Die weltweit dünnste Bahnschwelle aus Kunstholztechnologie – Testbericht der TU München

Mit 12 cm Bauhöhe wurde vom Prüfamt für Verkehrswegebau der TU München die dünnste „Kunststoffverbundschwelle" der Welt (Stand 2013) positiv für die Vollbahn (22,5t), mit v < 200 km/h, getestet. Die Deutsche Bahn teilte bereits ihre positiven Erfahrungen mit dieser Bahnschwelle auf Strecken mit bis zu 100 000 Lasttonnen je Tag mit.

Dipl.-Ing. Dr. techn. Günther Koller
Managing director, koocoo technology & consulting GmbH, Vienna (Austria)
office@koocoo.eu

Dr. Dimitre Iliev
TU München
dimitre.iliev@vwb.bv.tum.de

ENTWICKLUNG DER TECHNOLOGIE FFU

FFU (Fibre reinforced Foamed Urethane) Kunstholz wurde im Jahre 1978 von SEKISUI entwickelt. FFU ist ein Werkstoff, der die gleichen positiven Materialeigenschaften im Gleisbau wie Naturholz zeigt. Er hat annähernd das gleiche spezifische Gewicht wie Naturholz, jedoch gegenüber diesem eine wesentlich höhere Lebenserwartung und Witterungsbeständigkeit. Die Haltbarkeit wurde 1996 vom RTRI (Railway Technical Research Institut) mit mehr als 50 Jahren hochgerechnet. In 2011 führte das RTRI wieder einen Test an einer nun bereits 30 Jahre unter vollem Betrieb eingesetzten Schwelle durch. Die Lebenserwartung der prognostizierten 50 Jahre wurde dem Eigentümer (JR) schriftlich bestätigt.

BILD 1: Bauhöhe 10 cm | Längenfeldgasse U4 |Wiener Linien | 2012

PRODUKTIONSPROZESS

Kunstholz wird nach dem Pultrusions- oder auch Strangziehverfahren im Zuge einer strengen Qualitätssicherung entsprechend ISO-Zertifizierung hergestellt. Endlose richtungsorientierte Glasfaserstränge werden durch eine Rollenstrangpresse gezogen, mit Polyurethan vergossen und bei erhöhter Temperatur zu einem sehr hochwertigen geschlossen porigen Werkstoff ausgehärtet.

Auf Wunsch des Auftraggebers werden im Werk Bahnschwellen und Brückenhölzer aus Kunstholz laut Plan in Millimetergenauigkeit formgenau vorproduziert, eindeutig gekennzeichnet und ausgeliefert.

INTERNATIONALE PROJEKTE

Seit 1985 ist FFU in Japan ein Standardprodukt der Eisenbahn. Dies vor allem im Bereich von Weichenanlagen und Brückentragwerken. In Europa erfolgte der erste Einsatz im Jahr 2004 in Österreich an einer Brücke der Wiener Linien. Seitdem haben die Hamburger Hochbahn, der Chempark Leverkusen, der Münchner Verkehrsverbund MVV, die Wiener Linien, die ÖBB, die Bogestra, die Deutsche Bahn und die BLS Weichen mit FFU eingebaut. Die Wiener Linien haben im Jahr 2013 im Bereich ihrer Remisen und Werkstätten mehr als 75 Weichen im Schotterbett mit FFU verbaut. ProRail hat in Holland drei Brücken mit FFU belegt. In der Schweiz haben die BLS und die RhB die ersten Brückenprojekte mit FFU umgesetzt. NetworkRail in England wird zwei Brücken mit Langhölzern b/h/l = 38/38/570 cm und zwei Brücken mit Standard Brückenhölzern belegen. In den USA hat eine private Kohlemine eine Brücke mit Kunstholz ausgestattet. Die Achslast liegt hier bei 38 Tonnen. Die New Yorker Metro setzt ebenso 5000 Schwellen aus FFU ein. Bis 2014 sind weltweit bereits mehr als 1300 km Gleis mit FFU Kunstholzschwellen belegt worden.

An der Strecke Tokyo – Osaka der Shinkansen-Linie sind sämtliche Weichen und sämtliche Stahlbrücken mit FFU Kunstholzschwellen ausgerüstet, die Zuggeschwindigkeit beträgt hier 270 km/h, und die Zugfrequenz beträgt drei bis fünf Minuten.

BEARBEITUNG KUNSTHOLZSCHWELLE AM PROJEKT

Die Herstellung von Bohrlöchern für die Verankerung der Schienenbefestigung,

das Schneiden, das Aus-/Abfräsen und das Stemmen erfolgen bei diesem Werkstoff analog zu Holzschwellen mit handelsüblichen Werkzeugen. Hierbei wird der Einsatz von Widea-Werkzeugen bzw. Werkzeugen für die Metallbearbeitung empfohlen.

Kunstholzschwelle (h = 100 mm) nach Dauerversuch	Elastische Schienenkopfauslenkung		Plastische Schienenkopfauslenkung	
	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2	Stützpunkt 1	Stützpunkt 2
3 Millionen Lastspiele	1,60 mm	1,60 mm	0,45 mm	0,15 mm

TABELLE 1: Gegenüberstellung elastische/plastische Schienenkopfauslenkung für Schwellenhöhe 100 mm

BILD 2: Bohren mit Regelwerkzeugen vor Ort

UNTERSUCHUNG DER 12 cm DÜNNEN KUNSTHOLZSCHWELLE

Im Jahre 2008 testete das Prüfamt für Verkehrswegebau der TU München die FFU Kunstholzschwelle mit einer Bauhöhe ab 16 cm positiv. In 2009 erteilte das EBA (Eisenbahn-Bundesamt) die Zulassung für die Betriebserprobung. Seit 2011 setzt die Deutsche Bahn diese Technologie erfolgreich und zufrieden im Bereich Schotterfahrbahn, auf Brücken und an Weichen als auch im Bereich offener Stahltragwerke ein.

Im Zuge der engen Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern der Deutschen Bahn zeigte sich, dass es im Schienennetz immer wieder Zwangspunkte gibt, die sehr kostenintensiven Unterhalt fordern. Dies vor allem in Bereichen, wo die Bauhöhe des Schotters unter den gängigen Schwellen nicht mehr ausreicht bzw. dort, wo Kunstbauwerke über oder unter der Trasse den Lichtraum der Bahn einschränken.

VORGABEN VERSUCH

Die Untersuchungen wurden an FFU Kunstholzschwellen mit den Abmessungen 10 x 26 x 260 cm bzw. 12 x 26 x 260 cm durchgeführt.

In Rücksprache mit dem deutschen EBA sowie der DB AG sollten nun folgende Untersuchungen an der Kunstholzschwelle erfolgen:

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

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

SCHERENHEBELSCHWINGVERSUCH GEMÄSS DIN EN 13146-3 (SCHWELLENHÖHE 100 mm)

Die Belastungsparameter betrugen: Lasteinleitungswinkel α = 33°, dynamische Oberlast $P_{o,v}$ = 140 kN, Abfräßmaß der Schiene X = 15 mm, Prüffrequenz f = 3 Hz, 3,0 Mio. Lastspiele, RT (23°C).

Die Auslenkungen der Schiene gegenüber der Schwelle nach 3 Mio. Lastspielen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Nach den uns vorliegenden Erfahrungen liegen die o. a. Werte im zulässigen Bereich. Nach 3,0 Mio. Lastwechseln wurde eine maximale elastische Einsenkung von 0,23 mm sowie eine maximale bleibende Einsenkung von 0,18 mm unter der Rippenplatte registriert. Die horizontale Verschiebung (elastisch und bleibend) der Rippenplatten betrug im Mittel. ca. 0,6 mm.

Anschließend wurde die Schwelle aus dem Schotter ausgebaut und augenscheinlich untersucht. Es wurden nur leichte Druckstellen an der Unterseite festgestellt.

STATISCHE PRÜFUNGEN IN SCHWELLENMITTE (SCHWELLENHÖHE 100 mm bzw. 120 mm)

Um das Verhalten der Schwelle unter Biegebeanspruchung zu untersuchen, wurden »

TABELLE 2: Kraft-Verformungslinie für Bauhöhen: 100 mm, 120 mm, 160 mm

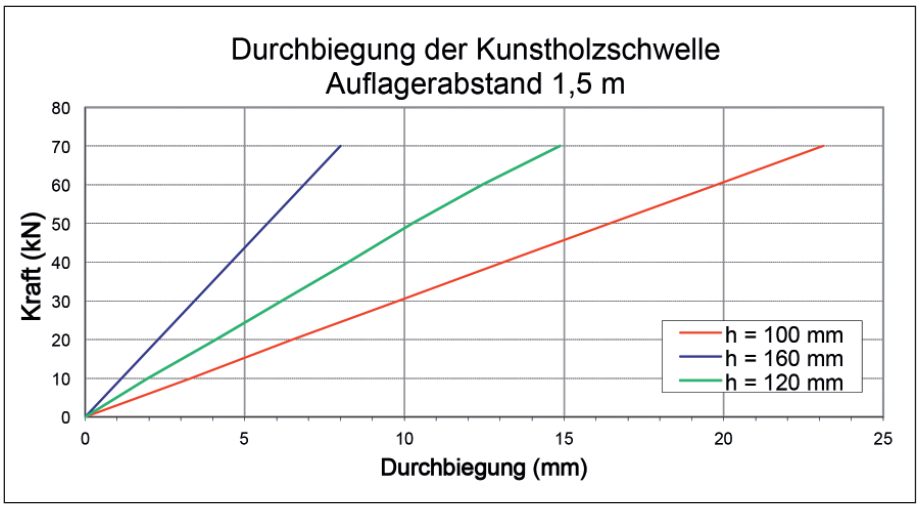

BILD 3: Schneiden mit Kettensäge vor Ort

statische Versuche in Schwellenmitte in Anlehnung an die DIN EN 13230-2 durchgeführt.

Die Versuche erfolgten an Schwellen mit 100 mm und 120 mm Höhe. 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 Tabelle 2 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 ermittelt.

Bei 70 kN beträgt die Durchbiegung der Schwelle mit 100 mm Bauhöhe 23 mm und ist somit um den Faktor 3 größer als bei der Schwelle mit 160 mm Bauhöhe.

Bei 70 kN liegt die Durchbiegung der Schwelle mit 120 mm Bauhöhe bei 15 mm. Dies führte dazu, dass im Weiteren statische und dynamische Versuche nur für Schwellen mit einer Bauhöhe von 120 mm durchgeführt wurden.

ERMÜDUNGSPRÜFUNG IN SCHWELLENMITTE (SCHWELLENHÖHE 120 mm)

Ein Ermüdungsversuch mit 2,0 Mio. Lastspielen in Schwellenmitte in Anlehnung an die DIN EN 13230-4 wurde durchgeführt. Die Last wurde zunächst bis 65 kN aufgebracht. Anschließend erfolgte der Ermüdungsversuch mit folgenden Randbedingungen: Oberlast P_o = 65 kN, Unterlast P_u = 17 kN, Frequenz f = 3 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 ≥ 200 km/h. Während der Ermüdungsprüfung mit 2,0 Mio. Lastspielen konnte keine Beschädigung an der Schwelle festgestellt werden. Die elastische Durchbiegung nach 2,0 Mio. Lastspielen war nur um 0,25 mm größer als zu Versuchsbeginn. Weiterhin war erkennbar, dass während des gesamten Dauerversuchs die Verformungen nahezu konstant verliefen, d. h. es traten keine Ermüdungserscheinungen auf.

TABELLE 3: Ausziehkraft Schwellenschrauben

Schwellenschraube Ss8, Bohrlochdurchmesser 19 mm	
Bohrloch Nr.	max. Ausziehkraft [kN]
1	55,0
2	59,7
3	54,5
4	58,1
Mittelwert	56,8
Schwellenschraube Ss8, Bohrlochdurchmesser 20 mm, Stahlbohrer	
1	53,0
2	56,6
3	49,4
4	51,9
Mittelwert	52,7
Schwellenschraube Ss8, Bohrlochdurchmesser 20 mm, Holzbohrer	
1	44,6
2	51,6
3	48,2
4	53,9
Mittelwert	49,6

ERMÜDUNGSPRÜFUNG UNTER DEM SCHIENENAUFLAGER (SCHWELLENHÖHE 120 mm)

Die Ermüdungs-Druckprüfung unter dem Schienenauflager erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 13230-2 (Spannbetonschwellen). Im ersten Dauerversuch erfolgte die Lasteinleitung über eine Rippenplatte mit den Abmessungen 160 mm x 370 mm. 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 x 150 kN = 180 kN aufgebracht. Nach dem Dauerversuch wurde die statische Last auf 2 x 150 kN = 300 kN erhöht. 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 war als bei der Schwelle mit Bauhöhe 160 mm.

Während der Ermüdungsprüfung mit 2 Mio. Lastspielen konnten keine Beschädigungen an der Schwelle festgestellt werden. An der Oberseite der Schwelle (unter der Rippenplatte) wurden plastische Verformungen der Oberfläche von ca. 0,85 mm registriert. Darüber hinaus konnte keine Schädigung festgestellt werden.

Unter Verwendung der Rippenplatte Rph 1 mit den Abmessungen 160 mm x 345 mm wurde die Ermüdungsprüfung unter dem Schienenauflager an zwei weiteren Schwellen (Höhe 120 mm) durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Zwischenplatte aus Kunststoff 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. Unter einer Last von 150 kN wurde 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. Mit Ausnahme von plastischen Verformungen unter den Schienenauflagern konnten an den Schwellen keine Beschädigungen festgestellt werden.

AUSZIEHVERSUCHE
(SCHWELLENHÖHE 120 mm)

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. Die Last wurde kontinuierlich bis zum Auszug der Schraube gesteigert (Tabelle 3).

Demnach liegt bei der Schwellenschraube Ss 8-140 eine Ausziehkraft von i. M. 57 kN (Standardbohrlochdurchmesser 19 mm) bzw. von i. M. 51 kN (Bohrlochdurchmesser 20 mm) vor. Bei früheren Ausziehversuchen an Schwellenschrauben aus Holzschwellen wurden Ausziehkräfte von ca. 35 kN er- »

BILD 4: Bauhöhe 10 cm | Bochum | Bogestra | 2012

Jetzt schalten!

Ihr Ansprechpartner für Werbung
Tim Feindt • 040/23 714-220 • tim.feindt@dvvmedia.com

ETR
EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU

Nr. 9/14

- Großes Messeheft zur 10. InnoTrans mit Ausstellervorbericht
- Erschütterungsschutz
- Effektive Fahrweginfrastruktur und -technik
- Bettungsreinigung
- Schienenbefestigungssysteme
- Innovationen bei Fahrzeugen und Komponenten sowie in der Instandhaltung
- IT für Bahnen
- mit ETR-Austria 3/14 und ETR Swiss 2/14

Erscheinungstermin: **05. Sept. 2014**
Anzeigenschluss: **11. Aug. 2014**
Druckunterlagenschluss: **18. Aug. 2014**

Nr. 10/14

- Fahrzeuginstandhaltungs- und Behandlungsanlagen
- 20 Jahre Bahnumweltzentrum
- Schottergleisforschung
- Hybrid Triebwagen
- Stellwerksenergieversorgung

Erscheinungstermin: **07. Okt. 2014**
Anzeigenschluss: **11. Sept. 2014**
Druckunterlagenschluss: **18. Sept. 2014**

InnoTrans
Nicht vergessen:
Ihre Werbung zur
InnoTrans 2014

DVV Media Group
Eurailpress

BILD 5: Bauhöhe 10 cm | Tunnel U1 Stephansplatz | Wiener Linien | 2009

BILD 6: Bauhöhe 12 cm | Feldwegüberführung | Südostbayern Bahn

reicht (s. Forschungsbericht Nr. 1687 vom 30.06.1997 [2]).

ANWENDUNGEN FFU 10 cm UND 12 cm BAUHÖHE

10 cm BAUHÖHE

In Europa bauen die Wiener Linien laufend Schwellen aus FFU mit einer Bauhöhe von 10 cm ein. Die Fahrbahn der Straßenbahn Linie 31 über die Donau, auf der Floridsdorferbrücke, besteht aus FFU Schwellen, Bauhöhe 10 cm, mit direkter Befestigung. Hier wurden in Summe 1600 m Gleis mit FFU errichtet.

In Deutschland baute die Bogestra im Jahre 2012 eine Weiche mit 10 cm hohen Kunstholzschwellen in Schotterfahrbahn ein (Bild 4).

12 cm BAUHÖHE

Die Südostbayern Bahn hat diese an Überführungen von Güterwegen und Straßen eingebaut (Bild 6). Im Bereich Hannover (Bild 7) wurden die Schwellen mit einer Bauhöhe von 12 cm auf einer Trasse mit 100 000 Lasttonnen je Tag eingesetzt und nach 1,5 Jahren wurde schriftlich festgestellt, dass die Schwellen die Erwartungen

BILD 7: Bauhöhe 12 cm | Hannover | DB AG

BILD 8: Bauhöhe 12 cm | Feldwegüberführung | Tavanasa | RHB | 2014

und die Anforderungen des Betreibers vollkommen erfüllen.

In der Schweiz wurden die ersten 12 cm hohen Schwellen von der Rhätischen Bahn an einer Feldwegüberführung in Tavanasa (Bild 8) im Jahr 2014 eingebaut. Dies nachdem das BAV (Bundesamt für Verkehr) im Januar 2014 den Einsatz von FFU Kunstholz ab einer Bauhöhe von 12 cm als auch in Tunneln, wo Holzschwellen eingesetzt sind, zur Betriebserprobung genehmigt hat.

ZUSAMMENFASSUNG

FFU Kunstholz wurde 1980 entwickelt und ist seit 1985 als Standardschwelle bei den Japanischen Eisenbahnen im Einsatz. 2004 wurde das erste Projekt in Europa mit FFU ausgerüstet. 2009 erteilte das EBA (Eisenbahn-Bundesamt) und 2014 das BAV in der Schweiz die Zulassung zur Betriebserprobung. 2011 hat die Deutsche Bahn das erste Projekt umgesetzt. 2012 folgte Holland, 2014 die Schweiz, England und Ungarn.

Nach Rücksprache mit dem deutschen EBA und der DB wurden durch die TU München die dünnste Kunstholzschwelle mit 10 cm und 12 cm Bauhöhe untersucht.

Anhand der gemessenen Verformungen unter Maximallast ist es empfehlenswert für Achslasten von 22,5 t (Vollbahn) und Zuggeschwindigkeiten v < 200 km/h Kunstholzschwellen mit einer Höhe ≥ 120 mm im Gleis einzubauen.

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 Kunstholzschwelle wurde ein höherer Wert als bei früheren Versuchen an Holzschwellen (35 kN) registriert.

Schwellen mit einer Bauhöhe von 12 cm bieten dem Betreiber die Optimierung der Schotterhöhe im Bereich von Zwangspunkten und hiermit einhergehend die Reduktion der Erhaltungskosten auf ein Minimum. ◀

Literatur

[1] Freudenstein S., Maleki N., Simon. C.: Forschungsbericht Nr. 2466 des Prüfamtes für Verkehrswegebau der TU München vom 19.09.2008, nicht veröffentlicht.

[2] Leykauf G., Maleki N.: Forschungsbericht Nr. 1687 des Prüfamtes für Verkehrswegebau der TU München vom 30.06.1997, nicht veröffentlicht.

[3] Forschungsbericht Nr. 3017 des Prüfamtes für Verkehrswegebau der TU München vom 08.07.2013, Untersuchungen an FFU-Kunstholzschwellen mit 100 mm bzw. 120 mm Höhe

▶ SUMMARY

The world's thinnest artificial-timber sleeper – test report from the Munich University of Technology

The Institute of Railway Construction at the Munich University of Technology has issued a positive test report on the world's thinnest (at the time, i.e. in 2013) "composite artificial-timber sleeper", which has a height of only 12 cm and can be used for heavy rail (22.5 t) at speeds of up to 200 km/h. Deutsche Bahn too has already reported positive experience with the sleeper on lines carrying loads of up to 100000 tonnes per day.