

Parameterstudie an Spannbetonschwellen des Typs B70

Untersuchung des Einflusses des Spannstahldurchmessers sowie des Auslastungsgrades des Spannstahls auf die Tragfähigkeit

DAVID HOFFMANN | STEPHAN FREUDENSTEIN |
MARIAN SÁNCHEZ PÉREZ

Für die Produktion von Spannbetonschwellen des Typs B70 für die DB Netz AG existieren exakte Vorgaben zur geometrischen Gestaltung

sowie zur erforderlichen Vorspannkraft. Im Rahmen einer Parameterstudie wurden die Auswirkungen des Spannstahldurchmessers, der sich daraus ergebenden Spannstahloberfläche sowie des Auslastungsgrades des Spannstahls auf die Tragfähigkeit der Schwellen untersucht. Zur Quantifizierung der Auswirkungen wurden statische und dynamische Prüfungen an insgesamt 28 Schwellen in Kombination der zuvor genannten Faktoren durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst Schwellen mit 75% der derzeit geforderten Vorspannkraft die Prüfanforderungen aus den aktuellen deutschen Standards erfüllen.

Motivation

Die Herstellung von Spannbetonschwellen für den Einsatz im deutschen Eisenbahnnetz unterliegt klaren Vorgaben. Den Rahmen hierfür bilden zum einen

die Regelungen auf europäischer Ebene, welche durch die Normen der Reihe DIN EN 13230 definiert werden. Zum anderen existieren Technische Lieferbedingungen der DB Netz in Form des DBS 918 143 (2015) [1], mittels derer die unternehmensbezogenen, nationalen Parameter definiert werden. Für den deutschen Standard-Schwellentyp B70 sind damit die Geometrie, die Materialparameter für die Schwellenherstellung sowie die aufzubringende, anfängliche Vorspannkraft klar geregelt. Spielraum für die Schwellenhersteller ergibt sich im Rahmen der Auswahl des Produktionsverfahrens, des Verfahrens zur Aufbringung der Vorspannkraft, des Spannstahldurchmessers und der Anzahl der Spannstähle sowie der Betonrezeptur.

Trotz der exakten Vorgaben für die Schwellenherstellung, welche in den vergangenen Jahren nur geringfügig angepasst wurden, sind ca. 2% der rund 80 Mio. Schwellen im Netz der DB schadhaft. Von besagten Schadschwellen entfallen etwa 1,4 Mio. auf Gleisschwellen aus Beton. Die häufigste Schadensart stellen hierbei Längsrisse mit ca. 74% der festgestellten Schäden dar [2] (Abb. 1). Ein solches Schadensbild ist überwiegend an Schwellen festzustellen, welche im Späteschalverfahren mit direktem Verbund hergestellt wurden. An im Sofortentschalverfahren hergestellten Schwellen oder Schwellen mit Endverankerung sind derartige Schäden kaum bekannt [3]. Eine der möglichen Ursachen für die Entstehung von Längsrisse an spätentschalteten, im Verbund hergestellten Schwellen sind verfahrensbedingt auftretende Querspannungen, deren Auswirkungen aufgrund verschiedener produktionstechnischer Parameter variieren können.

Aufgrund der Freiheit in der Entscheidung bezüglich der Auswahl des Spannstahldurchmessers sollte im Rahmen einer Parameterstudie versuchstechnisch untersucht werden, welchen Einfluss eine Vergrößerung des Spannstahldurchmessers von 9,5 mm auf 10,5 mm auf die Tragfähigkeit einer B70-Schwelle ausübt. In direktem Zusammenhang mit der Vergrößerung des Spannstahldurchmessers steht die Vergrößerung der mit dem Beton in Verbindung stehenden Spannstahloberfläche. Unter Beibehaltung der vorgegebenen Vorspannkraft sinkt hierbei die Zugspannung, d.h. die Auslastung



Abb. 1: Längsrissegeschädigte Spannbetonschwelle

Anzahl Schwellen	Spannstahldurchmesser	Vorspannkraft
4	9,5 mm	320 kN
4	9,5 mm	240 kN
4	9,5 mm	160 kN
4	10,5 mm	320 kN
4	10,5 mm	240 kN
4	10,5 mm	160 kN
4	10,5 mm	391 kN

Tab. 1: Typen der Versuchsschwellen

des Spannstahls. Eine Reduktion der Spannstahlauslastung besteht jedoch nur dann, wenn keine Veränderung an der Anzahl der Spannstähle vorgenommen wird. Die Vergrößerung des Durchmessers birgt grundsätzlich die Möglichkeit, die Vorspannung mit weniger Spanngliedern auf den Schwellenquerschnitt zu übertragen. Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte kann ein Einsatz einer geringeren Zahl von Spannstählen, dafür aber mit größerem Durchmesser, von Vorteil sein. Prinzipiell ist jedoch festzuhalten, dass unter Betrachtung technischer Gesichtspunkte eine größere Anzahl an Spanngliedern kleineren Durchmessers aufgrund der optimierten Verteilung der Vorspannung auf den Gesamtquerschnitt zu bevorzugen ist.

Neben der Variation des Spannstahldurchmessers sollte eine Untersuchung der Tragfähigkeitsreserven sowie der Leistungsfähigkeit der Schwellen bei Anpassung des Auslastungsgrades des Spannstahls erfolgen. Als Ausgangswert wurde hierbei die standardmäßige Vorspannkraft V_0 von 320 kN (100 %) gemäß [1], Anhang A, definiert. Bezogen auf den Querschnitt einer B70 in Schwellenmitte mit einer Querschnittsfläche von 32375 mm² resultieren Druckspannungen in Höhe von 9,9 N/mm². Neben Schwellen dieses Vorspannungsniveaus sollten auch solche mit einer Vorspannkraft von 240 kN (75 % V_0 ; 7,4 N/mm²) sowie 160 kN (50 % V_0 ; 4,9 N/mm²) untersucht werden. Für einen Teil der Schwellen mit 10,5 mm Spannstahldurchmesser wurde darüber hinaus die Aufbringung einer Vorspannkraft von 391 kN definiert. Bei diesem Wert ergibt sich derselbe Auslastungsgrad des Spannstahls wie bei dem Ausgangsdurchmesser bei Aufbringung einer Vorspannkraft von 320 kN. Aufgrund dieser erhöhten Vorspannkraft vergrößern sich die auf den Mittenquerschnitt wirkenden Druckspannungen, welche sich in diesem Fall auf 12,1 N/mm² belaufen.

Eine Beeinflussung der Schwelleneigenschaften ist grundsätzlich auch auf Basis der Betonrezeptur und der mit dieser in Zusammenhang stehenden Betonfestigkeit zu erreichen. Zum einen spielt hierbei die Festigkeitsentwicklung eine Rolle, welche wiederum Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Schwellenproduktion hat. Ein Beton mit schnellerer Festigkeitsentwicklung ermöglicht eine frühere Übertragung der Vorspannkraft sowie eine kürzere Verweildauer der Schwelle in der Schalung und dementsprechend einen reduzierten Bedarf an Schwellenformen. Zum anderen steht die Biegezugfestigkeit des Betons in direktem Zusammenhang mit der Tragfähigkeit der Schwelle. Die für die



Abb. 2: Versuchsaufbau mit einer Schwelle nach Abschluss der Untersuchung

20. Vermessungs- technische Fachtagung – für den genauesten Fahrweg der Welt

18. September 2019

Ort: Hotel Essential by Dorint Stuttgart Airport
Heilbronner Straße 15–17
70771 Leinfelden-Echterdingen

Zum wirtschaftlichen Betrieb von Eisenbahnverkehrsanlagen ist die genaue Kenntnis der Infrastrukturlage und deren Veränderung unter dem Einfluss des Eisenbahnbetriebes und anderer Einwirkungen über die Zeit von entscheidender Bedeutung. Die Beherrschung der Prozesse bei der Gewinnung, Verarbeitung, Bereitstellung und Verwaltung der Infrastrukturdaten macht eine termingerechte Instandhaltung bzw. Errichtung erst möglich. Im Mittelpunkt steht in diesem Jahr die Genauigkeit sowohl bei der Gewinnung als auch bei der Verarbeitung dieser Daten.

Die Fachtagung thematisiert die neusten Vermessungsmethoden und Datenbanken und zeigt aktuelle Beispiele aus der Praxis für Kontrollmessungen im Rahmen von Infrastrukturinvestitionen.

Die Fachtagung findet alle zwei Jahre während der INTERGEO statt.

Alle Teilnehmer bekommen bei Bedarf ein Eintrittsticket zur INTERGEO!

Programm:

- Begrüßung & Eröffnung
- Stuttgart21 – Bestandsdaten zur Unterstützung der Öffentlichkeitsarbeit
- Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung der Pilotprojekte der DB Netz AG
- Ablösung DB GIS – AVANI, das neue GIS der DB
- Mittagspause mit Imbiss
- Bestandspläne 4.0 – Die Digitalisierungsoffensive für Bestandspläne der DB AG
- Abschlussdiskussion: BIM – GIS – Bestandsplan 4.0 – Wie spielen die unterschiedlichen Informationssysteme bei der DB AG zusammen?
- ca. 13:30 Uhr Ende der Veranstaltung und optionaler Besuch der INTERGEO

Mitarbeiter der Deutschen Bahn AG können sich direkt bei DB Training unter der Produktnummer Hk5065 anmelden.

Weitere Informationen zu allen Veranstaltungen und die Anmeldeunterlagen finden Sie unter:

> www.vdei-akademie.de

Bemessung von Spannbetonschwellen nach [4], Abschnitt A.4.1, empfohlenen Werte der Biegezugfestigkeit ($5,5 \text{ N/mm}^2$) sowie der Dauerbiegezugfestigkeit ($3,0 \text{ N/mm}^2$) eines Betons der Festigkeitsklasse C50/60 entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der in der Schwellenherstellung verwendeten Betone. Grundsätzlich ist jedoch mittels Erhöhung der Biegezugfestigkeit des Betons eine Tragfähigkeitserhöhung der Schwelle zu erreichen. Eine Untersuchung des Einflusses der Biegezugfestigkeit auf die Schwellentragfähigkeit war jedoch nicht Teil der Untersuchungen dieser Studie.

Die Parameterstudie wurde in Kooperation des Prüfamtes für Verkehrswegebau der TU München und der PCM Rail.One AG durchgeführt. Die Herstellung der Versuchsschwellen erfolgte hierbei im Späntenschalverfahren. Die Bewehrung der Schwellen wurde jeweils mit vier sonderprofilierten Drähten der Stahlsorte Y1570C (Festigkeit 1570 MPa) und der Durchmesser $9,5 \text{ mm}$ und $10,5 \text{ mm}$ ausgeführt. Für die Untersuchungen wurden je Typ vier Schwellen hergestellt. Tab. 1 zeigt eine Übersicht der Kombinationen der Spannstahldurchmesser und der aufbrachten Vorspannkräfte der Versuchsschwellen.

Versuchsprogramm

Zur Untersuchung der vorgenannten Aspekte wurden Versuchskonzepte herangezogen, welche üblicherweise im Rahmen von Zulassungsprüfungen an Spannbetonschwellen angewandt werden. Ausgewählt wurden hierbei die Versuche der statischen sowie der dynamischen Prüfung am Schienenaufleger (positives Biegemoment), wie sie durch die DIN EN 13230-2:2016: „Spannbeton-Monoblockschwellen“ [5] definiert sind. In diesem Rahmen erfolgte die Durchführung von je zwei Prüfungen pro Versuchs- und Schwellentyp. Die Prüfparameter wurden entsprechend den Vorgaben des DBS 918 143 [1] übernommen, um eine vergleichbare Basis mit den üblicherweise an Spannbetonschwellen des Typs B70 durchzuführenden Prüfungen zu schaffen.

Dementsprechend wurden die Versuche mit einem Auflagerabstand L , von 600 mm aufgebaut (Abb. 2). Abb. 3 zeigt den durch [5], Abschnitt 4.2.1, definierten Versuchsaufbau. Des Weiteren erfolgte die Berechnung der anfänglichen Prüflast von 128 kN anhand der Vorgabe nach [1], Abschnitt 6.1.1. Beginnend mit dieser Belastung, wurden die Schwellen auf die relevanten Kriterien des ersten Risses, eines verbleibenden Risses mit einer Breite von $0,05 \text{ mm}$ sowie das Versagen hin untersucht. Dies erfolgte für die statischen Versuche mittels einer stufenweisen Steigerung der Belastung um je 10 kN und einer Rissuntersuchung der Schwellen im belasteten Zustand sowie in der an jede Laststufe anschließenden Phase der Entlastung (Abb. 4). Im Rahmen der dyna-

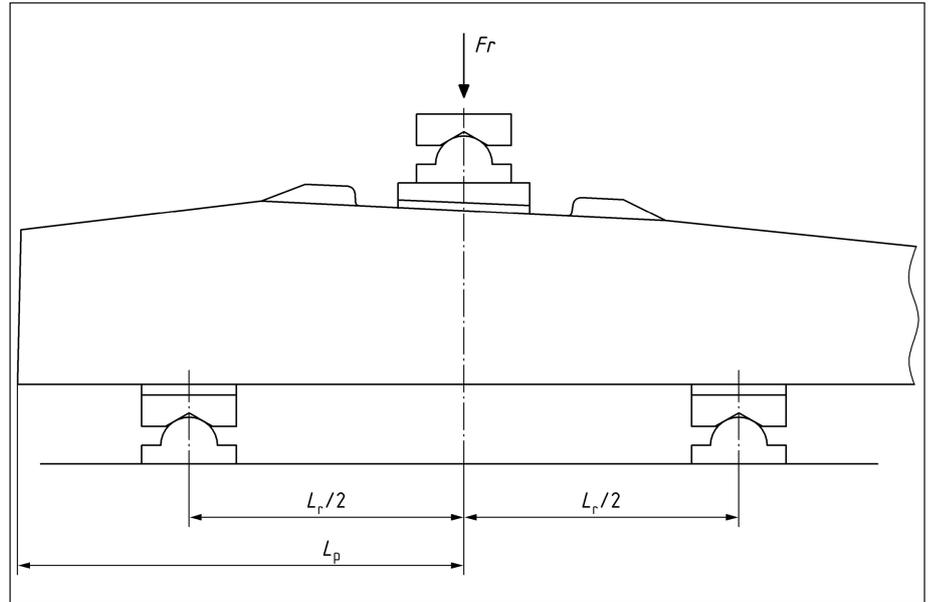


Abb. 3: Versuchsanordnung für die Prüfung von Gleisschwellen am Schienenaufleger [5]

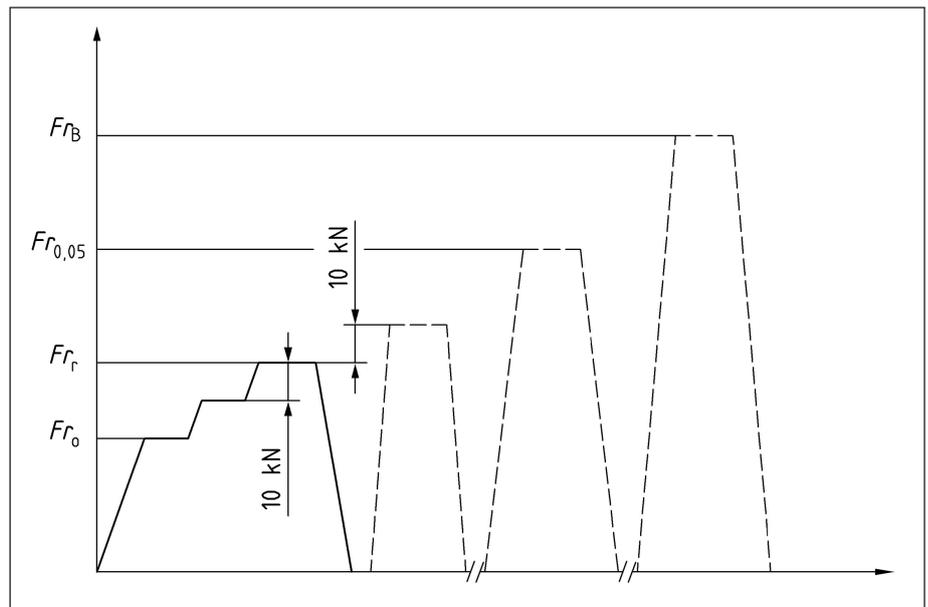


Abb. 4: Versuchsablauf für die statische Prüfung am Schienenaufleger [5]

ATLAS HANNOVER

**Zweiwegebagger
Atlas AB 1604 ZW**



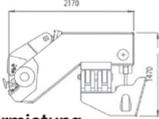
- junge Maschinen
- viele Anbaugeräte
z.B. Hammer, Schwellenfach-, Sortiergreifer ...
- regelmäßig gewartet
- Bahnabnahme
- Rückfahrkamera
- Zusatzkreislauf Stopfgerät

Schienenscheren

MFSRC-240
bis $52 \text{ kg/mtr. Schiene}$
Gewicht: 2.500 kg
Trägergerät ab 19 to.



ATLAS HANNOVER Baumaschinen GmbH & Co.
Bremer Straße 6
30880 Laatzen
Tel.: 05102/7004-32
Fax: 05102/7004-44
Ansprechpartner: Erik Manowski
E-Mail: manowski@atlas.hannover.de



**Vermietung,
Verkauf und Service**

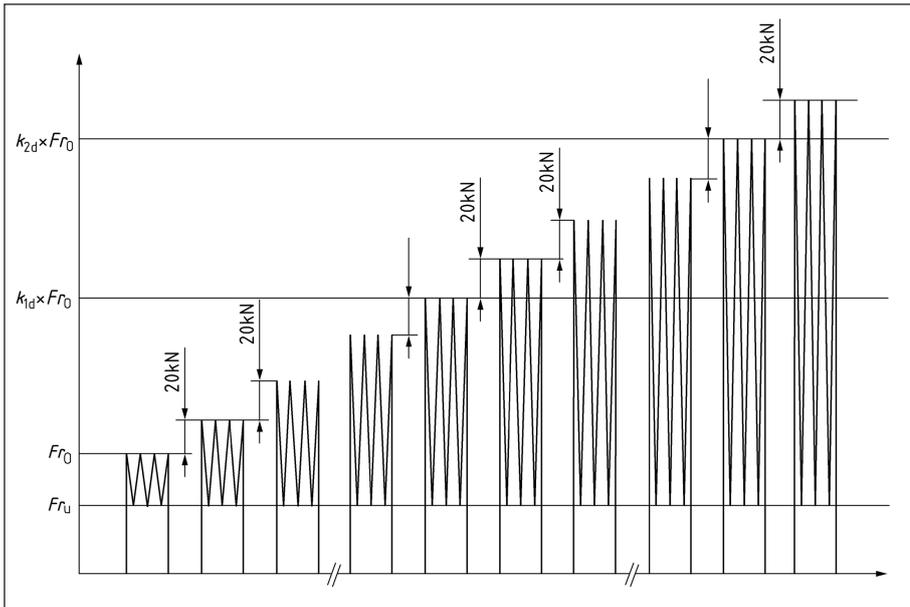


Abb. 5: Versuchsablauf für die dynamische Prüfung am Schienenaufleger [5]

mischen Prüfungen wurden die Schwellen mit 5000 Lastwechseln je Stufe, mit einer Lastamplitude zwischen 50 kN und einer der Laststufe entsprechenden Oberlast beansprucht. Die Festlegung der jeweiligen Oberlast erfolgte, nach Aufbringung der

zuvor genannten Anfangslast in der ersten Stufe, durch Steigerung dieser um je 20 kN oder ein geringeres Maß, um die Anforderungslaststufen (bleibender Riss bzw. Versagen) exakt zu erreichen (Abb. 5). Auch hierbei wurde das zuvor beschriebene Vorgehen bei der Rissaufnahme an den Schwellen angewandt.

Ergebnisse der Parameterstudie

Die Abb. 6 und 7 stellen jeweils eine grafische Aufbereitung der Ergebnisse der statischen sowie der dynamischen Prüfungen in Gegenüberstellung mit den Anforderungen dar. Hierbei ist der Beschriftung der Balken der Spannstahldurchmesser, die anfängliche Vorspannkraft sowie die Probennummer des Schwellentyps für den entsprechenden Versuch zu entnehmen. Die Beschriftung 10,5-240-2 in der Abb. 6 bezeichnet somit die zweite statisch geprüfte Schwelle mit Spannstählen des Durchmessers 10,5 mm und einer Vorspannkraft von 240 kN. Unterteilt wurden die Balken entsprechend der erreichten Lasten, welche zur Erzeugung des ersten Risses, zur Erzeugung eines verbleibenden Risses mit einer Breite von 0,05 mm sowie zum Versagen der Schwelle geführt haben. Abb. 7 weist keinen Anforderungswert für den Anriss der Schwellen auf, da dieser gemäß [5] nicht gefordert ist.

Im Rahmen der statischen und dynamischen Versuche am Schienenaufleger konnten zwischen den Schwellen mit verschiedenen Spannstahldurchmessern und gleichen Vorspannungsniveaus nur geringfügige Unterschiede in Bezug auf die Lasten, welche zur Erzeugung des Anrisses und eines verbleibenden Risses mit einer Breite von 0,05 mm notwendig waren, festgestellt werden. Bei den statischen Versuchen lagen jedoch die Bruchlasten der Schwellen mit Spannstählen des Durchmessers 10,5 mm leicht oberhalb derer der Schwellen mit 9,5 mm Spannstahldurchmesser.

Erwartungsgemäß wurden bei den statischen und dynamischen Prüfungen der Schwellen mit Spannstahldurchmesser 10,5 mm und einer anfänglichen Vorspannkraft von 391 kN die maximalen Lasten, bezogen auf die drei Bewertungskriterien Anriss, bleibender Riss und Versagen festgestellt. Darüber hinaus zeigte sich die ebenso mit abnehmender Vorspannkraft anzunehmende Tendenz geringerer aufnehmbarer Lasten bei den relevanten Rissstufen.

Des Weiteren verdeutlichen die bei den statischen und dynamischen Versuchen am Schienenaufleger erzielten Ergebnisse, dass eine reduzierte anfängliche Vorspannkraft von 240 kN (75 % V_0) zur sicheren Erfüllung der Anforderungen nach [5] bzw. [1] ausreicht. Die Schwellen mit 160 kN (50 % V_0) Vorspannung genügten zwar den Anforderungen in Bezug auf die dynamische

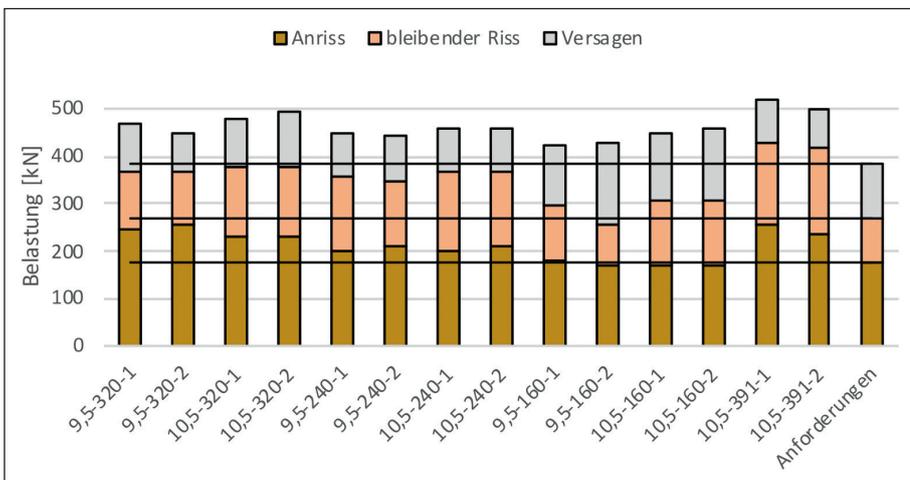


Abb. 6: Ergebnisse der statischen Prüfungen am Schienenaufleger

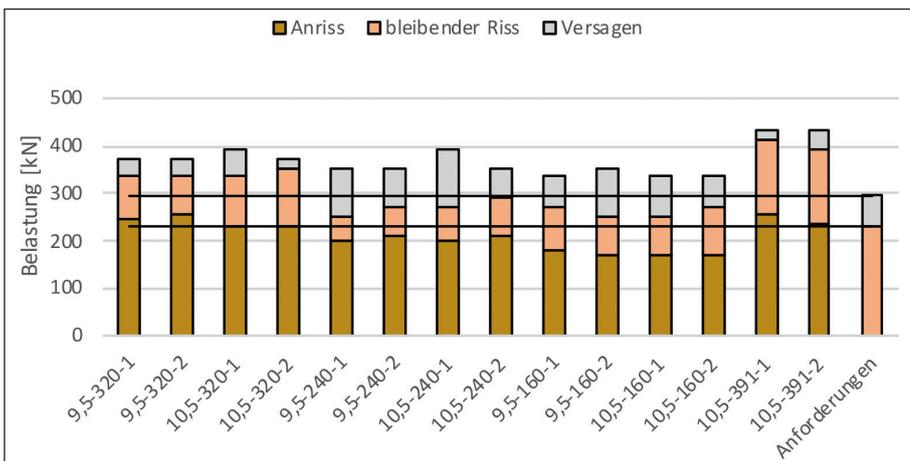


Abb. 7: Ergebnisse der dynamischen Prüfungen am Schienenaufleger

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für TU München / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt von DW Media Group, 2019

Prüfung am Schienenaufleger, nicht jedoch denen der statischen Prüfung am Schienenauflager.

Zusammenfassung

Im Zuge einer Parameterstudie wurden die Auswirkungen des Spannstahldurchmessers, der sich daraus ergebenden Spannstahl-oberfläche sowie des Auslastungsgrades des Spannstahls auf die Tragfähigkeit von Schwellen des Typs B70 untersucht. Von Seiten der DB Netz existieren exakte Vorgaben zur Produktion dieses Schwellentyps, welche lediglich Variationen der vorgenannten Parameter sowie der Betonrezeptur zulassen. Zur Quantifizierung der Auswirkungen wurden statische und dynamische Prüfungen an insgesamt 28 Schwellen in Kombination der genannten Faktoren durchgeführt.

Anhand der in der Versuchsreihe erzielten Ergebnisse ist festzuhalten, dass eine Vergrößerung des Spannstahldurchmessers von 9,5 mm auf 10,5 mm sowie die damit verbundene Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Spannstahl und Beton keine

signifikanten Unterschiede bezüglich der Tragfähigkeit der Schwellen zur Folge hatte. Dementsprechend ist für die untersuchte Variante der Bewehrung der Schwellen mit vier Drähten ein Durchmesser von 9,5 mm ausreichend. Prinzipiell ist der technische Vorteil der Schwellenbewehrung mit mehreren Drähten kleineren Durchmessers, im Vergleich zu wenigen Drähten mit größerem Durchmesser, durch eine verbesserte Verteilung der Vorspannung auf den Gesamtquerschnitt hervorzuheben. Im Rahmen einer laufenden Produktion ist dieser, durch den Bedarf entsprechender Schalungen und Spannautomaten, jedoch nicht ohne weiteres nutzbar.

Durch Aufbringung einer Vorspannkraft von 391 kN auf einen Teil der untersuchten Schwellen konnten an diesen die maximalen Lasten, welche für die Erzeugung der relevanten Risse sowie das Versagen ursächlich waren, ermittelt werden. Demgegenüber stehen jedoch infolge der Vorspannung resultierende, hohe Druckspannungen auf den Schwellenquerschnitt. Neben diesen Ergeb-

nissen an Schwellen erhöhter Vorspannung hat die Untersuchung von Schwellen mit einer reduzierten Vorspannkraft von 240 kN gezeigt, dass auch ein derartiges Vorspannungsniveau zur sicheren Erfüllung der Anforderungen ausreicht. Ein positiver Sekundäreffekt der reduzierten Vorspannung ist die geringere Querbeanspruchung einer im Verbund hergestellten Schwelle, insbesondere im Einleitungsbereich, was zu einer Reduktion der Auftretenswahrscheinlichkeit von Längsrisen führt. ■

QUELLEN

- [1] DBS 918 143:2015-05, Gleis- und Weichenschwellen aus Beton für Schotteroberbau (SchO) und Feste Fahrbahn (FF)
- [2] Hentschel, V.: Fahrwegstrategie der DB Netz AG – Anlagenverfügbarkeit im Lebenszyklus. Symposium „Lebenszyklus System Betonschwelle 2017“, Betonschwellenindustrie e.V., Berlin, 2017
- [3] Haban, F.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Spannbetonschwellen. Mitteilungen des Prüfamtes für Verkehrswegebau der Technischen Universität München, Heft 91, 2016
- [4] DIN EN 13230-6:2016-01, Bahnanwendungen – Oberbau – Gleis- und Weichenschwellen aus Beton – Teil 6: Bemessung (prEN 13230-6:2015)
- [5] DIN EN 13230-2:2016-11, Bahnanwendungen – Oberbau – Gleis- und Weichenschwellen aus Beton – Teil 2: Spannbeton-Monoblockschwellen (EN 13230-2:2016)



David Hoffmann, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Prüfamt für Verkehrswegebau
der TU München
david.hoffmann@tum.de



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein

Ordinarius und Direktor des Prüfamtes
für Verkehrswegebau der TU München
stephan.freudenstein@tum.de



Marian Sánchez Pérez, M.Sc.

Segment Manager Engineering
PCM Rail.One AG, Neumarkt i.d.OPf.
marian.sanchez@railone.com

SOLUTIONS YOUR WAY.

RAIL.ONE 

UNSER KLASSIKER: B 70 LANGLEBIG UND BELASTBAR

Hochwertige Betonschwellen bieten weltweit nach wie vor die Grundlage des modernen Gleisbaus. Die B 70 überzeugt vor allem durch ihre Langlebig- und Belastbarkeit. Auch bei hoher Betriebsbeanspruchung bietet sie eine voll leistungsfähige und verlässliche Lösung. www.railone.com

