

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN



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



Bericht Nr. 2466 vom 19.09.2008

FORSCHUNGSBERICHT

Untersuchungen an der FFU-Kunstholzschwelle

**Verwendung als Marketingunterlage von SEKISUI
Der fachliche Inhalt ist deckungsgleich mit dem Original**

Forschungsbericht Nr. 2466

Untersuchungen an der FFU-Kunstholzschwelle

1. ALLGEMEINES

Im Zuge des Zulassungsverfahrens durch das EBA, sollten umfangreiche Untersuchungen an der FFU-Kunstholzschwelle (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 Kunstholzschwelle millimetergenau geschnitten.

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

- 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).
- Andrehversuche zur Ermittlung der Zugkraft in den Schwellenschrauben in Abhängigkeit des Drehmomentes.
- Ausziehversuche an Schwellenschrauben gemäß DIN EN 13481-2.
- Schlagprüfungen zur Simulation einer Entgleisung (gemäß Techn. Lieferbedingungen der DB).
- Elektrischer Widerstand gemäß DIN EN 13146-5
- Statische und dynamische Prüfungen der Kunstholzschwelle in Anlehnung an die DIN EN 13230-2.

Vom Auftraggeber wurden 20 Kunstholzschwellen (roh, ohne Bohrlöcher für Schwellenschrauben) geliefert. Die Schwellen haben die gleichen Abmessungen von 26 x 16 x 260 cm wie die klassischen Holzschwellen. Anlage 1 zeigt eine Planzeichnung der Schwelle mit Schienenbefestigung.

Für die Prüfungen in Verbindung mit Schienenbefestigungen wurden vom Auftraggeber nachträglich an 6 der gelieferten Schwellen die benötigten Löcher für die Schwellenschrauben gebohrt:

- Bohrdurchmesser für Schwellenschraube 19 mm
- Bohrdurchmesser im Bereich der ersten 25 mm von Schwellenoberkante auf 24 mm aufgeweitet.
- Bohrlochtiefe 14,5 cm
- Die Schwellenschrauben wurden mit einem Drehmoment von 220 Nm angezogen. In die Bohrlöcher wurde zuvor Vaseline eingebracht.

2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

2.1 Dauerschwellversuch (Scherenhebelschwingversuch) gemäß DIN EN 13146-3 (Februar 2003) – Schwelle Nr. 6

Zur Vorbereitung des Versuches ist die dynamische Steifigkeit der Zwischenlage in Übereinstimmung mit dem Anhang B der EN 13481-2 (Anforderungen an Betonschwellen) zu ermitteln. Die dynamische Steifigkeit als Sekantenwert zwischen 20 kN und 95 kN bei einer Prüffrequenz von 5 Hz ist größer als 200 kN/mm.

Aus den ermittelten dynamischen Steifigkeiten der Zwischenlage ergeben sich die Prüflasten und –positionen nach Tabelle 2 der DIN EN 13481-3. Da die Zwischenlage eine dynamische Federziffer > 200 kN/mm aufweist, ist sie als "hart" einzustufen (auf der sicheren Seite liegend wird die Elastizität der Kunstholzschwelle vernachlässigt!). Demzufolge ergibt sich für den Dauerschwellversuch für Einzelstützpunkte eine Oberlast von $P_V/\cos \alpha = 83$ kN, bei einem Lasteinleitungswinkel von $\alpha = 33^\circ$: Bei dem Scherenhebelschwingversuch werden gleichzeitig zwei Stützpunkte geprüft, die Oberlast $2 \times P_V$ beträgt demnach 140 kN. Das für den Dauerversuch verwendete Schienenstück ist gemäß der DIN EN 13481-3 um das erforderliche Maß $X = 15$ mm abgefräst. Die Unterlast bei der Versuchsdurchführung beträgt 10 kN bei einer Belastungsfrequenz von 3 Hz. Damit werden Versuche für die Bezugswerte der Auswirkungen von Dauerbelastungen einer Radsatzlast von 225 kN und Gleisbogenhalbmesser von > 150 m nach Tabelle 1 der DIN EN 13481-3 durchgeführt.

Der Versuch wurde als Scherenhebelschwingversuch mit 3 Mio Lastspielen durchgeführt (2 x $P_v = 140$ kN). Die Versuchsanordnung entspricht Bild 3b der DIN EN 13146-4 (s. Fotos Anhang 1.1).

In den Anlagen 2 (a, b, c, d) sind die Verformungen des Schienenbefestigungssystems während des Dauerversuches bei Raumtemperatur $T = RT$ dargestellt.

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.

Tabelle 1:

nach Dauerversuch	elastische Schienenkopfauslenkung		bleibende Schienenkopfauslenkung	
	rechter Stützpunkt	linker Stützpunkt	rechter Stützpunkt	linker Stützpunkt
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.

Zusätzlich wurde die horizontale sowie vertikale Bewegung der Rippenplatte (außen) registriert. Es wurde eine elastische Einsenkung von 0,23 mm sowie eine bleibende von 0,14 mm an der Rippenplatte registriert. Die horizontale Verschiebung der Rippenplatten betrug i.M. ca. 0,2 mm.

Anschließend wurde die Schwelle aus dem Schotter ausgebaut und augenscheinlich untersucht, es wurden nur leichte Druckstellen an der Unterseite registriert.

In einer zusätzlichen Versuchsphase mit erhöhter Temperatur von ca. 48°C sollte das Verhalten der Kunstholzschwelle an der gleichen Schwelle in Verbindung mit der Schienenbefestigung bei erhöhter Temperatur untersucht werden. In dieser Phase wurden zusätzlich 1,28 Mio Lastspiele aufgebracht. In den Anlagen 3 (a, b, c, d) sind die Verformungen in der Prüfung bei $T = 48^\circ\text{C}$ dargestellt.

Die Auslenkung der Schiene gegenüber der Schwelle ist in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2:

nach Dauerversuch	elastische Schienenkopfauslenkung		bleibende Schienenkopfauslenkung	
	rechter Stützpunkt	linker Stützpunkt	rechter Stützpunkt	linker Stützpunkt
1,28 Mio Lastspiele	2,05 mm	1,93 mm	0,41 mm	0,48 mm

Die Werte in Tabelle 2 sind von gleicher Größenordnung wie im Dauerschwellversuch bei RT (Tabelle 1). Daraus kann gefolgert werden, dass das mechanische Verhalten des Systems von den erhöhten Temperaturen weitgehend unbeeinflusst ist. Nach dem Dauerversuch wurden die Rippenplatten demontiert und das Andrehmoment erneut ermittelt ($M = 180 \text{ Nm}$, Mittelwert aus 8 Schrauben). Die Schwellenoberfläche zeigte einen Abdruck der Rippenplatte (s. Fotos Anhang 1.2) mit plastischen Deformationen von 0,7 mm (schienenaußenseitig) bzw. 0,3 mm (schieneninnenseitig). An der Unterseite der Schwelle wurden nur leichte Druckstellen registriert.

2.2 Zugkraft in den Schwellenschrauben in Abhängigkeit von Andrehmoment und Zeit

Hierzu wurden im Schaft von 2 Schwellenschrauben an 2 gegenüberliegenden Seiten Aussparungen eingefräst, in die Dehnungsmessstreifen eingeklebt wurden. Anschließend wurden die Schrauben in einem zentrischen Zugversuch geeicht, womit bei Registrierung der auftretenden Dehnungen eine Zuordnung der entsprechenden Zugkräfte möglich ist.

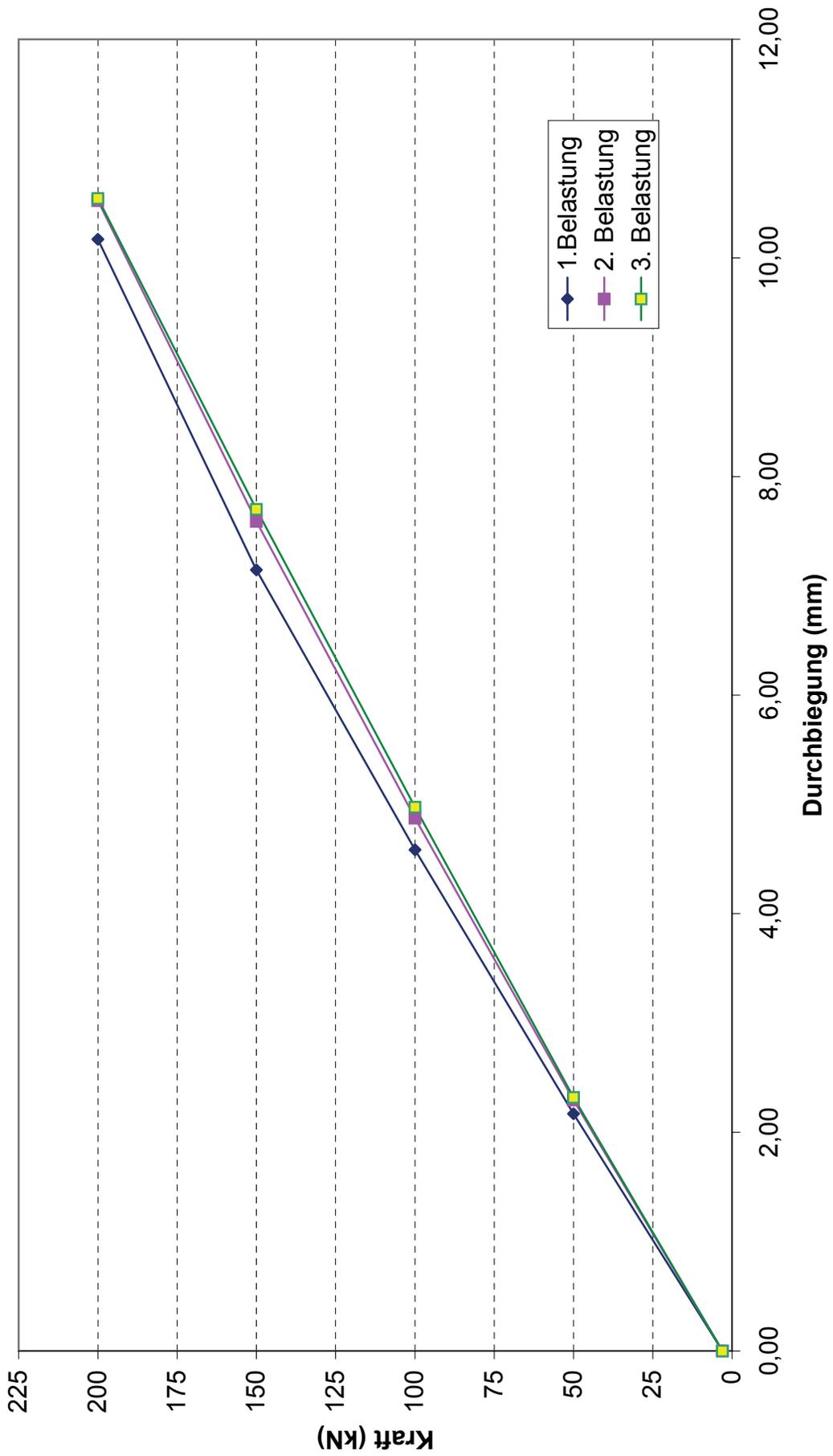
An der Schwelle Nr. 7 wurde die Rippenplatte montiert und auf die Schwellenschrauben in Stufen ein Andrehmoment von 200 Nm bzw. 250 Nm aufgebracht (s. Fotos Anhang 2).

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengestellt.

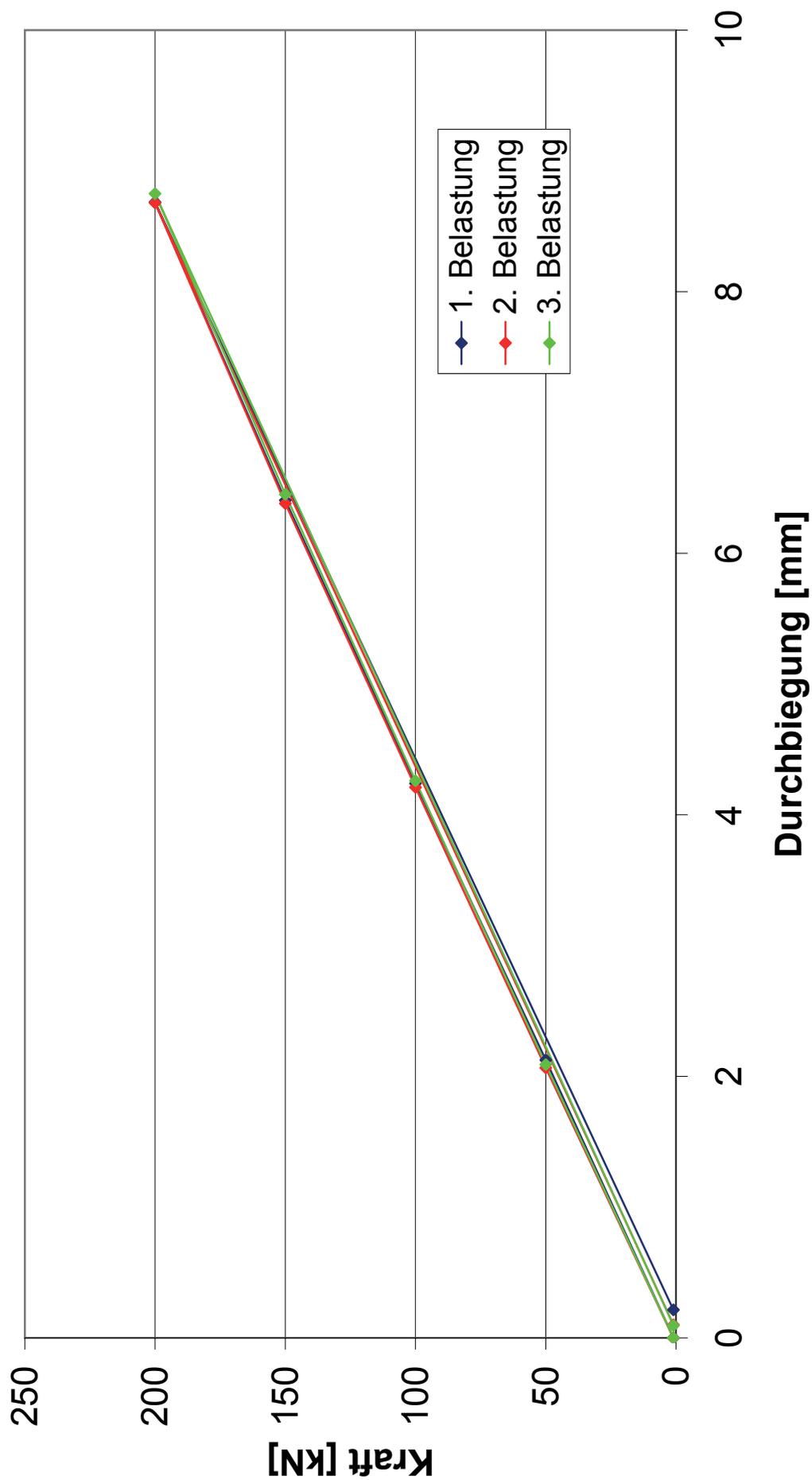
Tabelle 3:

Moment	1. Versuch		2. Versuch	
	Zeit	Zugkraft	Zeit	Zugkraft
200 Nm	t = 0	17 – 21 kN	t = 0	21 kN
200 Nm	t = 40 min	16 – 17 kN	t = 40 min	18 kN
250 Nm	t = 0	25 kN	t = 0	25 kN
250 Nm	t = 40 min	20 kN	t = 40 min	22 kN
250 Nm	t = 16 h	19 kN	t = 3 Tage	20 kN

Schwelle Nr. 3, Auflagerabstand: $L = 1,0 \text{ m}$, $T = RT$



Schwelle Nr. 10, Auflagerabstand: 1,0 mm, T = -10°C

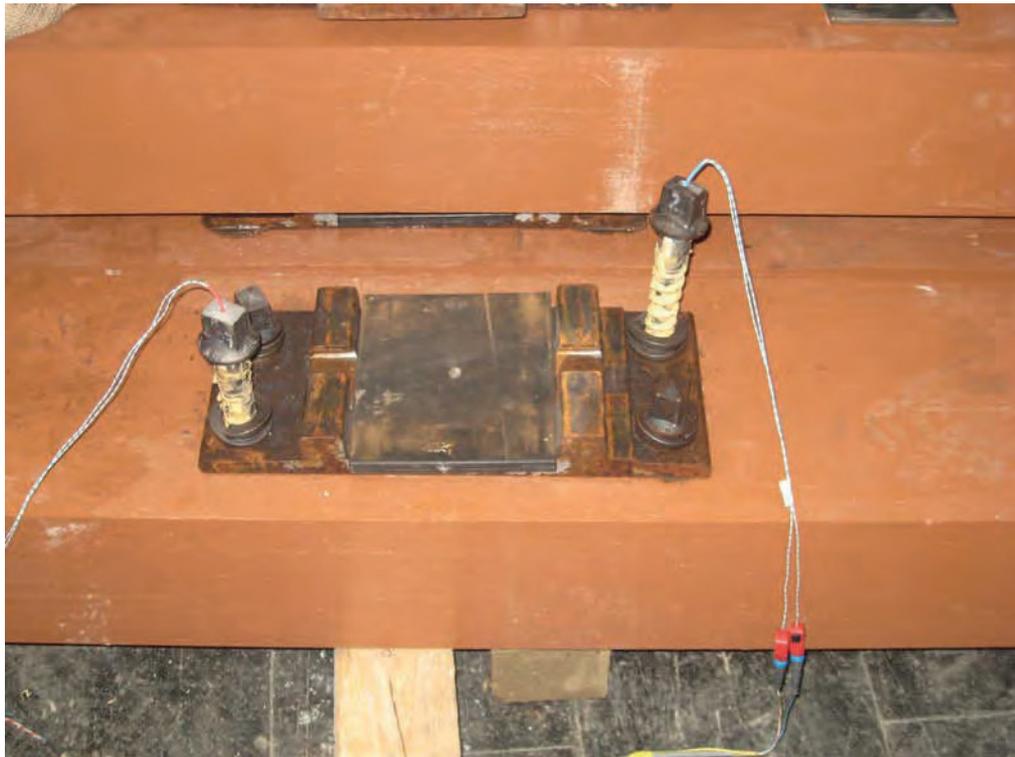




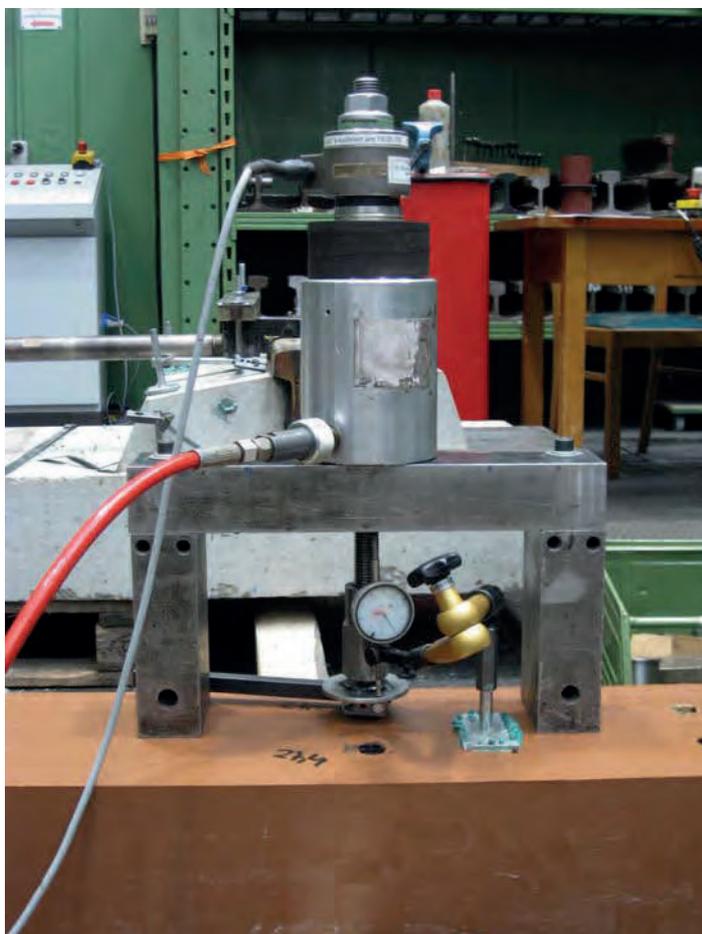
Dauerschwellversuch in Anlehnung an DIN EN 13230-3



Plastische Verformungen von 0,3 – 0,7 mm an der Schwellenoberfläche nach dem Dauerschwellversuch (4,3 Mio Lastspiele)



Zugkraft in den Schwellenschrauben in Abhängigkeit von Drehmoment und Zeit



Ausziehversuche



Der Fallbär mit spurkranzförmiger Schneide dringt „sauber“ in die Schwellenkante ein. Die Zerstörung der Schwelle ist lokal eng begrenzt (Breite der Schneide)



Durchtrennte Fasern nach dem zweiten Schlag in der Schlagprüfung I.

Anhang 3.2



Infolge der Schlagprüfung II (außerhalb des Schienenstrangs, 15 cm vom Schwellenende) bricht entsprechend der Faserrichtung an der Stirnseite der Schwelle ein Keil aus.



Ausbruchkeil nach dem zweiten Schlag in der Schlagprüfung II.



Ansicht der Schwelle S8 nach dem zweiten Schlag in Schlagprüfung I.



Ausbruchkeil nach Schlagprüfung II.



Einkerbung an Schwelle S9 nach Schlagprüfung I.



Aufgrund der homogenen Struktur der Kunstholzschwelle liefert die Schlagprüfung sehr eindeutige und reproduzierbare Ergebnisse.



Die Kunstholzswellen sind nach der Schlagprüfung nicht verwölbt.

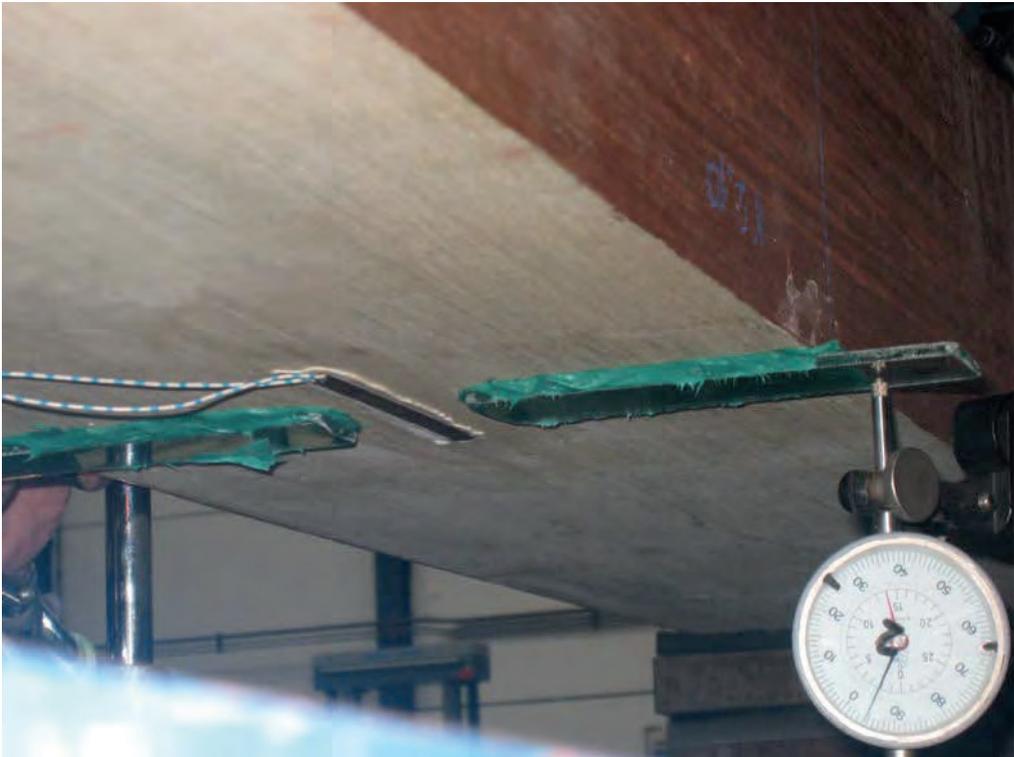


Kunstholzschwelle

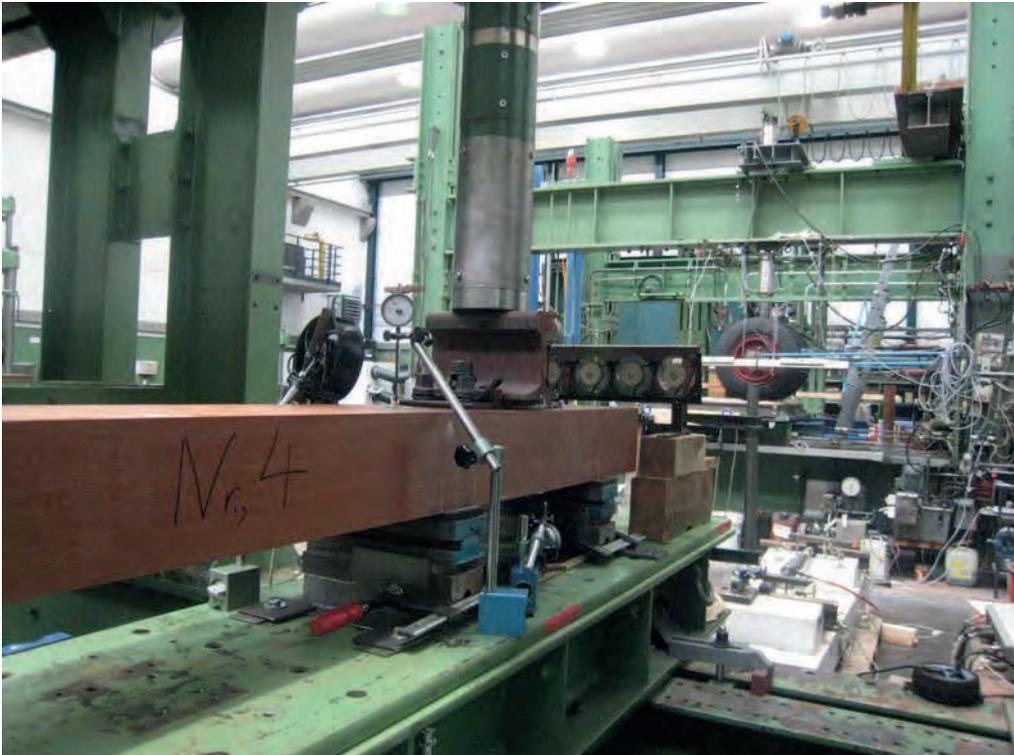


Holzschwelle

Statische Prüfung in Schwellenmitte



Ermüdungsprüfung in Schwellenmitte



Ermüdungsprüfung unter dem Schienenaufleger



Statischer Druckversuch (s. Ziff. 2.9)

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

