

Betonschwellen mit elastischer Sohle

Erfahrungen und Erkenntnisse mit einem neuen Bauteil

Der moderne Schotteroberbau wird charakterisiert durch eine zunehmende Spezialisierung und Einführung neuer Komponenten. Eine neuartige innovative Lösung ist die elastische Schwellensohle unter Betonschwellen. Sie schont den Schotter und die übrigen Gleiskomponenten.

Die im Beitrag vorgestellten ersten Erfahrungen sowie Mess- und Rechenergebnisse lassen einen instandhaltungsarmen Oberbau auch für höhere Fahrgeschwindigkeiten erwarten.

Dr.-Ing.
 Frank H. Müller-Boruttau

Inhaber und Leiter des Ingenieurbüros imb-dynamik für Schienenverkehrswege, Bau- und Strukturtechnik. Sachverständiger für Oberbau und Baudynamik. –

Anschrift: imb-dynamik, Breitbrunner Str. 5, D-82266 Inning.

E-Mail: imb-dynamik@-online.de



1 Einführung

Gleise mit Schotterbettung stellen bei weitem den größten Anteil am Streckennetz der DB AG. Der derzeitige Betonschwellen-Schotteroberbau hat neben seinen hauptsächlichsten Vorteilen, z. B.

- ▷ kostengünstige und einfache Herstellung,
- ▷ großer Korrekturbereich,
- ▷ einfache Korrekturmöglichkeiten (z. B. durch Stopfen/Richten), und
- ▷ hoher Querverschiebewiderstand (maßgebend für Sicherheit gegen Gleisverwerfung)

auch *Nachteile*:

- ▷ harter Kontakt zwischen Betonschwelle und Schotter,
- ▷ Empfindlichkeit gegenüber Inhomogenitäten,
- ▷ geringe wirksame Auflagerfläche, und
- ▷ relativ hohe Schotterbeanspruchung bei hartem Unterbau.

Dies führt zu Schotterverschleiß, Schwellenhohllagen und Bildung von Gleislagfehlern. Damit werden Instandsetzungsarbeiten (Stopfen usw.) erforderlich, die die Verfügbarkeit des Gleises beschränken und die Lebenszykluskosten des Gleises erhöhen.

Daraus ergab sich die Anforderung, bei Erhalt der Vorteile die Nachteile möglichst zu beseitigen. Hierfür erschien die

Ausstattung der Betonschwellen mit elastischen Sohlen als geeignete Lösung. Ihre Entwicklung wird seit 1996 von der DB AG schrittweise betrieben [1].

Elastische Schwellensohlen wirken prinzipiell mehrfach:

- ▷ Sie beseitigen den harten Kontakt zwischen Betonschwellensohle und Schotter.
- ▷ Das Aufsetzen der Schwellen erfolgt nicht mehr schlagartig, sondern verhältnismäßig weich.
- ▷ Die wirksame Auflagerfläche im Schotter vergrößert sich.
- ▷ Die Schotterpressungen werden verringert und gleichmäßiger.
- ▷ Die Nachgiebigkeit des Oberbaus erhöht sich insgesamt. Dadurch verringern sich die Stützpunktkräfte, und damit auch die Schotterpressungen.

Der Schotter wird folglich insgesamt schonender beansprucht als bei herkömmlichen Betonschwellen.

Es wurden unterschiedliche Varianten im Gleis eingebaut, durch Messungen in situ und im Labor begleitet, und — wie bei umfassenden Fragestellungen unabdingbar — durch theoretische Untersuchungen verschiedene Kombinationsmöglichkeiten auf ihre Brauchbarkeit geprüft. Berechnungen mit dem imb-dynamik-Rechenmodell iSi [2, 3, 4] sowie Berechnungen des Forschungs- und Technologiezentrums der DB AG [1] zeigten, dass besohlte Betonschwellen die oben genannten Nachteile des Be-

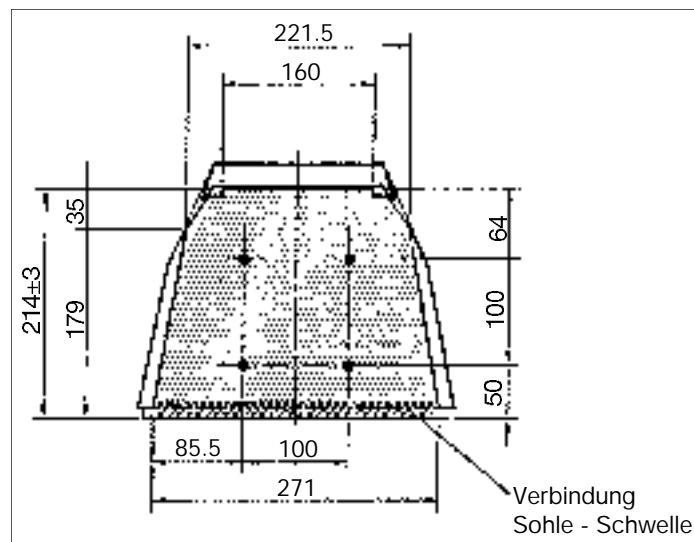


Bild 1: Besohlte Betonschwelle B 70, Querschnitt

(Quelle: Fa. Pfeleiderer [10])

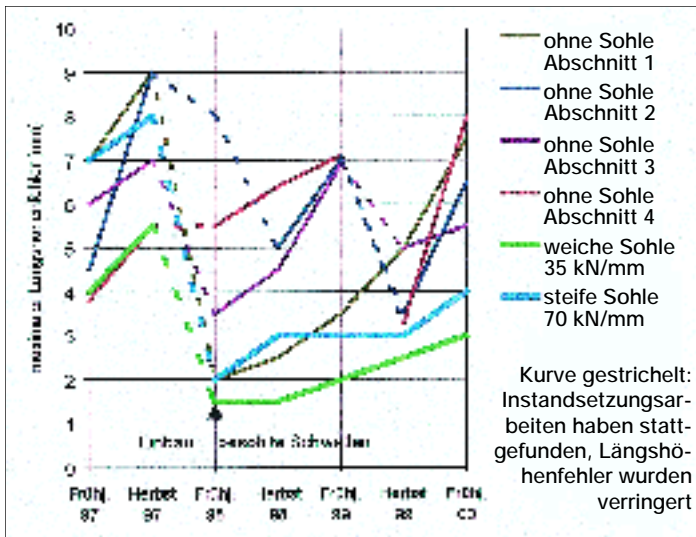


Bild 2: Längshöhenfehlerentwicklung
 (Quelle: DB AG [1])

tonschwelen-Schotteroberbaus in weitem Maße ausgleichen können.

Anliegen der Autoren ist es, die interessierte Fachwelt über erste Ergebnisse zeitnah zu informieren. Da Schwellen mit elastischer Sohle bisher jedoch auf nur relativ wenigen und kurzen Gleisabschnitten zur Erprobung eingebaut wurden, können die vorgestellten ersten Ergebnisse noch keinen Anspruch auf umfassende Absicherung erheben. Als Erstinformation zu Größenordnungen und erwarteten Trends sind sie jedoch durchaus geeignet. Insofern sind besohlte Schwellen weiter

- ▷ auf größeren Gleislängen
- ▷ über längere Zeiträume
- ▷ zu erproben und
- ▷ messtechnisch zu begleiten.

2 Typisierung der besohnten Schwellen

Prinzipiell kann jede Schwellenform mit einer elastischen Sohle ausgerüstet werden. Im Netz der DB sind derzeit Schwellen B 70 und B 90 mit Schwellensohlen unterschiedlicher Steifigkeit und verschiedener Hersteller (GETZNER, Bludenz; SPREEPOLYMER, Buttenheim) im Einsatz. Auch bei anderen Bahnen sind besohlte Schwellen im Einsatz, z. B. bei der ÖBB [5, 6]. Die im Netz der DB AG derzeit zur Erprobung eingebauten Schwellensohlen besitzen Steifigkeiten von ca. 10-80 kN/mm je Stützpunkt.

Alle im Folgenden angegebenen Sohlsteifigkeiten verstehen sich als statische Nennsteifigkeit je Stützpunkt, also je halber Schwelle.

Die Entwicklung begann mit sehr weichen Sohlen der Steifigkeit von ca. 10 kN/mm bei Verwendung von harten Zwischenlagen (Zw 687a). Neben den erwarteten geringen Setzungen sowie einer sehr gleichmäßigen und dauerhaft guten Qualität der Gleislage [7] traten jedoch unerwünschte Schwellenbiegeschwingungen [8] auf, und der Querverschiebewiderstand war kleiner als erwartet [1].

In den nächsten Schritten wurden daher deutlich härtere Sohlen unterschiedlicher Steifigkeit in Verbindung mit elastischen Zwischenlagen eingesetzt, so dass die vertikale Elastizität auf die Ebenen oberhalb und unterhalb der Schwelle verteilt wurde.

Die Schwellenbesohlungen unterscheiden sich weiter in der Art ihrer Anbindung an die Schwelle. Derzeit werden sie üblicherweise während des Betonierens formschlüssig eingebunden. Die nachfolgend vorgetragenen Untersuchungen befassen sich mit Schwellensohlen der Fa. SPREEPOLYMER, Buttenheim [9], auf Schwellen der Fa. Pfeleiderer, Neumarkt [10]. Diese Schwellensohlen werden durch eine besonders ausgeformte und mit Splitt beschichtete Kontaktoberfläche beim Betonieren in den Schwellenkörper eingebunden (Bild 1) [10].

3 Betriebserfahrungen

3.1 Situation

Auf der Schnellfahrstrecke Hannover—Göttingen wurden im März 1998 bei Göttingen im Bereich der Sülz bachbrücke Schwellen B 70 mit Besohlung

SPREEPOLYMER HS 1 [9] der Steifigkeit 70 kN/mm (steife Sohle) auf dem einen Gleis, und SPREEPOLYMER HS 2 mit 30 kN/mm (weiche Sohle) auf dem anderen Gleis eingebaut. Der Oberbau bestand im übrigen aus Schienen UIC 60, Zwischenlagen Zw 900, Schotterbett-dicke 30 cm, Schwellenabstand 60 cm. Die Betriebsbelastung pro Gleis betrug ca. 22 Mio. Lasttonnen pro Jahr. Die Fahrgeschwindigkeiten lagen bei 200–250 km/h für ICE-Verkehr und 120–160 km/h für den Güterverkehr. Die Sülz bachbrücke (Rahmentragwerk, Länge ca. 6 m) wurde stellvertretend für ähnliche, häufig vorkommende kurze Brücken ausgewählt, die durch geringe Langzeitbeständigkeit der Gleislage auffallen und hohen Instandsetzungsaufwand (insbesondere Stopfen) erfordern.

Durch versuchsbegleitende Messungen wurde das Verhalten der Gleisabschnitte mit den beiden Besohlungsvarianten erfasst [1, 11] und mit Vergleichsabschnitten mit unbesohnten Schwellen verglichen.

3.2 Längshöhenfehler

In der Regel ist der maximale Längshöhenfehler maßgebend für die Notwendigkeit einer Instandsetzungsmaßnahme. Seine Zuwachsrate bestimmt deren zeitlichen Abstand.

Zur Ermittlung der Längshöhenfehler wurden Inspektionsmessungen der Oberbaumesswageneinheit OMWE ausgewertet. Bild 2 gibt einen Überblick über die Entwicklungen der maximalen Längshöhenfehler in den Jahren 1997 bis 2000. Gestrichelte Kurven zeigen Zeiträume an, in denen Lageverbesserungen eingetreten sind, die mit Sicherheit auf Instandsetzungsmaßnahmen zurückzuführen sind.

Der Bereich der besohnten Schwellen zeichnet sich nach dem Umbau durch eine sehr gleichmäßige Entwicklung mit geringer Zuwachsrate aus, was die Notwendigkeit der nächsten Instandsetzung (Stopfen) erst nach einigen Jahren erwarten läßt.

Dagegen ist in den Vergleichsabschnitten mit unbesohnten Schwellen festzustellen:

- ▷ Die maximalen Längshöhenfehler sind bedeutend größer.
- ▷ Ihre Zuwachsraten betragen ein Mehrfaches.

▷ Die Stopfgänge wurden meist jährlich, teilweise halbjährlich vorgenommen.

Vergleichbare Erfahrungen sind bei inhomogenem Unterbau — hier bei dem Wechsel Planum-Brücke-Planum — häufig.

Für die Abschnitte mit besohlenen Schwellen ergab sich eine jährliche Zuwachsrate der maximalen Längshöhenfehler von rund 0,7 mm/a, für unbesohlene Schwellen waren dagegen Werte zwischen 2,5 und 4 mm/a festzustellen. Demnach betrug die Zuwachsrate bei den besohlenen Schwellen nur rund 25 %, was in erster Näherung eine Verlängerung des Instandsetzungsintervalles auf das 4-fache erwarten läßt.

3.3 Statische Einsenkungen

Unter statischer Belastung mit einer 20-t Einzelachse ergaben sich bei steifem Untergrund im konsolidierten Zustand die in Tafel 1 genannten Werte [1].

Auf Erdplanum ergaben sich größere Einsenkungen: 0,2–0,3 mm mehr für die weiche Sohle und 0,3–0,5 mm mehr für die steife Sohle.

3.4 Querverschiebewiderstand

Im Bereich der Sülz bachbrücke wurde der Querverschiebewiderstand sowohl für besohlte und unbesohlte Schwellen zwei Jahre nach dem Einbau ermittelt [1]. Sie sind in Tafel 2 angegeben.

Für die steife Sohle ist demnach der höchste Querverschiebewiderstand gemessen worden. Weiter zeichnete sich

Tafel 1: Statische Einsenkungen bei steifem Untergrund (Beton) im konsolidierten Zustand, 20 t-Einzelachse (gerundet)

Sohle	weich	steif
Sohlsteifigkeit	70 kN/mm	30 kN/mm
Schiene	1,0 mm	1,8 mm
Schwelle	0,5 mm	1,4 mm
Nullsetzung	0,1 – 0,2 mm	0,2 – 0,3 mm

Sohle	ohne	steif	weich
Sohlsteifigkeit		70 kN/mm	35 kN/mm
Querverschiebewiderstand pro Schwelle	9,7 kN	10,3 kN	9,4 kN

Tafel 2: Querverschiebewiderstand nach 2 Jahren Liegedauer der besohlenen Schwellen

die Tendenz ab, dass der Querverschiebewiderstand bei besohlenen Schwellen geringer streut als bei unbesohlenen Schwellen, was sich günstig auf die Lagestabilität des lückenlosen Gleises auswirkt.

3.5 Dauerhaftigkeit der Besohlung

Um die Dauerhaftigkeit der Besohlungen zu gewährleisten, müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- ▷ Die Sohlen dürfen sich nicht ablösen.
- ▷ Die Sohlen dürfen durch eindringende Spitzen oder Kanten von Schotterkörnern nicht zerstört werden.
- ▷ Die Sohlen müssen gegen sonstige Einflüsse (Alterung, thermische und chemische Einwirkungen) beständig sein.
- ▷ Sie müssen die Lebensdauer der Schwellen erreichen.

Dabei ist ein gewisses Eindringen der Schotterkörner in die Sohle durchaus erwünscht, da diese Verzahnung das Korngerüst im Kontaktbereich stabilisiert und den Querverschiebewiderstand erhöht.

Innerhalb bestimmter Grenzen kann eine Verhärtung des Materials toleriert werden.

Um die Veränderungen der Sohlen nach zweijähriger Einsatzzeit in Augenschein

Tafel 3: Tiefe der plastischen (bleibenden) Eindrückungen von Schotterkörnern in die Sohlen

Sohle	steif	weich
Sohlsteifigkeit	70 kN/mm	35 kN/mm
häufigste Werte	0,7–2 mm	0,6–0,7 mm
max. Einzelwerte	2,3 mm	1,4 mm

nehmen zu können, wurden aus dem Bereich Sülz bachbrücke jeweils eine Schwelle mit steifer und weicher Sohle ausgebaut und von Berg, TU Dresden, untersucht [11]. Es zeigte sich, dass der Verbund Schwelle-Sohle dem Neuzustand weitestgehend entsprach und keine Ablösungen festzustellen waren. Die Abdruckstellen der Schotterkörner waren meist 1–2 cm² groß. Tafel 3 nennt die beobachteten plastischen Eindrückungen von Schotterkörnern in die Schwellensohlen. Diese Eindrückungen werden bei einer Sohlstärke von 10 mm problemlos von der Sohle ertragen und verzahnen die Sohle mit dem Schotter.

Im übrigen können die Schwellensohlen als „fail safe“-Komponenten betrachtet werden. Selbst wenn ihre Wirksamkeit infolge Verhärtung stark nachlassen sollte, ist zu erwarten, dass sich der besohlte Betonschwellen-Schotteroberbau immer noch günstiger als ein unbesohlter verhält (geringe Elastizität ist besser als keine).

Sehr unterschiedliche Verhärtungen, die zu stark wechselnden Auflagerverhältnissen führen, dürfen jedoch nicht auftreten.

3.6 Kontaktfläche Sohle-Schotter

Die Abdrücke der Schotterkörner in den Sohlen der ausgebauten Schwellen erlaubten die Bestimmung der Kontaktfläche Sohle-Schotter. In der Tafel 4 sind entsprechende Zahlenwerte angegeben. Die Schwellensohlen führen zu einem Zuwachs der aktivierten Schwellenauflegerfläche. Dies ist positiv zu beurteilen, weil es zu einer Verringerung und Vergleichmäßigung der Schotterbeanspruchung führt.

Tafel 4: Aktivierte Schwellenauflegerfläche (Kontaktfläche Schwellensohle-Schotter bezogen auf den Schwellengrundriss)

Sohle	ohne	steif	weich
Sohlsteifigkeit		70 kN/mm	35 kN/mm
aktivierte Schwellenauflegerfläche	12 % (meist erheblich geringer)	18 %	36 %

3.7 Beschreibung der Wirkungsweise

Das Zusammenspiel von Besohlung und Schotter in seiner zeitlichen Abfolge stellt sich nach den bisherigen Erfahrungen wie folgt dar: Die aktivierte Schwellenauflagerfläche ist unmittelbar nach dem Einbau am geringsten. Mit zunehmender Betriebsbelastung arbeiten sich Spitzen und Kanten von Schotterkörnern allmählich in die Besohlung ein. Gleichzeitig ist die Federrate der Besohlung zunächst geringer, was zu geringeren Stützpunktkräften infolge elastischeren Verhaltens des Gleises führt („kleinere Kraft auf kleinerer Fläche“). Dies mindert Beanspruchungen des Schotters sowohl im Kontaktbereich Sohle-Schotter als auch zwischen den Körnern. Lokale Überbeanspruchungen von Teilbereichen der Sohle werden durch Lastumlagerung, also Aktivierung bisher nicht beanspruchter Sohlenbereiche, quasi automatisch ausgeglichen.

Die Konsolidierung des Gleises erfolgt auf diese Weise erheblich schonender und damit voraussichtlich langsamer als bei unbesohlenen Schwellen. Damit ist zu erwarten, dass die Konsolidierung sich über eine größere Betriebsbelastung erstreckt (voraussichtlich längere Zeit mit geringerer Geschwindigkeit). Dies wird sich insgesamt positiv auf die Langzeitbeständigkeit der Gleislage auswirken.

Durch das allmähliche Einarbeiten der Schotterkörner in die Schwellensohle nimmt mit der Zeit die aktivierte Schwellenauflagerfläche zu. Durch diesen Effekt sowie infolge der in der Regel zunehmenden Materialverhärtung erhöht sich die Gleissteifigkeit und als direkte Folge nehmen die Stützpunktkräfte zu, was zu höheren Schotterpressungen führt. Dem wirkt jedoch der Zuwachs an aktivierter Schwellenauflagerfläche entgegen („größere Kraft auf größerer Fläche“). Hier ist der Fall des günstigen Zusammenwirkens zweier gegenläufiger Effekte zu beobachten, die

Tafel 5: Dynamische Einsenkungen und Zusammendrückungen bei steifem Untergrund (Beton) unter ICE 1-Triebkopf (ca. 20 t Achslast) für konsolidierten Zustand (gerundet)

Situation	Schwelle B 70 ohne Sohle (Referenz BT)	Schwelle B 70 mit steifer Sohle	Schwelle B 90 mit steifer Sohle
Kurzbezeichnung	B 70- -BT	B 70-So 70-BT	B 90-So 80-BT
Schwelle	B 70	B 70	B 90
Sohle	ohne	steif	Steif
Sohlsteifigkeit		70 kN/mm	80 kN/mm
Einsenkung Schiene	0,6 mm	0,9 – 1,0 mm	0,6 – 0,7 mm
Einsenkung Schwelle	0,3 – 0,4 mm	0,6 – 0,7 mm	0,4 – 0,5 mm
Zusammendrückung Sohle	-	0,2 – 0,3 mm	0,1 – 0,2 mm
Zusammendrückung Schotter	ca. 0,3 mm	ca. 0,2 mm	ca. 0,2 mm
Nullsetzung	0,1 – 0,2 mm	0,1 – 0,2 mm	0,1 – 0,2 mm
bezogene Schotterpressung	100 %	85 %	65 %

sich in ihrer Wirkung teilweise aufheben.

Das Einarbeiten der Schotterkörner in die Sohle kommt weitestgehend zum Stillstand, wenn ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Dies ist zu erwarten, wenn

- a) die Pressungen in der Sohle so gering geworden sind, dass sie elastisch ertragen werden und nicht mehr zu plastischen Verformungen führen, und
- b) die Schotterumlagerungen im sohlennahen Bereich weitestgehend abgeklungen sind.

4 Dynamische Messungen

4.1 Messstellen und örtliche Situation

Zur Ermittlung des dynamischen Verhaltens des besohnten Betonschwellen-Oberbaus und seiner Komponenten wurden im November 2000 von imb-dynamik im Bereich der Eckerterödertalbrücke der Schnellfahrstrecke Fulda-Kassel auf Erdplanum, Brücke und im Tunnel dynamische Messungen vorge-

nommen. Die Messungen sollten einen ersten Einblick in das dynamische Verhalten des Gleises mit besohlenen Schwellen erlauben, Anforderungen für künftige, genauere Messungen liefern und Erkenntnisse für die Verbesserung der rechnerischen Modellierung erbringen. In diesem Bereich waren Mitte 1999 Schwellen B 70 und B 90 mit steifen Sohlen SPREEPOLYMER HS 1 eingebaut worden. Die Steifigkeiten betragen für die Schwellen B 70 70 kN/mm, für die Schwellen B 90 ca. 80 kN/mm (identisches Material, größere Fläche). Die übrigen Oberbauparameter entsprechen denen im Abschnitt 3.1. Betriebsbelastung und Geschwindigkeit liegen in gleicher Größenordnung. Messtechnisch erfasst wurden vorrangig ICE 1 mit $v = 250$ km/h. Die Temperaturen zur Zeit der Messungen betragen 4 bis 10 °C.

Für die Ermittlung der Einsenkungen der Komponenten kam das von imb-dynamik entwickelte Messverfahren Doppeltintegration von gemessenen Beschleunigungen zu Schwingwegen [13] zum Einsatz. Weiter wurden Erkenntnisse zur Zusammendrückung der Schotter Säulen unter den Schwellen aus früheren Messungen, die mit der imb-dynamik Planums-Oberkanten-Messsonde gewonnen wurden, herangezogen.

Die Beschleunigungs-Messpunkte wurden je Messstelle als Längs- und als Querschnitt eingerichtet (Bild 3).

4.2 Dynamische Messergebnisse

Im Folgenden werden nur die Ergebnisse für steifen Untergrund (Brücke / Tunnel: BT) zitiert. Hier ist die Wirkung der Besohlung am ausgeprägtesten.

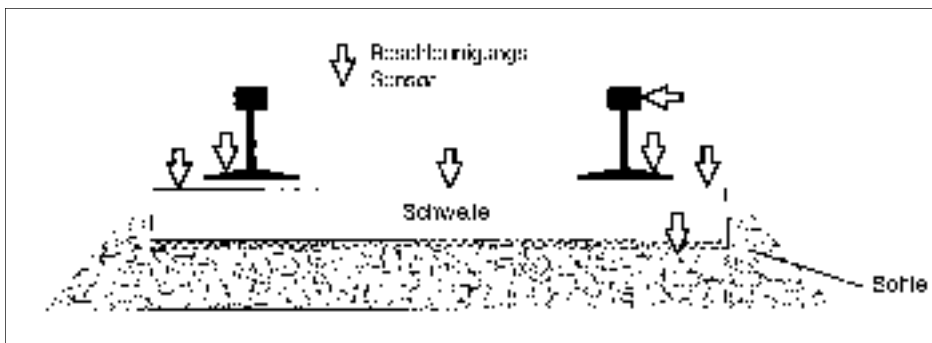


Bild 3: Querschnitt der Messstelle

(Quelle: imb-dynamik)

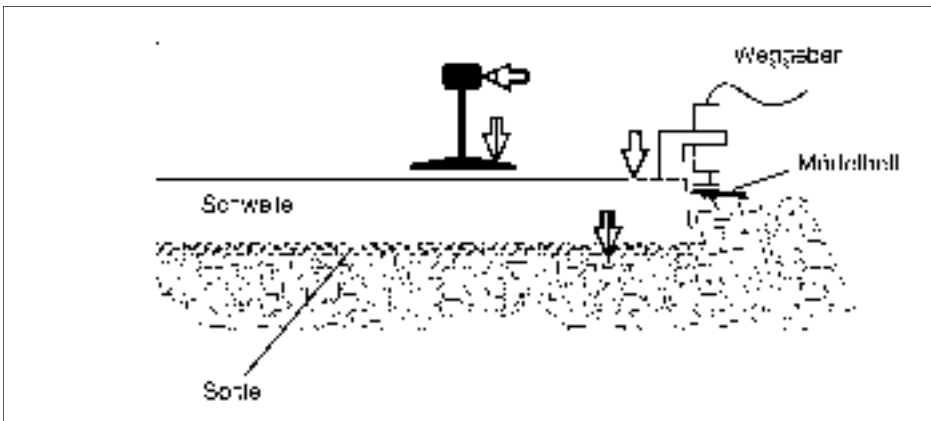


Bild 4: Einbausituation Differenzweggeber und Beschleunigungsaufnehmer
 (Quelle: imb-dynamik)

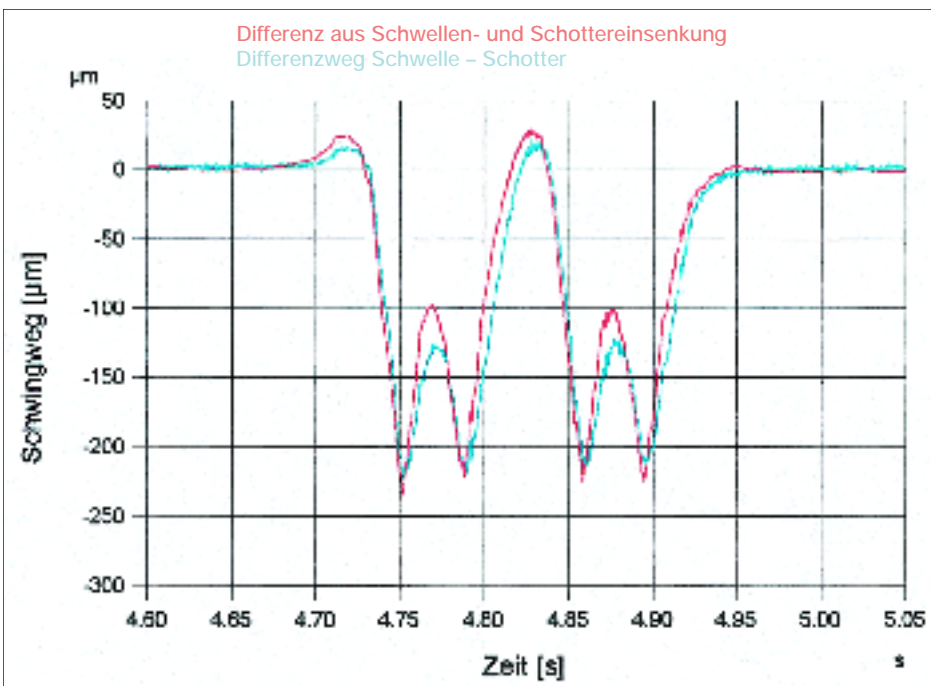


Bild 5: Einsenkung von Schiene und Schwelle, Vergleich mit Differenzweggeber
 (Quelle: imb-dynamik)

4.2.1 Einsenkungen und Zusammen-drückungen

In Tafel 5 sind die für ICE 1-Triebköpfe ermittelten dynamischen Einsenkungen angegeben. Die Werte für die Schotterunterkante wurden rechnerisch ermittelt.

Wie die Tafel 5 zeigt, war die Einsenkung von Schiene und Schwelle bei B 70 ohne elastische Sohle am kleinsten, was zu erwarten war. Die höheren Einsenkungen ergaben sich bei besohlenen Schwellen, in größerem Maße bei B 70, in kleinerem Maße bei B 90 (größere Schwellenauflagerfläche — steifere Reaktion — kleinere Einsenkungen).

Die Zusammendrückung der steifen

Sohle lag in einer Größenordnung von 0,2–0,3 mm (B 70) bzw. 0,1–0,2 mm (B 90).

Die Zusammendrückung der Sohle wurde an der Messstelle im Tunnel bei B 70 mit steifer Sohle auf zwei verschiedene Weisen ermittelt: a) durch direkte Messung des Differenzweges zwischen Schwelle und Schotterbett, b) durch Messung der Beschleunigungen von Schwelle und Schotterbett und Doppelintegration zu Schwingwegen. Bild 4 zeigt die Anordnung der Messgeber. Bild 5 zeigt die doppelintegrierten Einsenkungen von Schiene und Schotter und die Differenz dieser Kurven sowie den direkt gemessenen Differenzweg für ein ICE 1-Mittelwagen-Drehgestell. Da die Ergebnisse weitgehend überein-

stimmen, verifizieren sich die beiden Verfahren somit gegenseitig.

4.2.2 Schotterpressungen

Die Schotterpressungen verringern sich gegenüber der unbesohnten Schwelle B 70 für die besohlte Schwelle B 70 um 15 %, für die besohlte Schwelle B 90 um 35 %.

4.2.3 Schwellenschwingungen

Die bei sehr weichen Schwellensohlen beobachteten unerwünschten Schwellenschwingungen (vgl. Abschnitt 2) wurden bei steifer Schwellensohle nicht festgestellt.

4.2.4 Bewegungen von Brücke und Oberbau

Auf der Brücke wurde mit einem Messpunkt auf dem Brückendeck die Bewegung der Brücke ermittelt. Durch diese Vertikalbewegung wird der gesamte Oberbau im Sinne einer Starrkörperverschiebung kräftefrei mitbewegt. Bild 6 zeigt die Vertikalbewegungen für die Überfahrt eines ICE 1-Mittelwagen-Drehgestellpaares an den Positionen Schienenfuß, Schwelle, Schotterstein im Schwellenfach und Brückendeck. Deutlich ist die langwellige Einsenkung der Brücke als Ganzes zu erkennen: bei 50 ms ist die Brücke entlastet und in der Ausgangslage, bei 250 ms weist sie die maximale Durchsenkung von 0,4 mm auf. Bei 60–100 ms und 170–210 ms sind die Vorlaufwellen der Drehgestelle zu erkennen, die Schienen und Schwellen relativ zum Brückendeck anheben.

4.3 Folgerungen für weiterführende Messungen

Die bisherigen Messungen sind durch weitere Messungen an künftigen, längeren Einbaubereichen zu ergänzen. Dabei ist aufgrund der bisherigen Messerfahrungen besonders zu beachten:

- ▷ Homogenität des Untergrundes im jeweiligen Versuchsabschnitt,
- ▷ mögliche Schwellenbiegungen und Schwellenschwingungen,
- ▷ gleichbleibend geringe Nullsetzungen, und
- ▷ längere Messabschnitte (> 6 Schwellen).

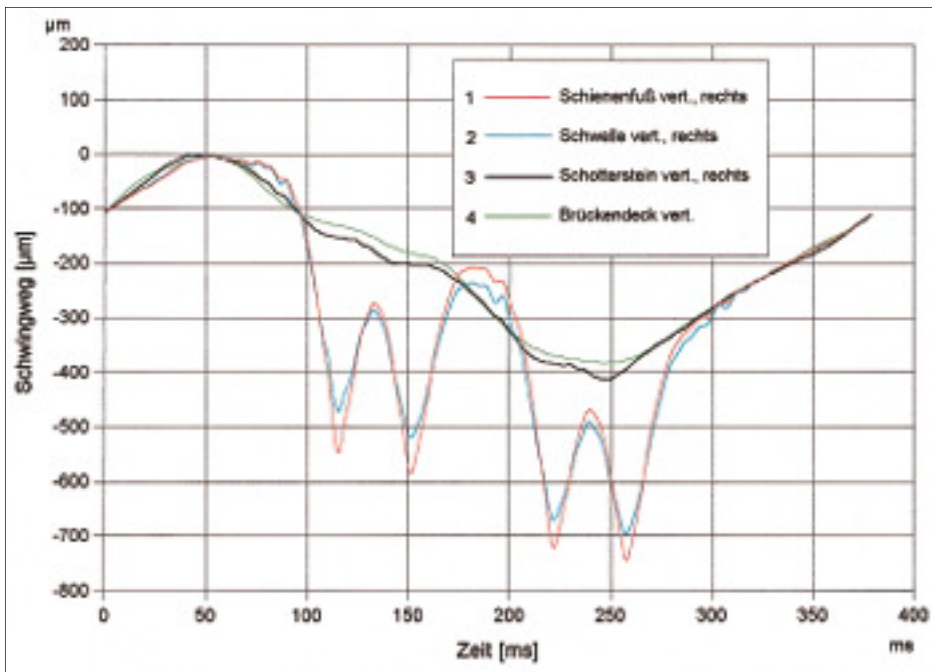


Bild 6: Brückenüberfahrt: Vertikalschwingungen

(Quelle: imb-dynamik)

5 Rechnerische Untersuchungen

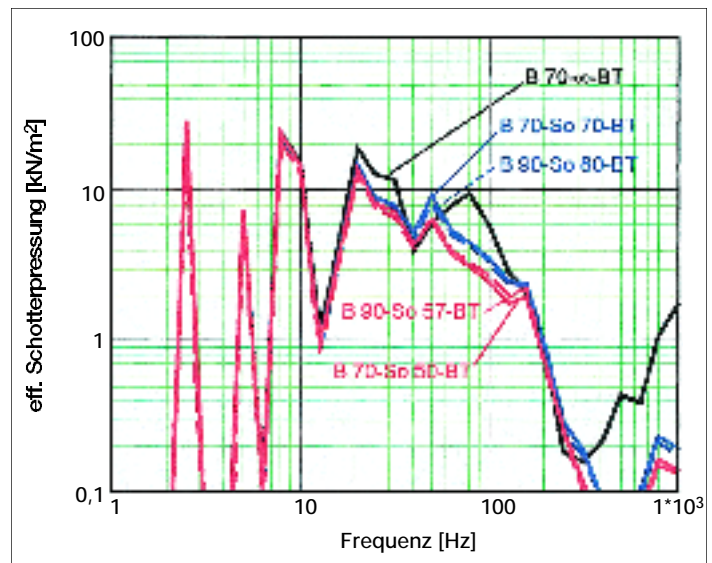
5.1 Einsenkungen und Kräfte

Die Berechnungen wurden mit Hilfe der Simulationsmodellserie iSi, Modul Schotteroberbau, durchgeführt. Diese Modellserie wurde von imb-dynamik erstellt und von der DB und der Bahnindustrie für dynamische Berechnungen der Oberbau-Komponenten verwendet. Informationen zu dem Modell sind in [2, 14] zu finden.

Die rechnerischen Modelle wurden zunächst an den durchgeführten dynamischen Messungen kalibriert und mittels Vergleichsrechnungen die im Gleis angetroffenen dynamischen Eigenschaften von Zwischenlagen, Schwellensohlen, Schotter und Planumsoberkante ermittelt.

Von aktueller Bedeutung ist eine Prognose der Auswirkungen einer von 70 kN/mm (steif) auf 50 kN/mm

Bild 7: Terzspektren der Schotterpressungen für unnachgiebigen Untergrund (Brücke/Tunnel)
 (Quelle: imb-dynamik)



(halbsteif) verringerten Sohlsteifigkeit. In Tafel 6 sind die Ergebnisse für die Schwellen B 70 zusammengestellt [15]. Die Verringerung der Sohlsteifigkeit von 70 auf 50 kN/mm läßt eine Vergröße-

rung der Schieneneinsenkung von 0,14 mm erwarten. Die Schotterpressungen verringern sich um ca. 5 %.

5.2 Frequenzmäßige Zusammensetzung der Schotterpressungen

Für die Varianten auf unnachgiebigem Untergrund ist in Bild 7 die jeweilige frequenzmäßige Zusammensetzung der Schotterpressungen unter ICE 1-Mittelwagen mit 250 km/h in Form von Terzspektren angegeben. Das zugehörige Bild 8 zeigt die Veränderungen der Schotterpressungen für die einzelnen Terzwerte bezogen auf Referenz-BT (B 70- -BT) an.

5.2.1 Gegenüberstellung unbesohlt: steife Besohlung

Die Spektren lassen erkennen, dass durch steife Schwellenbesohlung

(70 kN/mm) je nach Frequenzanteil meist Verringerungen der Schotterpressungen von 10–50 % auftreten, in einigen Terzen jedoch auch Erhöhungen der Schotterpressungen zu beobachten sind, z. B. bei 40–50 Hz. Dies liegt an der Verschiebung von Resonanzfrequenzen bzw. an der Entstehung neuer Resonanzfrequenzen infolge der Einführung einer neuen Federebene.

Tafel 6: Dynamische Einsenkungen und R-Kräfte auf steifem Untergrund (Beton) unter ICE 1-Triebkopf (ca. 20 t Achslast) mit 250 km/h für Schwellen B 70 (gerundet)

Situation	Schwelle B 70 ohne Sohle (Referenz BT)	Schwelle B 70 mit steifer Sohle	Schwelle B 70 mit halbsteifer Sohle
Kurzbezeichnung	B 70- -BT	B 70-So 70-BT	B 70-So 50-BT
Einsenkung Schiene	0,65 mm	1,00 mm	1,14 mm
Einsenkung Schwelle	0,24 mm	0,65 mm	0,81 mm
R-Kraft	46 kN	39 kN	37 kN
Schotterpressung	0,158 N/mm ²	0,136 N/mm ²	0,130 N/mm ²

5.2.2 Gegenüberstellung steife: halbsteife Besohlung

Für alle Frequenzbereiche gilt, dass die halbsteife Schwellenbesohlung (50 kN/mm) gegenüber der steifen Be-

Tafel 7: Nieder- und mittelfrequente Summenpegel der Schotterpressung unter ICE 1-Mittelwagen mit 250 km/h für Schwelle B 70 (gerundet)

Situation	Schwelle B 70 ohne Sohle (Referenz BT)	Schwelle B 70 mit steifer Sohle	Schwelle B 70 mit halbsteifer Sohle
Kurzbezeichnung	B 70- -BT	B 70-So 70-BT	B 70-So 50-BT
Summenpegel Schotterpressung niederfrequent bezogen auf Referenz BT	39 kN/m ² 100 %	35 kN/m ² 89 %	33 kN/m ² 87 %
Summenpegel Schotterpressung mittelfrequent bezogen auf Referenz BT	15 kN/m ² 100 %	12 kN/m ² 82 %	8,5 kN/m ² 57 %

sohlung grundsätzlich zu geringeren Schotterpressungen führt. Damit werden die oben genannten Erhöhungen stark abgebaut.

5.2.3 Nieder- und mittelfrequente Schotterpressungen

Aus den spektralen Darstellungen lassen sich Einzahlwerte gewinnen, indem die

studien zu betreiben, um zu vermeiden, dass häufig wiederkehrende Lasteinwirkungen z. B. aus der dritten Harmonischen der Radunrundheit, bei üblichen Fahrgeschwindigkeiten in einen Frequenzbereich zu liegen kommen, in dem die oben genannten Erhöhungen der Schotterpressungen entstehen.

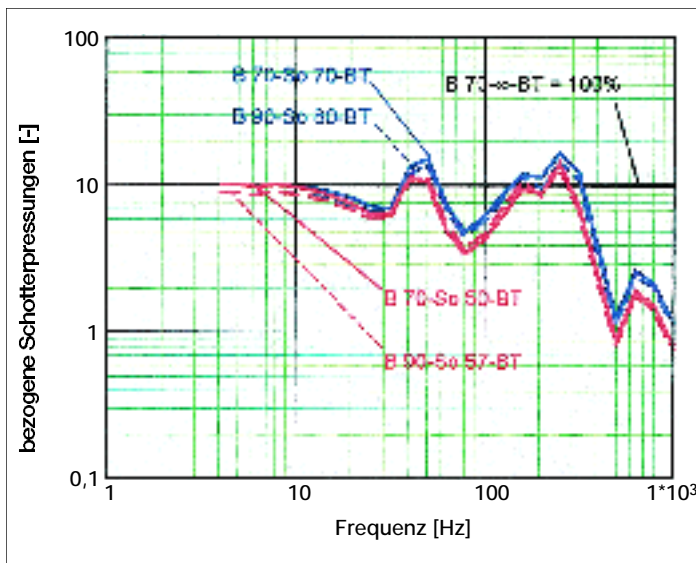


Bild 8: Schotterpressungen für unachgiebigen Untergrund (Brücke/Tunnel), bezogen auf unbesohlte Schwelle B 70 (Quelle: imb-dynamik)

einzelnen Terzwerte quadratisch (energetisch) aufsummiert werden. Dabei wird nach nieder- und mittelfrequenitem Bereich (0–40 Hz resp. 40–400 Hz) getrennt [2]. In Tafel 7 sind die entsprechenden Zahlenwerte zusammengestellt.

Die Verringerung der Sohlsteifigkeit von 70 kN/mm auf 50 kN/mm bringt für die Schotterpressung niederfrequent eine Verringerung um weitere 2 % und mittelfrequent um weitere 25 %.

Die Wirkung der Besohlung ist vorrangig abhängig von Fahrzeug und Fahrgeschwindigkeit, Zwischenlage, Schwellentyp und Untergrund. Es ist daher zu empfehlen, entsprechende Parameter-

5.3 In den Schotter eingespeiste Leistungen

Der Einbau elastischer Schwellensohlen in den Oberbau verringert bei passen-

Tafel 8: In den Schotter eingespeiste Leistungsdichte unter ICE 1-Mittelwagen mit 250 km/h für Schwelle B 70 (gerundet)

Situation	Schwelle B 70 ohne Sohle (Referenz BT)	Schwelle B 70 mit steifer Sohle	Schwelle B 70 mit halbsteifer Sohle
Kurzbezeichnung	B 70- -BT	B 70-So 70-BT	B 70-So 50-BT
Summenpegel eingespeiste Leistung niederfreq. bezogen auf Referenz BT	25 W/m ² 100 %	17 W/m ² 69 %	15 W/m ² 63 %
Summenpegel eingespeiste Leistung mittelfreq. bezogen auf Referenz BT	27 W/m ² 100 %	16 W/m ² 58 %	8 W/m ² 30 %

der Auswahl der dynamischen Eigenschaften deutlich die in den Schotter eingespeiste Leistung. Tafel 8 gibt die entsprechenden Zahlenwerte für die untersuchten Varianten an.

Die Verringerung der Sohlsteifigkeit von 70 kN/mm auf 50 kN/mm bringt für die eingespeiste Leistung niederfrequent eine Verringerung um weitere 6 % und mittelfrequent um weitere 28 %.

5.4 Ergebnis der rechnerischen Untersuchungen

Die in Abschnitt 5 vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die für den nächsten Entwicklungsschritt vorgesehene Verringerung der Steifigkeiten der Besohlung von 70 kN/mm auf 50 kN/mm für alle Parameter ein noch günstigeres Verhalten bewirkt und eine nochmals verbesserte Langzeitbeständigkeit erwarten läßt.

6 Schlußfolgerungen

Wie aus den bisherigen Darstellungen hervorgeht, ist die Schwellensohle als neuartiges elastisches Element des Oberbaus eine erfolgversprechende und aussichtsreiche Entwicklung, die folgende Vorteile erwarten läßt:

Instandhaltung und Konstruktion

- ▷ Verlängerte Instandsetzungsintervalle, erhöhte Verfügbarkeit
- ▷ Moderner hochspezialisierter Schotteroberbau, bei dem die einzelnen Komponenten definierte Aufgaben verschleißarm erfüllen: Sohlen und Zwischenlagen übernehmen arbeitsteilig die Aufgaben Nachgiebigkeit und Dämpfung
- ▷ Bewährte und kostengünstige Schienenbefestigungen und Betonschwellenbauarten können nahezu unverändert beibehalten werden

- ▷ Hoher und gleichmäßiger Querver-schiebewiderstand
- ▷ Hinsichtlich Spurhaltung, Schienen-neigung etc. bleiben die Vorteile der Betonschwellen erhalten
- ▷ Übliche maschinelle Verlege- und In-standsetzungsverfahren sind weitge-hend anwendbar
- ▷ Fail safe Technik

Allgemeine Vorteile

- ▷ Schonung aller Gleiskomponenten einschließlich Untergrund
- ▷ Statik, Dynamik und Auswirkungen im Gleis gut berechenbar
- ▷ Verringerung der Körperschallab-strahlung

7 Anwendungsbereiche

7.1 Aktueller Stand

Schwellen mit elastischer Besohlung wurden bisher in folgenden Situationen mit Längen von 25 bis 200 m eingebaut:

- ▷ bei längsinhomogenem Gleis und höheren Geschwindigkeiten:
 - Gleisabschnitte mit ungünstigen oder wechselnden Unterbauzuständen
 - Übergangsbereiche zwischen unterschiedlichen Oberbauarten
- ▷ anstelle von Unterschottermatten auf kürzeren Brücken
- ▷ bei zu geringen Schotterbettdicken.

7.2 Nächste Anwendungen

Derzeit sind als Einsatzfälle absehbar:

- ▷ Weichen und Schienenauszüge
- ▷ anstelle von hochelastischen Schie-nenbefestigungen
- ▷ anstelle von Unterschottermatten auf längeren Brücken
- ▷ vor und nach Brücken ohne durchge-hendes Schotterbett
- ▷ Minderung des Körperschalls auf Brücken bzw. in Tunneln
- ▷ Nachrüstung von Brücken bei Schall-sanierung
- ▷ als Nachrüstmaßnahme für längere Streckenabschnitte mit geringer Langzeitbeständigkeit der Gleislage.

7.3 Potenziale

Die Autoren erwarten, dass sich die bis-herigen positiven Erkenntnisse durch Langzeiterfahrungen bestätigen lassen. Das Ziel „Serienreife“ des neuen Bau-teils Betonschwelle mit elastischer Schwellensole erfordert jedoch weiter-führende Entwicklungsarbeit einschließ-lich begleitender Untersuchungen und Analysen sowie umfangreichere Pilotan-wendungen. Der Erfolg dieser Pilotan-wendungen wird darüber entscheiden, in welchem Umfang besohlte Schwellen bei hoch beanspruchten Gleisen einge-setzt werden können.

Nach unserer Meinung bestehen gute Chancen, dass sie zu einem Standard-Bauteil des Regel-Schotteroberbaus von Neu- und Ausbaustrecken werden.

Schrifttum

- [1] DB AG, Untersuchungs- und Messberichte, un-veröffentlicht.
- [2] Müller-Borutttau, F.H.; Breitsamter, N.: Elasti-sche Elemente verringern die Fahrwegbean-spruchung; in ETR — Eisenbahntechnische Rundschau 49 (2000) Heft 9, S. 587...596.
- [3] Müller-Borutttau, F.H.; Ebersbach, D.; Breitsamter, N.: Dynamische Fahrbahnmodelle für HGV-Strecken und Folgerungen für Kompo-nenten; in ETR — Eisenbahntechnische Rundschau 47 (1998) Heft 11, S. 696...702.
- [4] Müller-Borutttau, F.H.: Elastische Gleiskompo-nenten verringern die dynamische Unterbau- und Untergrundbeanspruchung; in EI — Eisen-bahningenieur 52 (2001) Heft 1, S. 17...22.
- [5] Rießberger, K.: Das Rahmen-Schwellen-Gleis — ein innovatives Schottergleis; in ETR — Eisen-bahntechnische Rundschau 49 (2000) Heft 3, S. 126...136.
- [6] Breitsamter, N. et al.: Dynamische Untersu-chungen an Rahmenschwellen im Auftrag der Fa. SSL Stahlbetonschwellen Linz, imb-dyna-mik Projekt 339, unveröffentlicht.
- [7] Leykauf, G.: Prüfamf für Bau von Landver-kehrswegen, TU München, Bericht Nr. 1792, 12.12.2000, unveröffentlicht.
- [8] Müller-Borutttau, F.H., et al.: Messung Wag-häusel – Besohlte Schwelle, imb-dynamik-Bericht Nr. 179.01 vom 18.04.1997, unveröffent-licht.
- [9] Firmeninformationen Fa. Spreepolymer, But-tenheim.
- [10] Firmeninformationen Fa. Pfeleiderer, Neu-markt.
- [11] Berg, G.: Untersuchungen an besohlten Beton-schwellen nach Ausbau aus dem Betriebsgleis, Bericht 00.2, TU Dresden, Juli 2000, unveröffent-licht.
- [12] Müller-Borutttau, F.H., et al.: Besohlte Schwelle – Eckerteröder Talbrücke, imb-dynamik-Bericht Nr. 179.31.1 vom 15.12.2000, unveröffent-licht.
- [13] Ebersbach, D., Müller-Borutttau, F.H.: Dynami-sche Wegmessungen im Gleis — eine unver-zichtbare Methode zur Auswahl neuer Ober-baukomponenten; in ETR — Eisenbahntechni-sche Rundschau 45 (1996) Heft 5, S. 271...280.
- [14] www.imb-dynamik.de
- [15] Breitsamter, N.: Oberbaudynamische Studie zu besohlten Schwellen; imb-dynamik-Bericht 177.21.1, unveröffentlicht.
- [16] Judge, T.: Crosstie replacement: a matter of choice; in Railway Age (2000), Heft 1, S. 59...63.

Résumé

„Soled Concrete Railroad Ties — A Groundbreaking Im-provement

Modern ballast superstructure is characterized by increa-sing specialization and introduction of new compo-nents. Elastic tie soles under concrete ties is a recent in-novative solution. This makes it possible to combine the advantages of concrete ties with those of wooden ties.

The gradual development of the tie soling is presented based on operational experience, rail and laboratory measurements, as well as theoretical studies. The cur-rent status, the further process, and areas of application are presented. The definitive advantages of concrete ties with elastic tie soles — „soled concrete railroad ties“ — are a drastic reduction of rail position errors growth rate, an increase in times between the maintenance work, and an overall low maintenance ballast super-structure for high travel velocities with minimal addi-tional costs.

Récapitulation

Traverses en béton posées sur des selles élastiques : une amélioration prometteuse

La superstructure ballastée moderne est caractérisée par une spécialisation croissante et l'introduction de nou-veaux composants. La selle élastique placée sous les tra-verses en béton constitue une nouvelle solution innova-nte. Elle permet de combiner les avantages de la tra-verse en béton avec ceux de la traverse en bois.

En se basant sur les expériences recueillies en service, sur les mesures faites en voie et en laboratoire, ainsi que sur des études théoriques, les auteurs montrent quel a été le développement progressif de la selle de traverse. L'état d'avancement actuel, la suite envisagée et les do-maines d'application sont présentés. Les avantages es-sentiels des traverses en béton posées sur des selles éla-stiques sont la forte diminution des taux d'augmenta-tion des défauts de géométrie de la voie, le très grand allongement des intervalles entre les travaux d'entretien et, dans l'ensemble, une superstructure bal-lastée exigeant peu d'entretien, y compris pour les gran-des vitesses, à des coûts supplémentaires minimales.

Resumen

Las traviesas de hormigón con fundamentación por so-lera inferior: una mejora técnica que abre nuevas per-spectivas

La construcción moderna de superestructuras balastadas se caracteriza por su progresiva especialización y por la introducción de nuevos componentes como, por ejem-plo, la fundamentación elástica por solera inferior bajo las traviesas de hormigón: una nueva e innovadora solu-ción que permite combinar las ventajas de las traviesas de hormigón con las de las traviesas de madera.

En el artículo se muestra el progreso paulatino de la fundamentación de las traviesas mediante un repaso de las experiencias extraídas de la práctica, de las medicio-nes realizadas en las vías y en los laboratorios así como en base a los estudios teóricos realizados al respecto. Además se describen el nivel técnico actualmente alcan-zado, los siguientes avances previstos y las áreas de apli-cación. Las ventajas decisivas las traviesas de hormigón provistas de fundamentación elástica por soleras inferio-res, las así denominadas „traviesas de hormigón funda-mentadas“ logran una importante reducción en las tasas de crecimiento de los fallos del asiento de la vía, la mul-tiplicación de los intervalos que se pueden dejar trans-currir entre los trabajos de puesta a punto y, en general, una construcción de superestructuras de balastos menos necesitada de mantenimiento hasta para los niveles de alta velocidad y con menores costes adicionales.