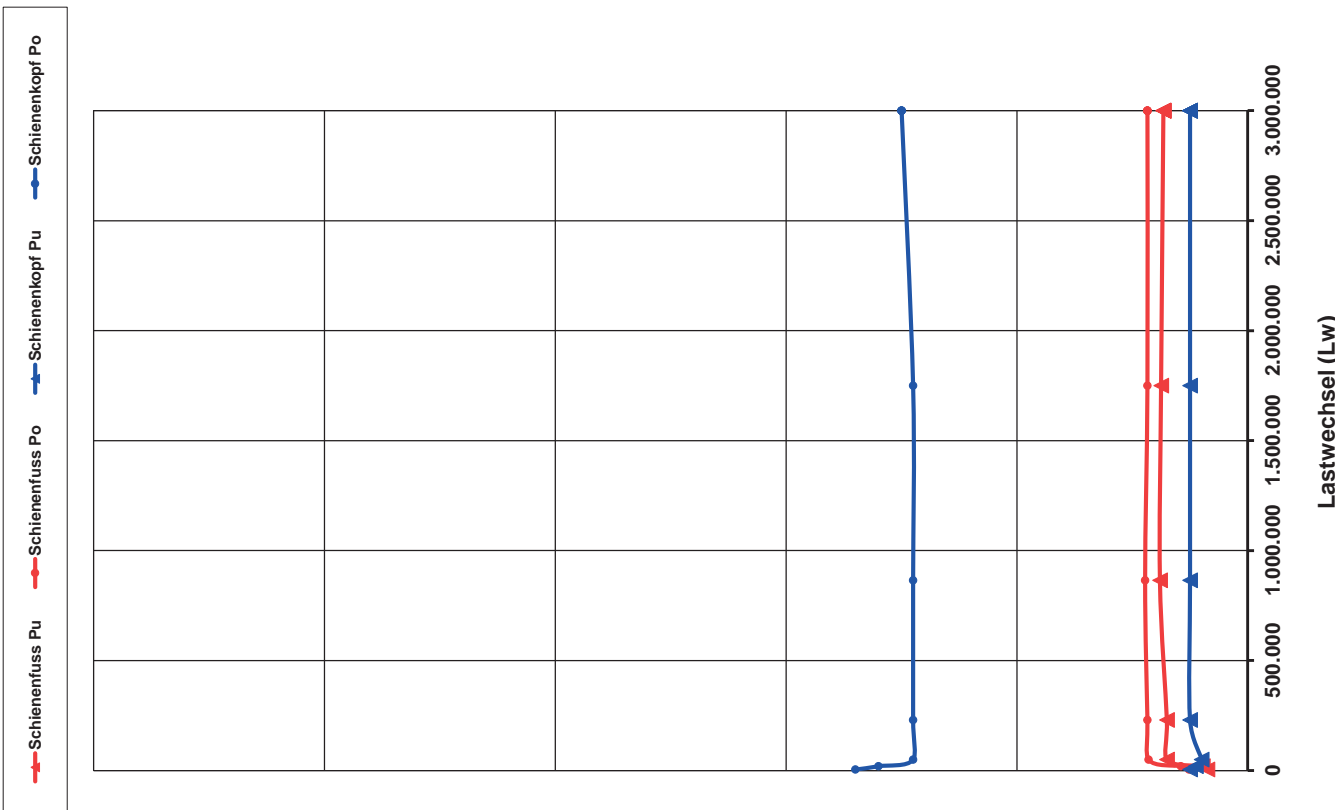


Bleibende Verformung aussen nach der Entlastung 0,15 mm

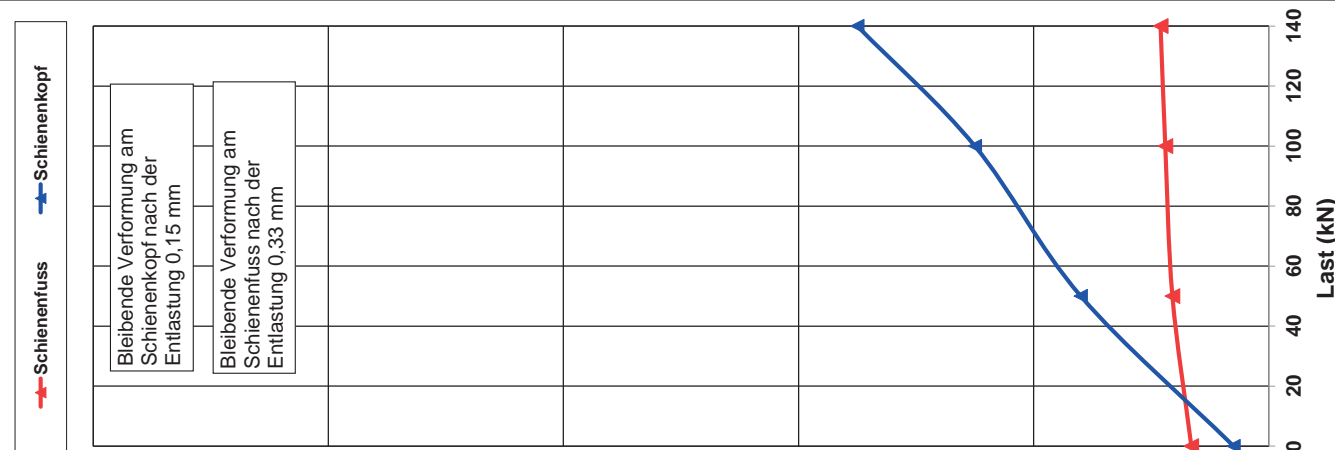
Bleibende Verformung innen nach der Entlastung 0,32 mm

# FFU mit 100 mm Bauhöhe

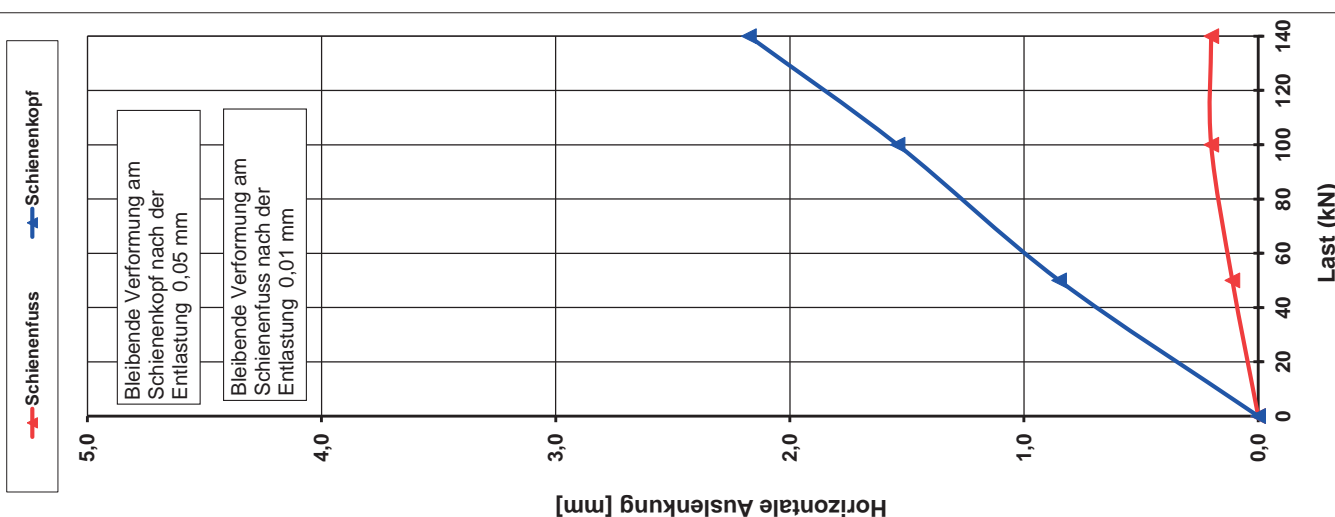
## Scherenhebelversuch Stützpunkt 2



## statische Voreichung



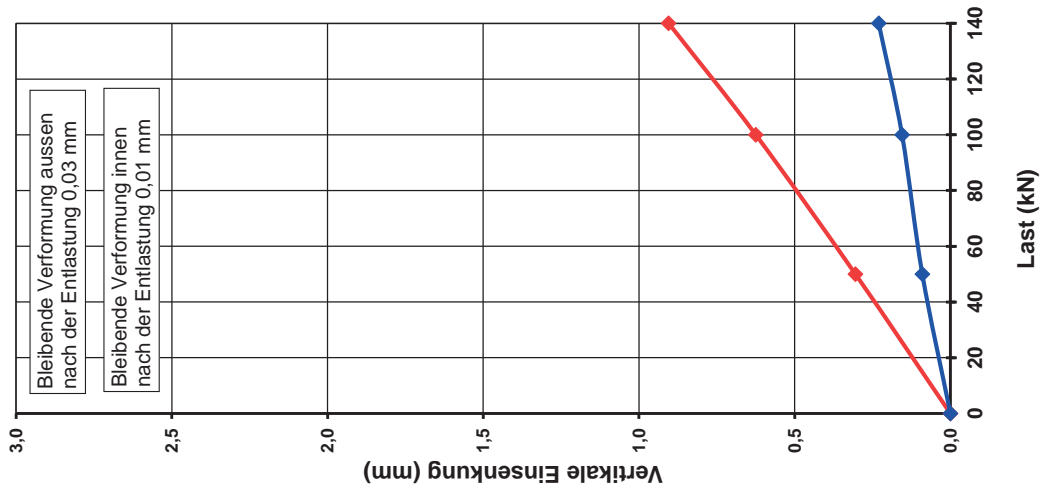
## statische Nacheichung



# FFU mit 100 mm Bauhöhe

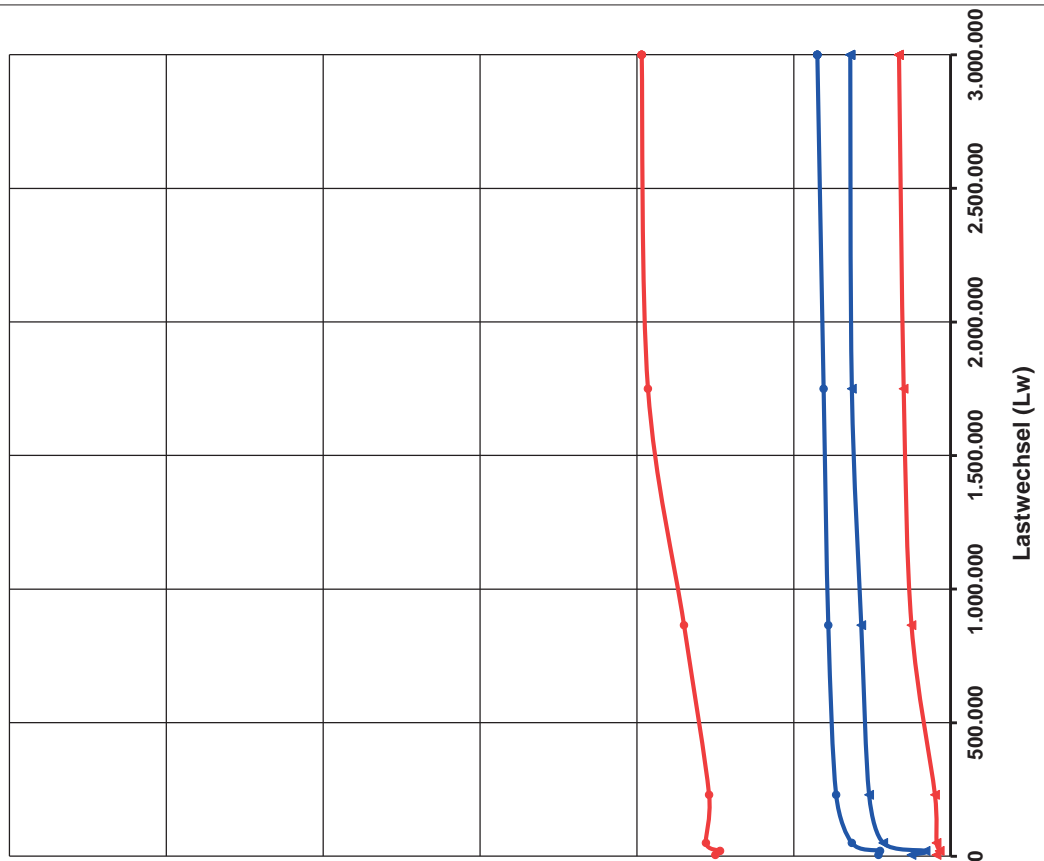
## statische Voreichung

◆ Schienenfuss aussen  
◆ Schienenfuss innen



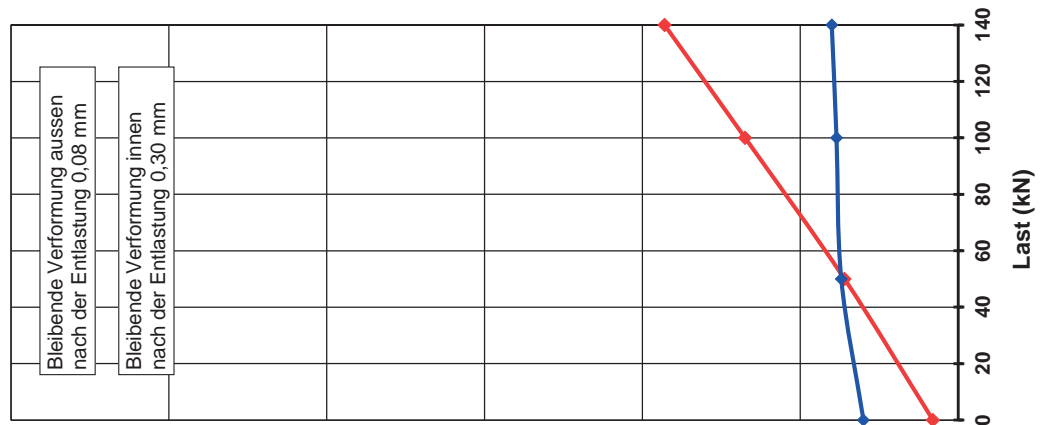
## Scherenhebelversuch Stützpunkt 2

◆ Schienenfuss aussen Pu  
◆ Schienenfuss innen Pu  
◆ Schienenfuss aussen po  
◆ Schienenfuss innen po

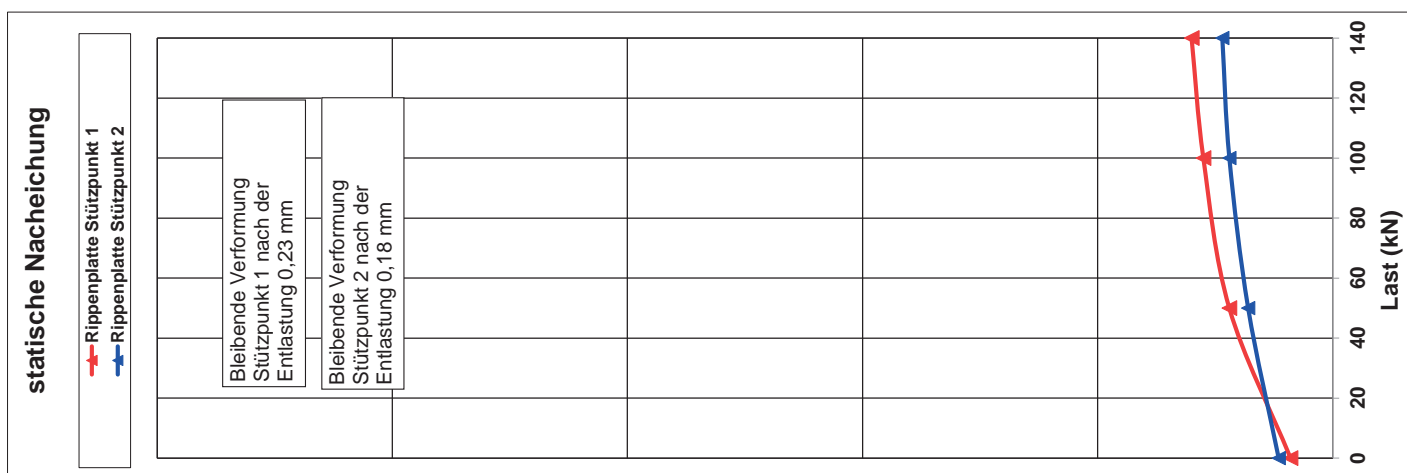
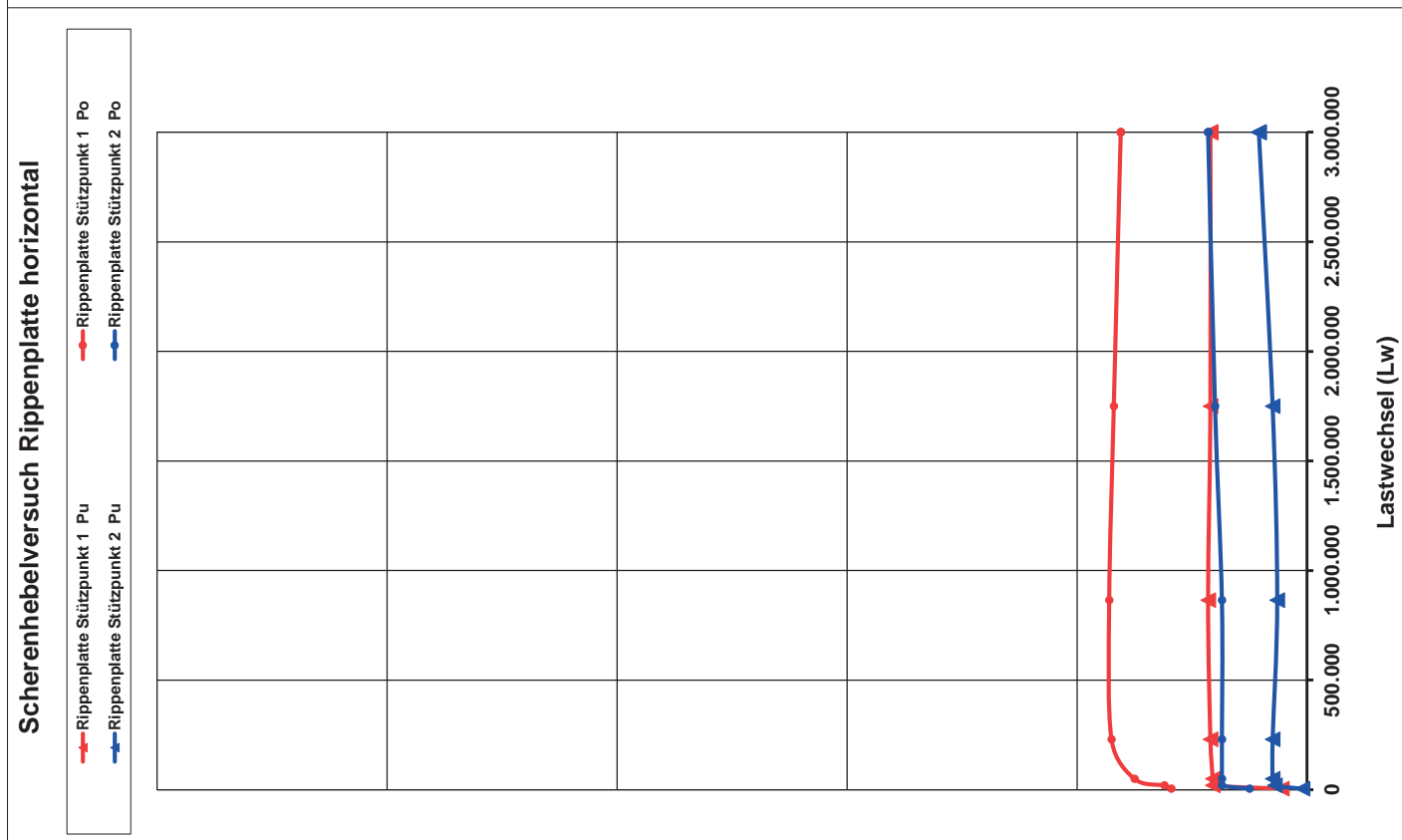
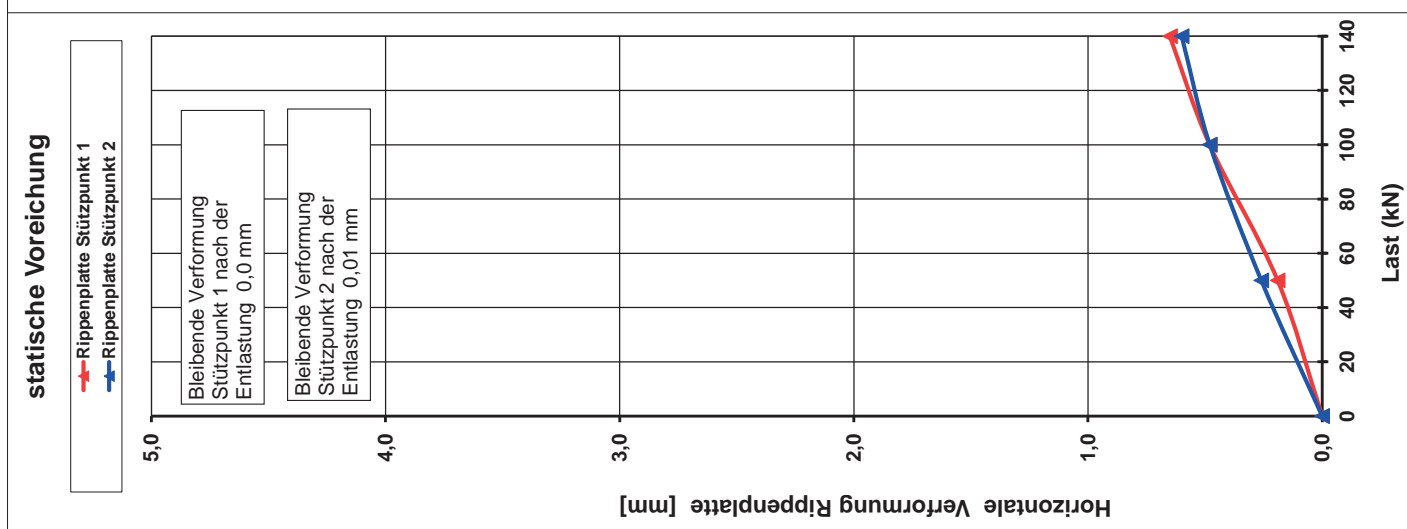


## statische Nacheichung

◆ Schienenfuss aussen  
◆ Schienenfuss innen

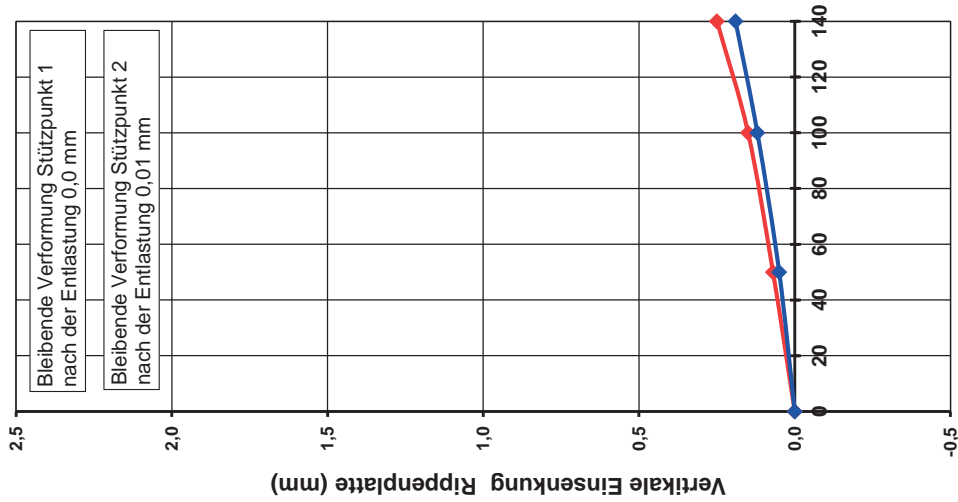
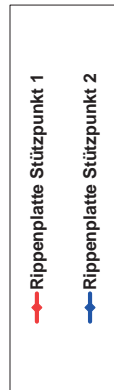


FFU mit 100 mm Bauhöhe



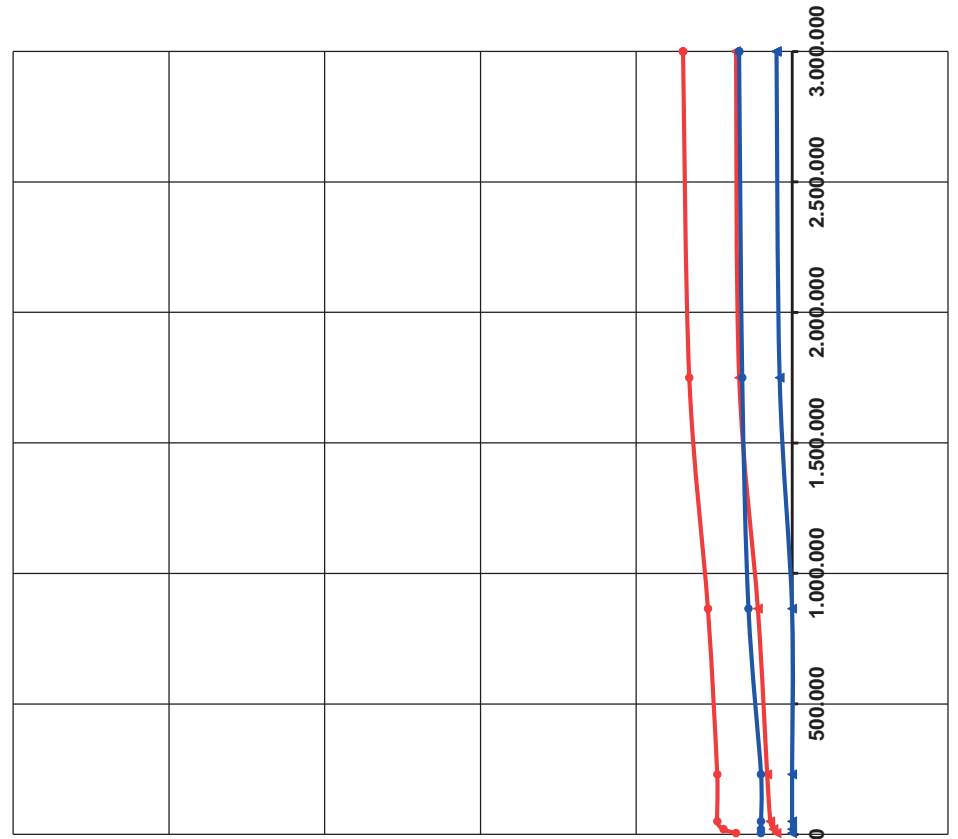
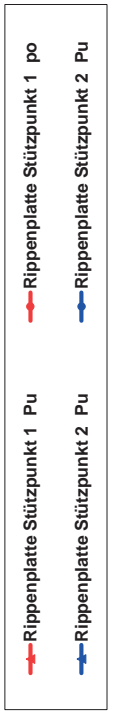
# FFU mit 100 mm Bauhöhe

## statische Voreichung



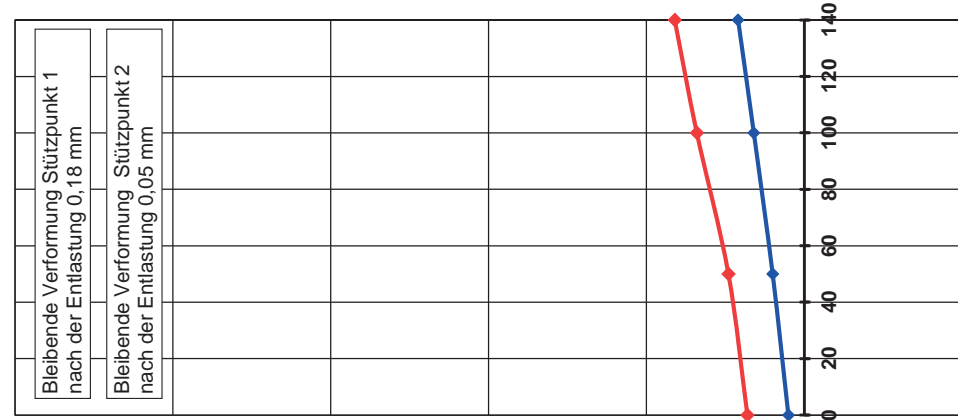
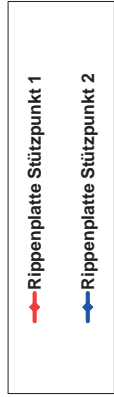
Last (kN)

## Scherenhebelversuch Rippenplatte vertikal



Lastwechsel (Lw)

## statische Nacheichung



Last (kN)

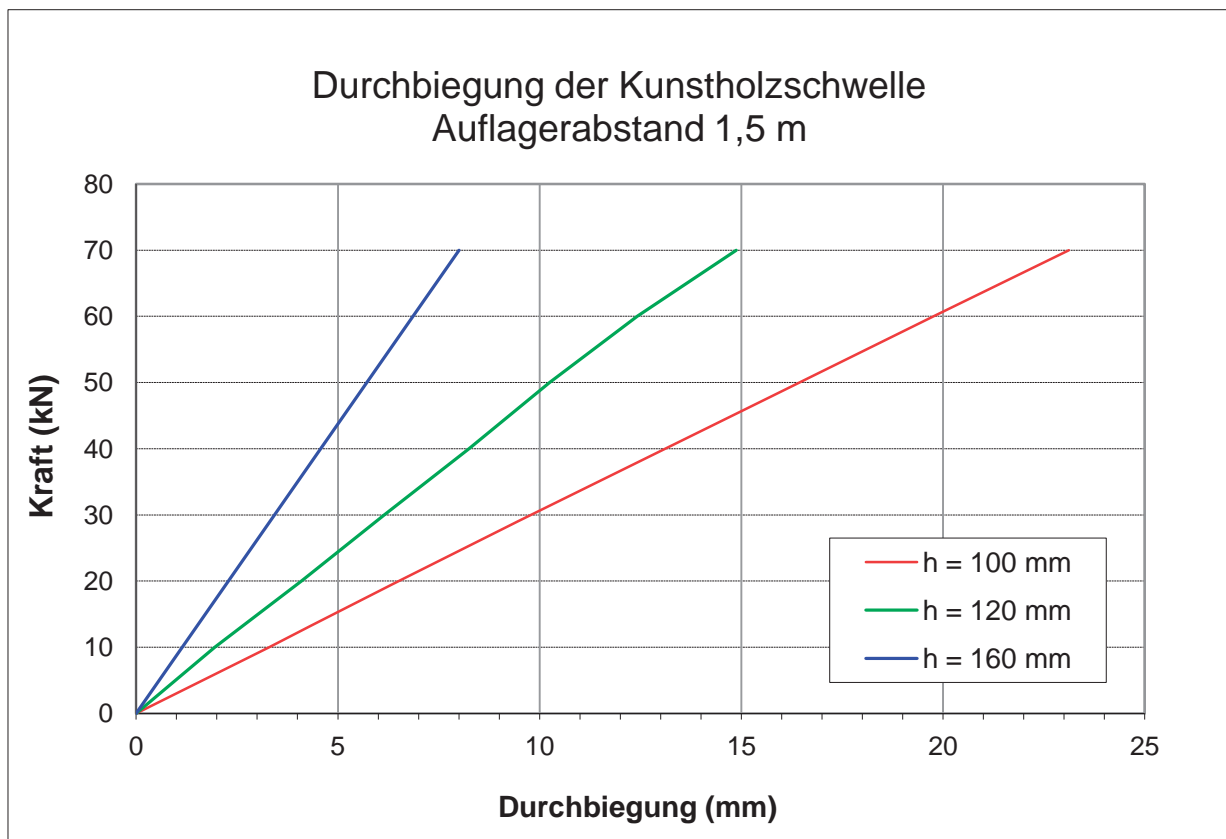
Bleibende Verformung Stützpunkt 1 nach der Entlastung 0,0 mm

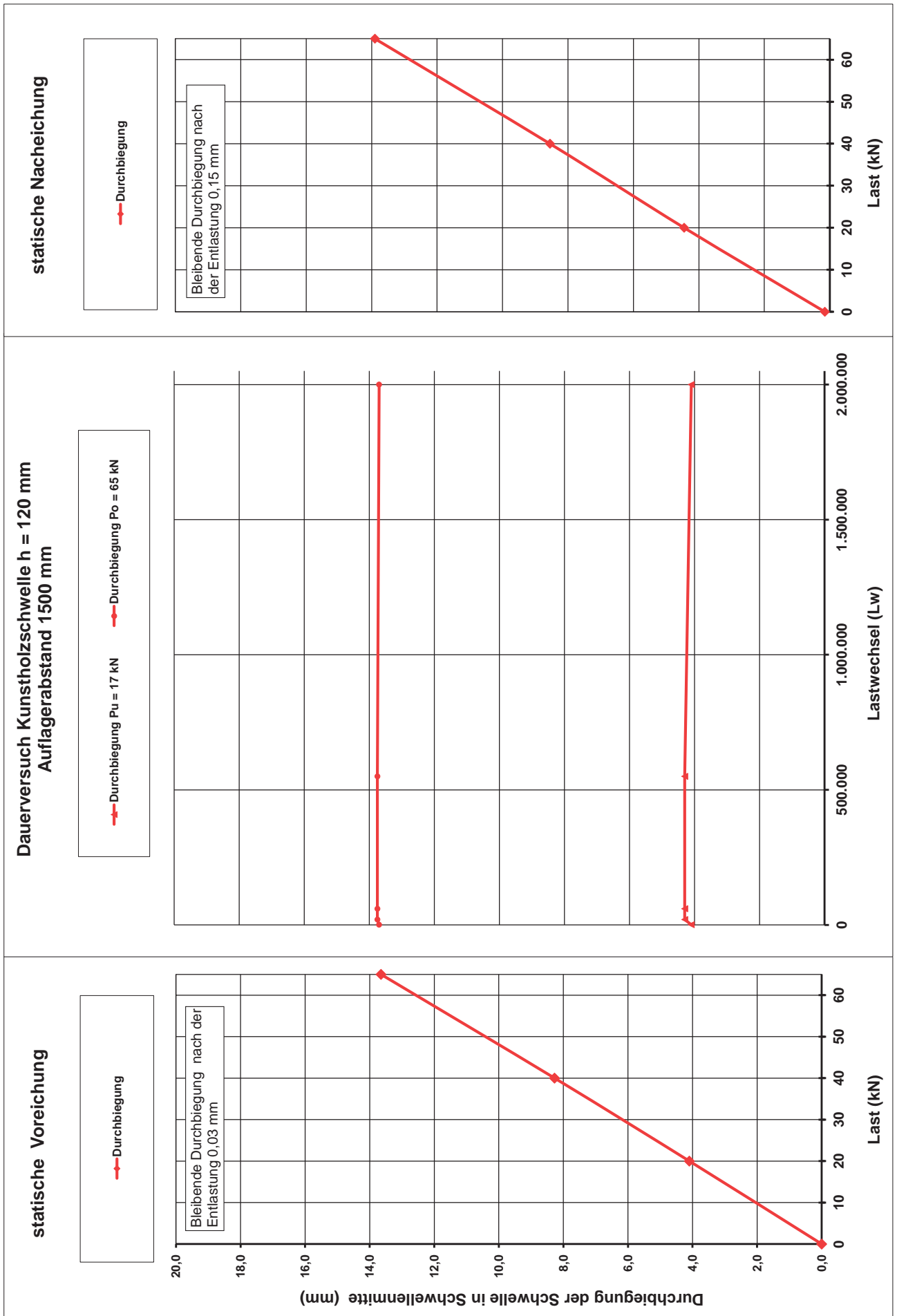
Bleibende Verformung Stützpunkt 2 nach der Entlastung 0,01 mm

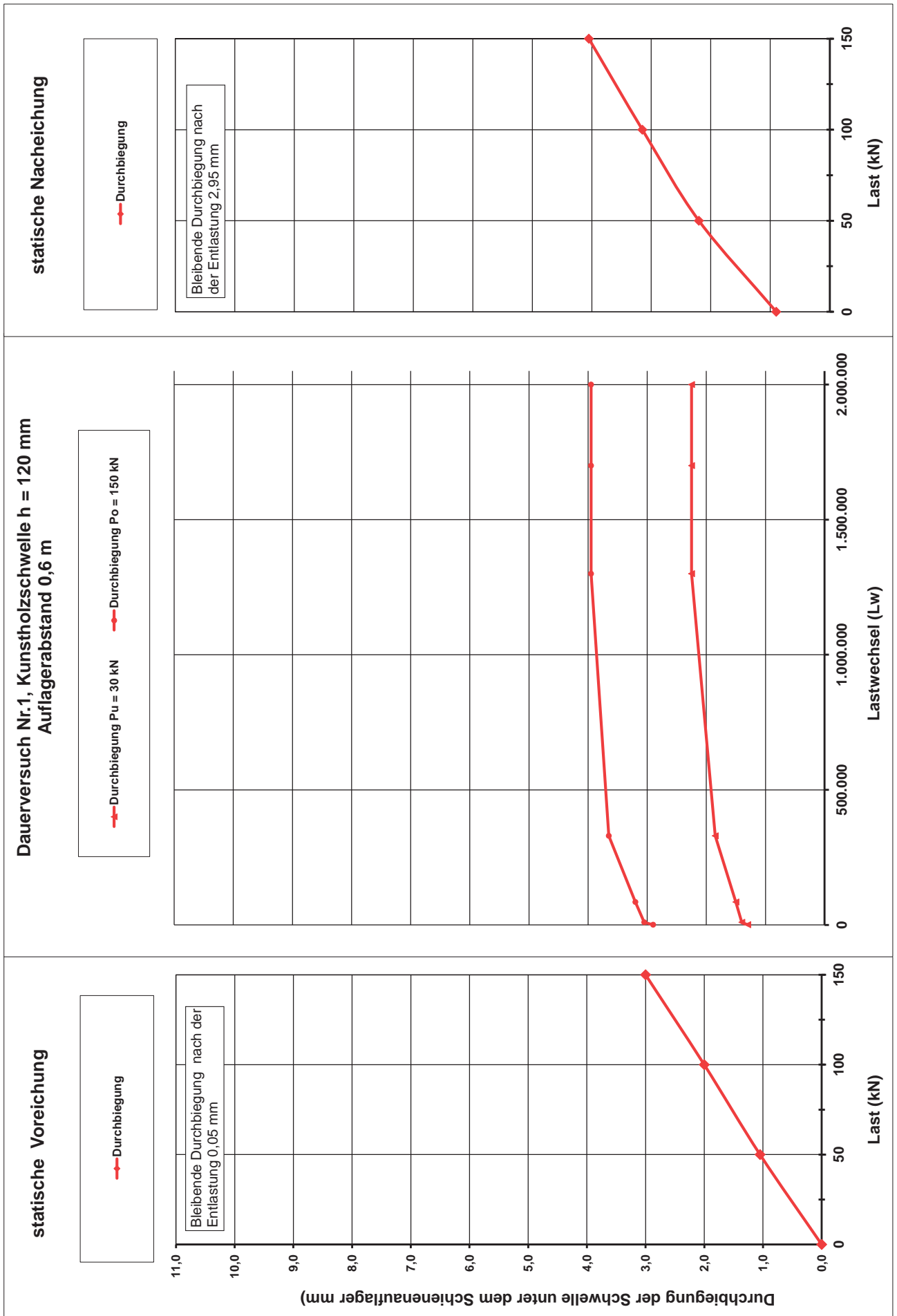
Bleibende Verformung Stützpunkt 1 nach der Entlastung 0,18 mm

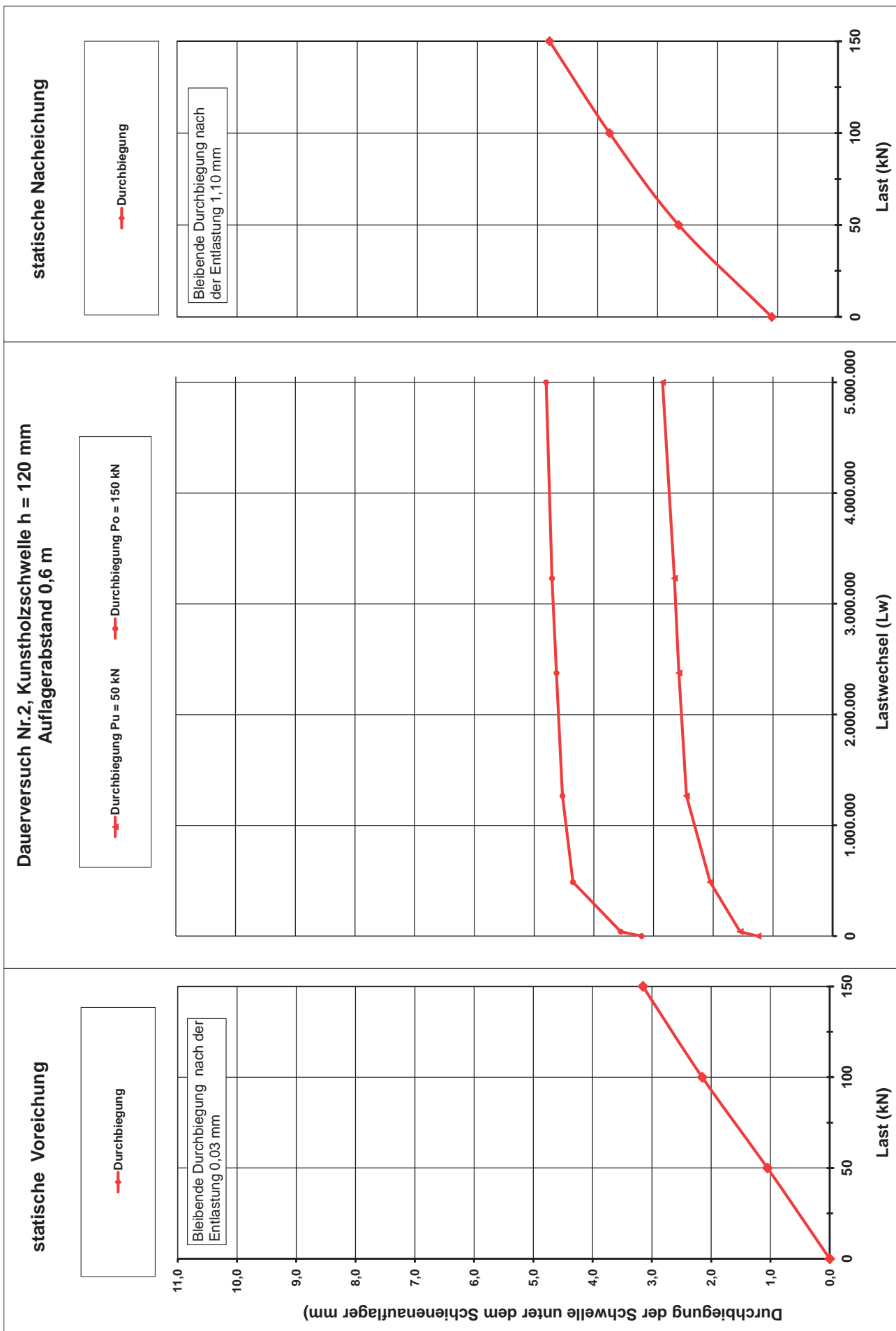
Bleibende Verformung Stützpunkt 2 nach der Entlastung 0,05 mm

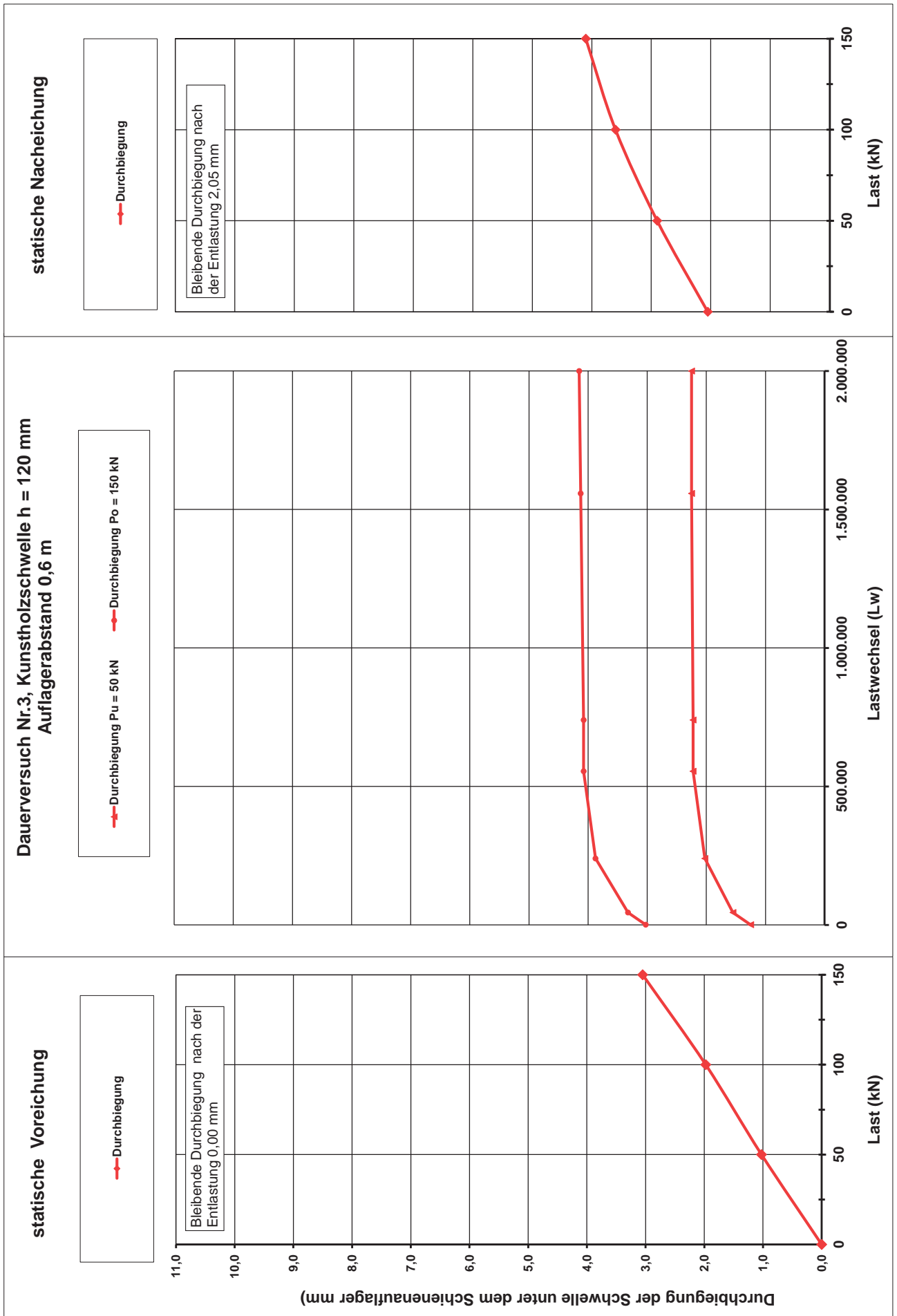














Scherenhebelschwingversuch in Anlehnung an DIN EN 13481-3

Anhang 1.2



Geringfügige plastische Verformungen von maximal 0,23 mm an der Schwellenoberfläche nach dem Scherenhebelversuch (3,0 Mio. Lastspiele)

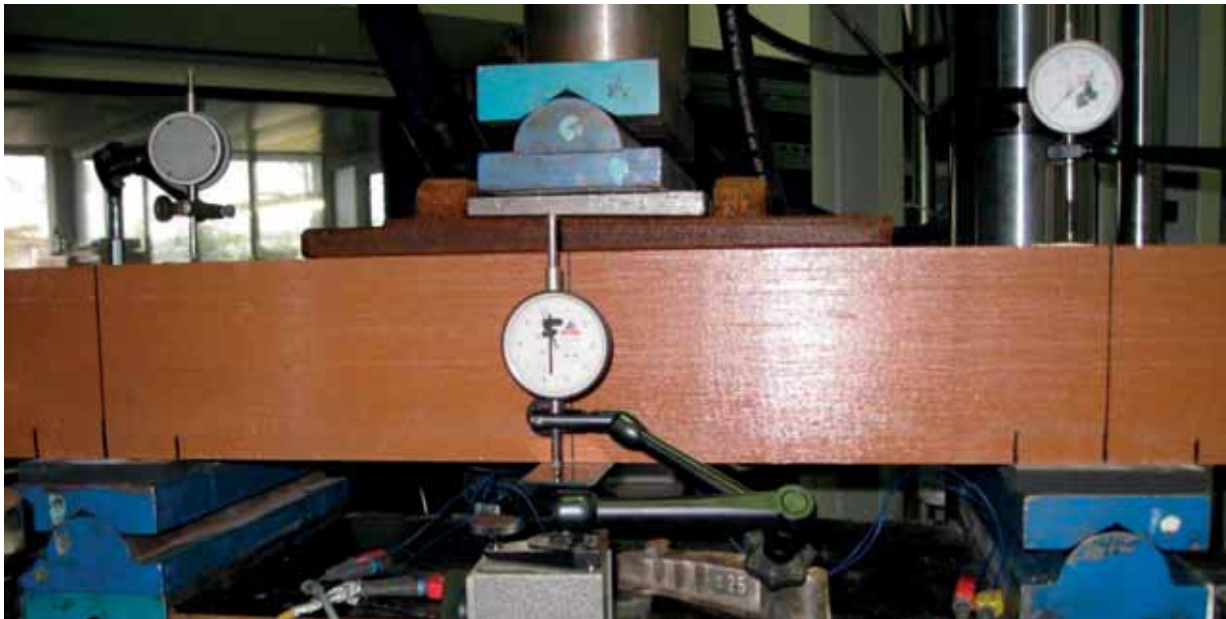


Statische Prüfung in Schwellenmitte



Ermüdungsprüfung in Schwellenmitte (2,0 Mio. Lastspiele)

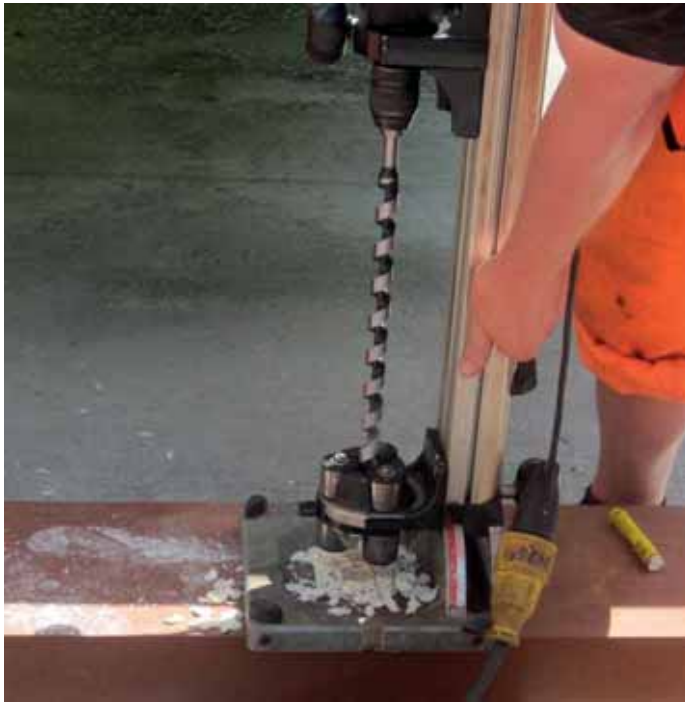




Ermüdungsprüfung unter dem Schienenaufleger



Unter den Schienenauflagern konnten nur geringfügige plastische Verformungen festgestellt werden



Erzeugung von Bohrlöchern in der Kustholzschwelle



Ausziehversuche

# SEKISUI

SEKISUI CHEMICAL GmbH  
Königsallee 106  
D-40215 Düsseldorf  
Tel: +49-(0)211-36977-0  
Fax: +49-(0)211-36977-31  
[www.sekisui-rail.com](http://www.sekisui-rail.com)

