

Technische und wirtschaftliche Aspekte zum Thema Schwellenbesohlung – Teil 1: Langzeiterfahrungen im Netz der ÖBB

Technical and economical Aspects to Under Sleeper Pads – Part 1: Long-term Experiences in the ÖBB-network

Dipl.-Ing. Florian Auer, Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Schilder, Wien

Zusammenfassung

Die stetig steigenden Verkehrsbelastungen und höheren Geschwindigkeiten führen zu einer ständigen Erhöhung der Beanspruchungen von Gleisen und Weichen. Das Standard-Schottergleis zeigt heute teilweise Verschleißerscheinungen, die durch mangelhaftes Systemverhalten bzw. Überbeanspruchung einzelner Bauteile verursacht werden. 1997 wurden im Netz der ÖBB erste Versuche mit Schwellenbesohlungen, anfangs zur Schonung der Komponente Schotterbett, eingebaut. Aufgrund der positiven Erfahrungen kam es zu einem vermehrten Einsatz von Schwellenbesohlungen im Netz der ÖBB. Im Hauptnetz werden heute bei Gleis- und Weichenneulagen standardmäßig Betonschwellen mit Schwellenbesohlung verwendet. Wenn die Komponenten aufeinander abgestimmt und an die Rahmenbedingungen angepasst sind, ergeben sich durch den Einsatz der Schwellenbesohlung neben der Schotterschonung die Reduzierung von Schwellenbeanspruchungen, Gleissetzungen, Schlupfwellenbildung, Zwischenlagenverschleiß und Erschütterungen. Die Ergebnisse wurden an verschiedenen Abschnitten verifiziert.

Abstract

The increases of the traffic, the higher speeds and axle loads have led to an increase of the stresses in ballasted tracks and switches. The standard track shows partial wear, which is caused by overstressing of single track components. In 1997 under sleeper pads were firstly tested in the ÖBB-network. The objective was to reduce the stresses within the ballast. Due to the positive experiences also to the system behaviour of the track it came to an increased use in the net of the ÖBB. Nowadays under sleeper pads are used as a standard at all track and turnout renewals in the main lines. If the stiffness of the under sleeper pad has the right dimension, it leads to a reduction of ballast forces, sleeper bending forces, track settlement, corrugations' growth, rail pad wear and vibrations. The results were verified in different sections.

Für eine wirtschaftliche Instandhaltung auf LCC-Basis ergibt sich nun die Notwendigkeit, ein Verständnis für das Systemverhalten der Gleise und Weichen zu entwickeln und aus diesem Systemverständnis heraus Maßnahmen festzulegen, die die Nutzungsdauer des jeweils „schwächsten Bauteils“ verlängern, ohne dabei die anderen Komponenten zu schwächen.

1997 wurden im Netz der ÖBB erste Versuche mit Schwellenbesohlungen durchgeführt, anfangs zur Schonung der Komponente Schotterbett. Aufgrund der positiven Erfahrungen kam es zu einem

1 Einleitung

Die stetig steigenden Verkehrsbelastungen und höheren Geschwindigkeiten führen zu einer ständigen Erhöhung der Beanspruchungen von Gleisen und Weichen.

Das Standard-Schottergleis zeigt heute teilweise Verschleißerscheinungen, die durch unzureichendes Systemverhalten bzw. Überbeanspruchung einzelner Bau-

teile verursacht werden. Damit ist die Gesamtnutzungsdauer des Gleises meist vom „schwächsten Glied“, d. h. dem Bauteil mit der geringsten Nutzungsdauer, abhängig. Aus wirtschaftlichen Überlegungen ist jedoch eine Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer anzustreben. Veit [1] hat gezeigt, dass bei einer Lebenszyklusbetrachtung die Abschreibung den größten Anteil an den jährlichen Kosten von Gleisen und Weichen ausmacht.

vermehrten Einsatz von Schwellenbesohlungen. Im Hauptnetz werden heute bei Gleis- und Weichenneulagen standardmäßig Betonschwellen mit Schwellenbesohlung verwendet. Der vorliegende Beitrag beschreibt die technischen Erfahrungen mit Schwellenbesohlungen im Netz der ÖBB, die in den letzten elf Jahren gewonnen wurden. Ein späterer Beitrag wird sich vornehmlich mit der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Schwellenbesohlungen beschäftigen.

2 Komponenten des Standard-Schottergleises

Gleise weisen wie viele Infrastrukturanlagen eine Nutzungsdauer von 30 Jahren und mehr auf. Diese wirtschaftlich notwendige lange Nutzungsdauer wird erreicht, wenn die einzelnen Gleiskomponenten unter den Gesichtspunkten der Instandhaltungsarmut und Langlebigkeit dimensioniert werden. Dabei sind auch Veränderungen der zukünftigen technischen Rahmenbedingungen (steigende Verkehrslasten, höhere Radsatzlasten und höhere Geschwindigkeiten) zu berücksichtigen.

2.1 Schiene

Die Schiene steht in direktem Kontakt mit den Rädern der Fahrzeuge und wird in erster Linie hinsichtlich Dauerfestigkeit, Rollkontakt-Ermüdung (Oberflächenzerüttung) und abrasivem Verschleißverhalten (Mikrozerspannung) bemessen.

Wie auch bei anderen Bahnen üblich wird im Hauptnetz der ÖBB aufgrund der hohen Ermüdungsfestigkeit standardmäßig die Schienenform 60 E1 verwendet. Das größere Widerstandsmoment dieser Schiene führt auch zu einer besseren Lastübertragung (Schiene als Träger) auf die Nachbarschwellen und damit zu einer Verringerung der Kräfte im Schotterbett und im Untergrund.

In den letzten Jahren werden aufgrund des geringeren abrasiven Verschleißes und des besseren Rollkontakt-Ermüdungsverhaltens forciert kopfgehärtete Schienen in Bögen eingebaut (*Bild 1*). Die



Bild 1: Enger Bogen mit kopfgehärteten Schienen zur Minderung des Seitenverschleißes und der Schlupfwellen

höhere Schienengüte führt dabei auch zu einer Verminderung der Schlupfwellenproblematik in engen Bögen.

2.2 Schienenbefestigung

Die Schienenbefestigung hat die Aufgabe, die auftretenden Kräfte zwischen Schienen und Schwellen elastisch und möglichst verschleißfrei zu übertragen.

Im Netz der ÖBB wird bei neuen Betonschwellentypen das Befestigungssystem W 14 verwendet. Dieses Befestigungssystem ist eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Schiene und Schwelle. Relativbewegungen zwischen Schiene und Schwelle in Längs- und Querrichtung werden damit in der Regel verhindert.

Verhalten der Spannklemme

Um die Schiene mit der Schwelle zu verbinden ist eine entsprechende Niederhalterkraft erforderlich, die durch eine Vorspannung der Spannklemme aufgebracht wird. Dabei entsteht auch eine Vorbelastung der Schienenzwischenlage, wodurch diese niedergedrückt wird. Die Niederhalterkraft hat dabei in engen Bögen großen Einfluss auf die Schlupfwellenbildung und den Verschleiß der Zwischenlagen. Im Laufe der Zeit nimmt die Niederhalterkraft teilweise aufgrund der Materialermüdung ab. Manchmal ist auch eine Lo-

ckerung des Schraube-Dübel-Kontaktes zu beobachten. So müssen die vor dem Einsatz der Spannklemme Skl 14 verwendeten Spannklemmen der Type Skl 1 bereits nach wenigen Jahren in engen Bögen getauscht werden. Ebenso ist ein Nachschrauben hilfreich, was in der Regel als Vorarbeit im Zusammenhang mit Stopfarbeiten durchgeführt wird. Gegenwärtig wird grundsätzlich die Spannklemme Skl 14 in Geraden und großen Bögen verwendet. Bei Bogenradien $R < 600$ m wird im Netz der ÖBB die hinsichtlich Dauerfestigkeit und Niederhalterkraft (plus 50 % gegenüber Skl 14) optimierte Spannklemme Skl 28 (Drahtstärke 15 mm) eingesetzt (*Bild 2*). Diese Spannklemme erlaubt höhere Vertikal- und Horizontalauslenkungen, wodurch ein besserer Kraftschluss über einen längeren Zeitraum sichergestellt ist. In Kombination mit der Schrauben/Dübel-Paarung mit Rundgewinde ergeben sich deutlich längere Standzeiten.

Verhalten der Zwischenlagen

Ein weiteres wichtiges Element des Gleises ist die Zwischenlage zwischen Schiene und Schwelle. Diese dient in erster Linie dem Einbringen einer definierten Elastizität in das Gleis. Weiche Zwischenlagen erhöhen die Elastizität und Einsenkung des Gleises und vermindern damit die Beanspruchung des Schotterbetts,



Bild 2: Spannklemme Skl 28 für enge Bögen mit $R < 600$ m

führen aber zu einem Anstieg der Schienenspannungen.

Neben den elastischen Eigenschaften sind in Bögen Anforderungen an den Zwischenlagen-Materialverschleiß und der Einfluss auf die Schlupfwellenbildung zu beachten. Dies führte in den letzten Jahren zum forcierten Einbau von weichen Zwischenlagen Zw 700 im Netz der ÖBB. Ein laufendes Forschungsprojekt (22 verschiedene Zwischenlagen im Test bei gleichen Rahmenbedingungen und Betonschwellen ohne Schwellenbesohlung) zeigt klare Optimierungspotenziale bei der Schlupfwellen-Bildung auf.

2.3 Schwelle

Die Schwelle ist das Bauteil des Gleises, das neben anderen Anforderungen die Einhaltung der notwendigen Spurweite (Distanz zwischen den beiden Schienen) gewährleistet. Die Schwelle ist wie alle anderen Komponenten des Gleises bei entsprechendem Tragverhalten auch auf Langlebigkeit zu dimensionieren. Bei Holzschwellengleisen führen Alterungserscheinungen wie Einpressungen der Rippenplatten zu einer gegenüber Betonschwellen reduzierten Nutzungsdauer (Bild 3). Seit den 1980er Jahren werden daher im Hauptnetz der ÖBB überwiegend Schwellen aus Beton eingebaut.



Bild 3: Holzschwelle mit Alterungserscheinungen

Bezüglich Lastübertragung weisen die beiden Schwellentypen deutlich unterschiedliches Verhalten auf. Holzschwellen verfügen über eine höhere Eigenelastizität. Die elastische Einsenkung unter Belastung ist damit größer als bei Betonschwellen-Gleisen. In Gleisen mit setzungsempfindlichen Böden ergeben sich Vorteile für Holzschwellen-Gleise (Verlängerung der Stopfintervalle).

Des Weiteren erfolgt die Lastübertragung Schwelle/Schotter bei Holzschwellen-Gleisen über eine höhere Kontaktfläche an der Schwellenunterseite. Die bessere Lastverteilung führt zu einer gegenüber Betonschwellen verminderten Schotterbettbeanspruchung. Andererseits tritt bei Holzschwellen-Gleisen aufgrund des geringeren Gewichts eine verringerte Gleislagestabilität auf.

2.4 Schotterbett

Das Schotterbett hat in erster Linie (neben Belüftungs- und Entwässerungseigenschaften) die Aufgabe, den Schwellen eine ausreichende, stabile Auflagerfläche zur Verfügung zu stellen. Das Schotterbett ist so zu dimensionieren, dass die von den Fahrzeugen übertragenen Kräfte keine kurz- und langfristigen Verschiebungen der Schwellen in Gleislängs- und Querrichtung verursachen. Ein gleichmäßiges „Atmen“ des Gleises (Sommer- und Winter-Zustand) wird in geringem Umfang toleriert.

Zur Gewährleistung der Langlebigkeit des Schotterbetts muss das Schottermaterial verschiedene Anforderungen erfüllen. Es werden beispielsweise die Schlag-Festigkeit (SZ_{RB} -Wert), die Schlag-Abrieb-Festigkeit (LA_{RB} -Wert), die Abrieb-Festigkeit (M_{DERB} -Wert) und die Schotterkörnung (Sieblinie) bestimmt. Bei Betonschwellen-Gleisen beträgt die Schotterbettstärke 35 cm (gemessen von Schwellenunterkante), während in Gleisen mit Holzschwellen aufgrund der höheren Elastizität 25 cm ausreichen.

Untersuchungen und Beobachtungen am Gleis zeigen, dass die Elastizität des Schotters und der Lastausbreitungswinkel innerhalb des Schotterbetts in der Praxis vermutlich geringer sind als viel-

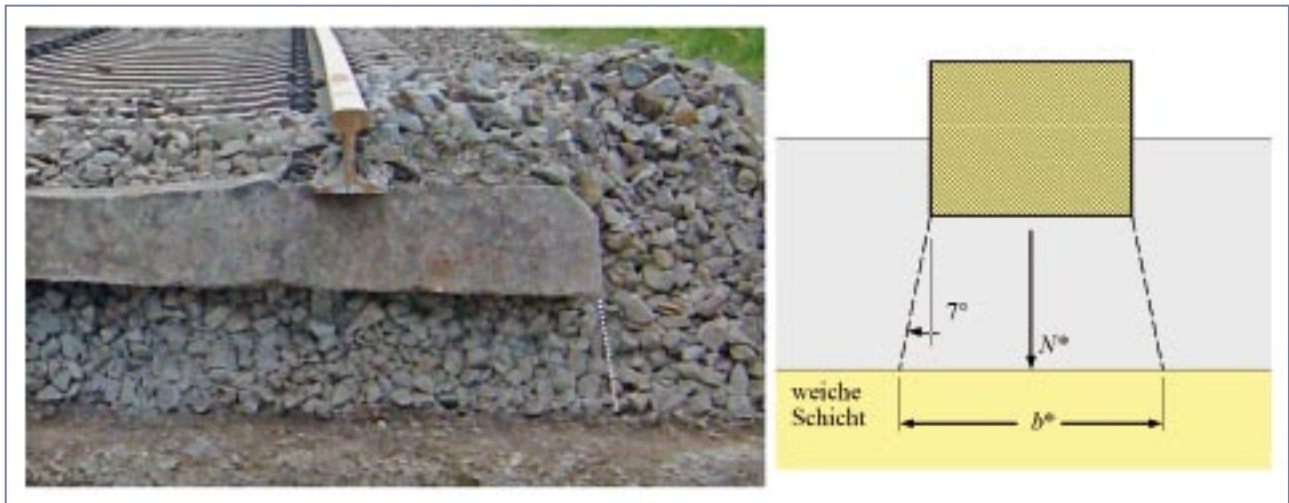


Bild 4: Lastausbreitungswinkel im Schotter und bei Grundbau-Berechnung

fach publiziert. *Bild 4* zeigt die Lastausbreitung im Schotter und den für den Durchstanznachweis im Grundbau vorgegebenen Lastausbreitungswinkel von 7° gemäß [2]. Die scheinbare Elastizität wird gerade bei fortgeschrittenem Schotterverschleiß über die elastische Durchbiegung der Schwellen erreicht. Dies führt zu einer starken Beanspruchung der Betonschwellen in Gleisen mit Schotterproblemen (Bildung von spannungsbedingten Querrissen).

2.5 Unterbau, Untergrund und Entwässerung

Der Untergrund hat bei ausreichender Frostsicherheit die durch das Schotterbett übertragenen Kräfte aus den Verkehrslasten möglichst setzungsfrei aufzunehmen. Weiter gilt es, im Bereich des „erweiterten Fahrwegs“ die einwandfreie Entwässerungsfunktion sicherzustellen. Das Setzungsverhalten des Gleises wird mit mehreren Messmethoden bestimmt. Bei den Vormessungen für die Stopfarbeiten werden die absoluten Setzungen (gegenüber Mastbolzen) mit dem Gleisvormesstriebwagen EM-Sat ermittelt. Die Hebe- und Verschiebewerte werden in der zentralen Datenbank iGleis abgespeichert und stehen dort für verschiedene Auswertungen zur Verfügung. Die relativen Setzungen des Gleises werden mehrmals jährlich mittels des Oberbaumesswagens EM 250 bestimmt. Das Signal Längshöhe

entspricht kurzwelligen Relativsetzungen im Wellenlängenbereich 3 bis 25 m. Die relativen Setzungsraten lassen sich davon ableiten.

Steigende Verkehrslasten, höhere Geschwindigkeiten und höhere Radsatzlasten haben mit der Zeit zu einer Zunahme der Gleisbeanspruchung geführt. Die Notwendigkeit von Untergrund-Sanierungen ist damit ebenfalls gestiegen. In den letzten zehn Jahren wurden im Netz der ÖBB auf mehr als 550 km Tragschichten (Tragschichtstärke meist 40 cm) maschinell eingebaut. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auch auf die hydraulischen Eigenschaften des Gleises gelegt. Das über die Tragschicht-Unterkante hi-

naus reichende Geotextil hat neben der eigentlichen Trenn- und Filterfunktion die Aufgabe, das Sicker- und Porenwasser abzuleiten (*Bild 5*).

3 Instandhaltungsnotwendigkeit beim Standard-Schottergleis

Abhängig von den örtlichen Rahmenbedingungen (Bogenradien, Untergrundsteifigkeiten, Verkehrslasten etc.) zeigt das Standard-Schottergleis verschiedene Verschleißerscheinungen, die durch Veränderung der Gleiselastizitäten (Schwellenbebohlungen) verringert werden können.



Bild 5: Maschineller Einbau einer Tragschicht mit Geotextil



Bild 6: Schlupfwellenbildung an zwei Bogenschienen mit unterschiedlicher Stahlgüte

3.1 Schlupfwellenbildung

In engen Bögen treten im Lauf der Zeit an der Schienenoberfläche der bogeninneren Schiene periodische Wellen auf. Diese Schlupfwellen weisen Wellenlängen von 8 bis 30 cm auf (Bild 6). Hervorgerufen werden die Schlupfwellen durch Schwebungseffekte zwischen den Radsätzen der Fahrzeuge (Biege-Eigenschwingung) und dem Gleis (Hohllagen unter den Schwellenenden erlauben Schwellenschwingungen). Folgende Faktoren beeinflussen die Schlupfwellenbildung:

- höhere Gleis-Elastizität reduziert die Bildung der Schlupfwellen (weniger Hohllagen unter den Schwellenenden),

- größere Niederhalte­kraft der Befestigung wirkt positiv (Ermüdung der Spannklemme beachten),
- höhere Schienengüte wirkt auch positiv (siehe Bild 6) und
- bessere laterale Lastverteilung in Bögen durch Schienenprofil 60 E1 (Fußbreite 150 mm) gegenüber Schienenprofil 54 E2 (Fußbreite 125 mm) verringert ebenfalls die Schlupfwellenbildung.

Aufgrund des kurzweiligen Fehlerbildes werden in den Rädern und Radsatzwellen der Fahrzeuge hohe Beschleunigungen (Radsatzlagerbeschleunigungen bis 50 g, Frequenzbereich ca. 120 bis 160 Hz) induziert. Diese hohen Beschleunigungen erhöhen die Beanspruchungen der Fahrzeuge und Gleise sowie die Schallemission. Die Bauteile Schiene, Schienenbefesti-



Bild 7: Ausgebaute verschlissene Zwischenlagen von Betonschwellen-Gleisen

gung, Schwelle und Schotterbett werden stärker beansprucht und die Nutzungsdauer des Gleises wird reduziert.

Ein Großversuch bei Scheifling (Steiermark) hat gezeigt, dass die Wellenlängen der Schlupfwellen durch bestimmte Zwischenlagen so verändert werden können, dass sie in einem günstigeren Bereich liegen. Weiter sind signifikante Unterschiede bei den Amplituden der Schlupfwellen feststellbar. Diese Ergebnisse wurden auch an anderen Strecken überprüft und führten zum forcierten Einsatz von weichen Zwischenlagen.

3.2 Verschleiß der Zwischenlagen

Bei unbesohnten Betonschwellen-Gleisen hat die Zwischenlage einen hohen Anteil an der Gesamt­elastizität des Gleises. Die zusätzlich aufzunehmenden Querkräfte in Bögen können zu einem frühzeitigen Materialverschleiß der Zwischenlagen führen (Bild 7).

Der Oberbaumesswagen der ÖBB erlaubt seit 2001 die Detektion der unter Belastung gemessenen tatsächlichen Schienenneigung. Aus dem Schienenneigungs-Signal kann der Verschleiß der Zwischenlagen ermittelt werden. Damit wurde es möglich, die Verschleißraten, abhängig von verschiedenen Rahmenbedingungen, netzweit zu untersuchen.

Zwischenlagen zeigen in Bögen einen von Verkehrsbelastung und Krümmung abhängigen Materialverschleiß. Die bis vor kurzem verwendeten steifen Zwischenlagen von Standard-Betonschwellen-Gleisen in engen Bögen im Hauptnetz müssen bereits nach wenigen Jahren getauscht werden.

Wird die Instandhaltungsmaßnahme „Tausch der Zwischenlagen“ zu spät durchgeführt, reduziert sich die Nutzungsdauer der Betonschwellen „schlagartig“ (Bild 8).

3.3 Schotterprobleme bei zu geringer Elastizität und hohen Belastungen

Das Schotterbett hat die Aufgabe, den Schwellen eine ausreichende, stabile Auf-



Bild 8: Betonschwelle mit verringerter Nutzungsdauer wegen nicht rechtzeitig erfolgten Zwischenlagentauschs

lagerfläche zu bieten und die von den Fahrzeugen eingebrachten Kräfte auf den Untergrund zu übertragen. Eine zu geringe Elastizität des Oberbaus (hohe Stützpunktkraft) kann in Kombination mit steifen Untergrundverhältnissen zum frühzeitigen Schotterverschleiß führen. Schotterprobleme im Bestandsnetz werden in hoch belasteten Betonschwellengleisen mit steifen Zwischenlagen und steifen Untergrundverhältnissen bereits nach ca. 15 Jahren beobachtet. **Bild 9** zeigt ein Gleis bei Kirchbichl (Strecke Kufstein–Innsbruck). Das Schotterbett (Körnung II) ist hier nicht in der Lage, die hohen Kräfte aufzunehmen und zu übertragen. Vor allem im Bereich der Schwellenden kommt es zur Entstehung von feinem Schotterabrieb. Die Gleismitte zeigt



Bild 9: Gleis mit feinem Schotterabrieb am Schwellenende



Bild 10: Schwelle mit Querriss infolge größerer Biegebeanspruchung

durch die kleinere Einsenkung und geringere Bewegung der Schwellen auch

einen geringeren Verschleiß. Der waserundurchlässige Schotterabrieb führt zur Bildung von sogenannten „Spritzstellen“. Die mangelhafte Wasserableitung hat einen zusätzlichen negativen Einfluss auf die Gleislagequalität. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass die Tragschicht-Oberkante in diesem Fall trocken und funktionsfähig bleibt. Ähnliches wird manchmal bei Gleisen mit starker Schlupfwellenbildung beobachtet. Das mangelhafte Schotterbett zeigt eine scheinbar höhere Elastizität. Durch den fortgeschrittenen Schotterverschleiß verlieren die Schwellen vor allem an ihren Enden (Lastübertragung außen) ihre stabile Bettung und müssen sich unter der Belastung stärker durchbiegen, um sich

der mangelhaften Schotterbettung anzupassen. Dies führt zu einer starken Beanspruchung der Betonschwellen in Gleisen mit Schotterproblemen und es kommt zur Bildung von spannungsbedingten Querrissen (**Bild 10**). Auch dadurch wird die Nutzungsdauer der Schwellen herabgesetzt.

3.4 Setzungsverhalten des Untergrunds

Der Untergrund hat die Lasten des Bahnbetriebs möglichst setzungsfrei aufzunehmen. Bestandsstrecken, die auf feinkörnigen Böden gebaut sind, zeigen noch über lange Zeit Setzungen in den anstehenden



Bild 11: Mangelhafte Gleislage durch Setzungen im Untergrund

Bodenschichten. Steigende Verkehrsbelastungen und geringere Gleiselastizitäten der Betonschwellen-Gleise führten in den letzten Jahren zu einer Erhöhung der Untergrund-Beanspruchungen.

Aufgrund der längeren Nutzungsdauer wurden in den letzten 25 Jahren hauptsächlich Betonschwellen im Hauptnetz eingebaut. Die Betonschwellen-Gleise weisen gerade beim Einbau von steifen Zwischenlagen nur eine geringe Gleiselastizität auf. Da auch das Schotterbett nur eine geringe Elastizität besitzt, kommt es zu erhöhten punktuellen Belastungen auf dem Untergrund-Planum und damit zu einer größeren Setzungswahrscheinlichkeit.

Auf vielen Bestandsstrecken werden Gleisveränderungen durch Setzungen im Untergrund verursacht (Bild 11). Das Setzungsverhalten des Untergrunds ist damit in Gleisen, die auf feinkörnigen Böden gebaut sind, der bestimmende Einflussfaktor für die Notwendigkeit von Stopfarbeiten. Eine ausreichende Entwässerung von feinkörnigen Böden ist dringend notwendig, da sich ansonsten die Gleise hier noch stärker setzen und die Frostsicherheit herabgesetzt wird.

Auswertungen von Georadar-Daten und Daten des Oberbaumesswagens zeigen diese Zusammenhänge ebenfalls sehr deutlich auf. Feuchte Stellen im Schotter oder Untergrund (Georadar) zeigen in aller Regel auch eine mäßige Gleislage mit erhöhten Setzungsraten (Auswertung Oberbaumessdaten). Der Stellenwert einer funktionierenden Entwässerung und die Notwendigkeit der Sanierung von setzungsempfindlichen Böden wird damit

einmal mehr belegt. Die typischen vertikalen Wellenlängen der Gleislagefehler betragen 8 bis 12 m und liegen damit nahe der Eigenfrequenz von Güterwagen mit Parabelfedern (ca. 2,4 Hz).

4 Entwicklung von Schwellenbesohlungen

Die Ergebnisse einiger anderer Bahnen in Europa führten bei den ÖBB dazu, Schwellenbesohlungen (zu Beginn vornehmlich zur Schotterbettschonung) ab 1996 zu testen. In einem Forschungsprojekt mit der Getzner Textil AG, Vorarlberg, wurden erste Berechnungen und Versuche durchgeführt. Die positiven Erfolge mit den Schwellenbesohlungen führten dann zum forcierten Einbau.

4.1 Verbund von Betonschwelle und Besohlung

Der Verbund zwischen Betonschwelle und Besohlung kann mit verschiedenen Methoden hergestellt werden:

- direkter Verbund,
- Klebemittel und
- Kontaktmedium.

Die in Gleisen der ÖBB bislang am meisten verwendeten Schwellenbesohlungen haben als Kontaktmedium ein Kunststoffgeflecht (Wirrgitter) (Bild 12). Schwellenbesohlungen in Weichen werden dagegen aufgrund der höheren Anforderungen an die Abreißfestig-

keit (Vertikaldynamik im Weichenherzbereich) geklebt.

4.2 Anforderungen an das Besohlungsmaterial

Die Anforderungen an das Besohlungsmaterial werden in der Bahn-Norm BN 918 145-01 definiert. Folgende Eigenschaften sind nachzuweisen:

- statischer Bettungsmodul,
- dynamischer Bettungsmodul,
- Dauerfestigkeit,
- Tieftemperaturbeständigkeit,
- Witterungsbeständigkeit,
- Alterungsbeständigkeit (künstliche Alterung) und
- Entflammbarkeit.

Der statische sowie der dynamische Bettungsmodul und die Dauerfestigkeit werden mittels einer Normschotterplatte bestimmt. Im Oberbaulabor der SNCF kann die Dauerfestigkeit der Schwellenbesohlung auch in einer noch realitätsnäheren Form getestet werden. Hier wird eine ganze Betonschwelle dem sogenannten „Vibrogir-Test“ unterzogen (Bild 13) [3].

Anhand von verschiedenen Materialversuchen lässt sich eine Tendenz ableiten, nach der weichere Schwellenbesohlungen eine geringere Nutzungsdauer aufweisen als steifere.

4.3 Anforderungen an den Verbund von Schwelle und Besohlung

Nach der BN 918 145-02 müssen folgende mechanische Eigenschaften des Ver-



Bild 12: Kunststoffgeflecht als Kontaktmedium für Besohlung von Gleisschwellen



Bild 13: Prüfung der Dauerfestigkeit von Schwellenbesohlungen mit dem Vibrogir-Test bei einer simulierten Belastung von 400 Mio. GBT (Gesamt-Bruttotonnen)

bunds von Schwelle und Besohlung überprüft werden:

- Abreißfestigkeit,
- Frost/Tau-Beständigkeit und
- Abscherfestigkeit.

Die wichtigste Anforderung an den Verbund bildet die Mindestabreißfestigkeit. Hier wird die Kraft bestimmt, die notwendig ist, um ein kreisförmiges Besohlungsteil mit einem Durchmesser von 50 mm von der Betonschwelle zu trennen (*Bild 14*). Die geforderte Mindestabreißfestigkeit beträgt:

- im Mittel $\sigma \geq 0,50 \text{ N/mm}^2$ und als
- Minimalwert $\sigma \geq 0,40 \text{ N/mm}^2$.

4.4 Schwellenbesohlungen im Netz der ÖBB

Von 1996 bis 2007 wurden rd. 220 000 Schwellenbesohlungen und 87 Weichen mit besohlenen Weichenschwellen im Netz der ÖBB eingebaut. Je nach Anwendungs-

fall kommen heute unterschiedliche Besohlungstypen zum Einsatz.

Die ersten Besohlungsversuche im ÖBB-Netz wurden mit sehr weichen Schwellenbesohlungen (statischer Bettungsmodul $0,07 \text{ MN/m}^3$) durchgeführt und sie sollten vornehmlich der Schotterschonung dienen. Die Versuchsgleise wiesen große elastische Einsenkungen auf. Die erzielte hohe Gleiselastizität reduzierte neben den Schotterkontaktkräften auch die auf das Unterbauplanum wirkenden Kräfte und damit die Setzungsraten der Gleise. Das Stopfintervall konnte in diesen Gleisen deutlich erhöht werden (Faktor 3 und mehr).

Berechnungen der DB AG [4] und Erfahrungen der SNCF sowie Ergebnisse von weiteren Versuchen zeigten, dass auch mit steiferen Besohlungen eine ausreichende Schotterbettschonung erzielt werden kann. In den Gleisen der ÖBB wird aktuell die relativ steife Besohlungstypen SLB 3007 G als Standardbesohlung eingesetzt. Bei speziellen Anforderungen

Tafel 1: Auflistung der gängigen Besohlungstypen

Type	Material	Statischer Bettungsmodul in MN/m^3	Dicke in mm
SLS 1010 G	Sylomer®	0,10	10
SLS 1308 G		0,13	8
SLS 1707 G		0,17	7
SLB 2210 G		0,22	10
SLB 3007 G		0,30	7



Bild 14: Bestimmung der Abreißfestigkeit an einem kreisförmigen Teil der Besohlung mit $d=50 \text{ mm}$

an die Gleiselastizität (Erschütterungsschutz, besonders setzungsempfindliche Böden etc.) werden weiterhin auch weichere Besohlungen verwendet (*Tafel 1*). Neben Besohlungen der Firma Getzner wird aktuell auch eine Schwellenbesohlung der Paul Müller Technische Produkte GmbH, Melsungen, getestet.

Zur besseren Unterscheidung wird seit 2004 auf die Oberseite der besohlenen Betonschwellen die Bezeichnung S (Sohle) aufgebracht. Innerhalb von Weichen kommen aufgrund der unterschiedlichen Auflagerbedingungen (Schotterkontaktfläche variiert) verschiedene Besohlungstypen zum Einsatz.

5 Verhalten von Gleisen mit Schwellenbesohlung

Das Ziel der ersten Besohlungsversuche war die Sicherstellung der langfristigen Schotterbettschonung in Gleisen mit Betonschwellen. Dies konnte sowohl theoretisch als auch praktisch belegt werden. Die größere Schotterkontaktfläche und höhere Gleiselastizität führen zu den bereits genannten Vorteilen gegenüber dem Standard-Betonschwellen-Gleis [5]. Die Nutzungsdauer der verschiedenen Komponenten des Systems Gleis wird verlängert. Es stellt sich eine größere Gesamtgleisnutzungsdauer ein. Dies setzt jedoch voraus, dass die einzelnen Bauteile auf die vorhandenen Rahmenbedingungen abgestimmt werden.

5.1 Schotterbettschonung

Untersuchungen der TU Graz [6, 7] zeigen, dass die Schotterkontaktfläche an der Unterseite von herkömmlichen Betonschwellen sehr gering ist. Die tatsächliche Kontaktfläche beträgt wenige Prozent und es kommt zu einer extremen Punktbelastung. Diese kann im Lauf der Zeit zur Zerstörung der mit der Schwelle in Kontakt befindlichen Schottersteine führen. Durch die Schwellenbesohlung wird die Kontaktfläche zwischen Schwelle und Schotterbett deutlich vergrößert. Eine weitere Schonung des Schotterbetts stellt sich durch die Erhöhung der Anzahl an Kraftlinien innerhalb des Schotterbetts ein. Die Kräfte des Zugverkehrs werden gleichmäßiger in den Untergrund übertragen, das Schotterbett bleibt länger stabil.

Bild 15 zeigt die Unterseite einer Schwellenbesohlung im Schotterbett. Das Foto wurde im Zuge von Langzeituntersuchungen zehn Jahre nach Einbau der Schwellenbesohlung (Strecke Feldkirch-Buchs, Verkehrsbelastung 8,5 MGBTpa (MGBTpa = Millionen Gesamtbruttotonnen pro Jahr)) gemacht und zeigt augenscheinlich die Schonung des Schotterbetts durch den Einsatz der Schwellenbesohlung. Resümee: Durch die Schwellenbesohlung steigt die Nutzungsdauer des Schotterbetts.



Bild 15: Schonung des Schotterbetts durch Schwellenbesohlung

5.2 Beanspruchung der Schwellen

Die langfristig stabile Schotterbettung verringert größere Schwellendurchbiegungen unter Belastung und führt damit zu einer Reduzierung der Schwellenbeanspruchung. Durch Schwellenbesohlungen werden Betonschwellen in Abschnitten mit geringeren Schotterqualitäten geschont (**Bild 16**). Resümee: Die Schwellenbesohlung lässt eine Verlängerung der Nutzungsdauer von Betonschwellen erwarten.

5.3 Gleissetzungen bei Schwellenbesohlung

Die bessere Lastverteilung von Gleisen mit höherer Gleiselastizität (Schiene als Träger) führt zu geringeren Kräf-

ten und geringeren Setzungen im Untergrund. Je weicher das Besohlungsmaterial, desto höher ist die Gleiselastizität und desto geringer sind die Setzungen im Untergrund. **Bild 17** zeigt die gemessenen Setzungen (Mittelwerte aus mehreren Messungen) eines Versuchsabschnitts bei Timelkam (Westbahn, Verkehrsbelastung 22 MGBTpa, $V_{max} = 120 \text{ km/h}$). Bei einer Gleisneulage mit maschineller Untergrundsanie- rung wurden 2001 versuchsweise zwei Schwellenbesohlungen mit unterschiedlicher dynamischer Steifigkeit eingebaut. Die vor allem vom Schotterbett verursachten Anfangssetzungen konnten bei beiden Besohlungstypen deutlich reduziert werden. Die höhere Gleiselastizität im Bereich der weicheren Besohlungstypen 1 (SLS 1707 G) führte zu einer weiteren Setzungsreduzierung auch, nach Ab-



Bild 16: Besohlte Betonschwelle in einem Abschnitt mit geringer Schotterqualität

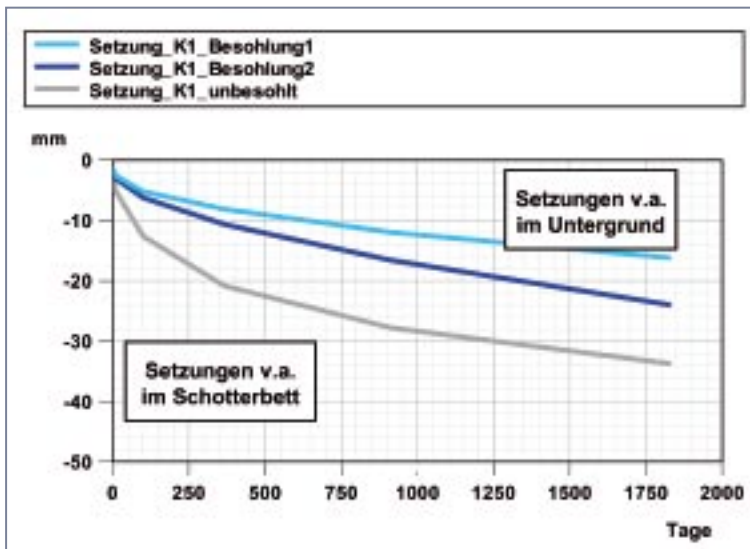


Bild 17: Mittelwerte gemessener Setzungen im Gleis bei besohlenen und unbesohlenen Schwellen

klingen der Anfangssetzungen. In besonders setzungsempfindlichen Gleisen empfiehlt sich daher der Einsatz von weichen Besohlungen. Der Untergrund wird geschont und häufiges Stopfen verhindert. Die laufenden Untersuchungsergebnisse bezüglich des Langzeitverhaltens der Schwellenbesohlungen (Ausbau der Besohlungen im Betrieb) sind bei der Dimensionierung des Bauteils zu berücksichtigen.

Bild 18 zeigt die gemessenen Setzungen in einem Gleisabschnitt bei Unzmarkt (Strecke Wien–Villach). Die Schwellenbesohlungen wurden nur in den Bogenberei-



Bild 19: Setzungsunterschied am Übergang vom besohlenen auf unbesohlenen Abschnitt mit punktuellen Gleislagefehler

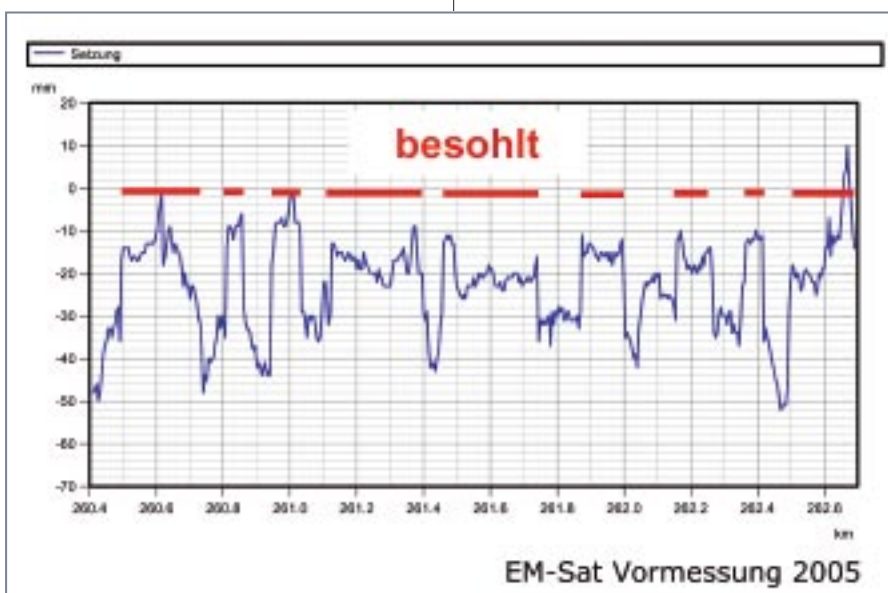


Bild 18: Gemessene Setzungen in einem Gleisabschnitt bei Unzmarkt mit häufigen Wechslern der Schwellenbesohlung

chen eingebaut. An allen Übergangsstellen bilden sich aufgrund der unterschiedlichen Setzungsraten punktuelle Gleislagefehler aus (Bild 19). Diese weisen wiederum erhöhten Instandhaltungsbedarf auf. Der punktuelle Einsatz bzw. das häufige Wechseln von Schwellenbesohlungen ist demnach nicht sinnvoll, es sei denn, dass entsprechende Übergangsbereiche ausgebildet werden, in denen die Elastizität stufenweise angepasst wird.

5.4 Schlupfwellen-Reduzierung und geringerer Zwischenlagenverschleiß

In engen Bögen mit Betonschwellen wird

die Nutzungsdauer der Gleiskomponenten durch die Schlupfwellenbildung herabgesetzt. Nach längeren Untersuchungen wurde die Konzeption für ein Gleis gefunden, dessen Systemverhalten Schlupfwellenbildung und Zwischenlagenverschleiß langfristig verhindert bzw. zumindest stark vermindert.

Das günstige Verhalten der Schwellenbesohlungen für die stark belasteten Gleise wurde als Anlass genommen, die Konstruktion auch in engen Bögen genauer zu untersuchen. Ziel war es, wenn möglich neben der besseren Gleislagequalität (durch Schotterschonung und höhere Gleiselastizität) auch die Schlupfwellenbildung zu reduzieren. Dies geschah aufbauend auf den Ergebnissen der Versuche im Ennstal (1997), wo sich bereits deutli-

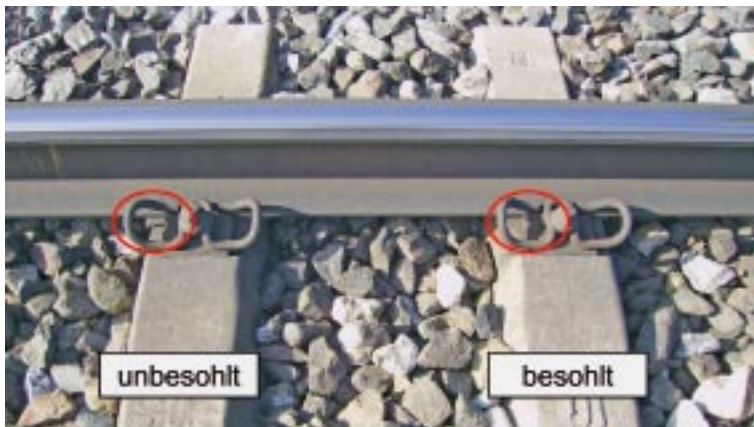


Bild 20: Unterschiedlicher Zwischenlagenverschleiß zweier benachbarter Betonschwellen mit und ohne Besohlung

che Vorteile in Hinblick auf die Schlupfwellenreduzierung für besohlte Schwellen zeigten. Die verschiedenen Versuchsgleise wiesen teilweise deutlich unterschiedliches Verhalten bezüglich Schlupfwellenbildung und Zwischenlagenverschleiß auf. Es zeigt sich, dass das Systemverhalten des Gleises empfindlich auf veränderte Parameterkonstellationen reagiert.

Bild 20 zeigt den unterschiedlichen Zwischenlagenverschleiß (erkennbar am Herausdrücken der Zwischenlage) zweier benachbarter Betonschwellen in einem Bogen mit $R = 300$ m. Schwellenbesohlungen können also unter bestimmten Voraussetzungen den Verschleiß der Zwischenlagen stark reduzieren. Nach eingehenden Untersuchungen wurde eine optimierte Gleiskonstruktion für enge Bögen gefunden; diese wird heute bei Gleisneulagen im Bereich $250 \text{ m} < R < 600$ m standardmäßig im Hauptnetz eingesetzt:

- Betonschwellen mit Schwellenbesohlung,
- Schienenform 60 E1,
- Stahlgüte R350 HT (kopfgehärtet),
- weiche Zwischenlage Zw 700,
- verstärkte Spannklemme Skl 28 (siehe *Bild 2*) und

- richtige Niederhalte- kraft (Drehmoment der Schwellenschraube beachten).

Werden diese Parameter eingehalten, ergibt sich mit Schwellenbesohlungen in jedem Fall eine Verbesserung des Verschleißverhaltens. Der Einfluss der unterschiedlichen Schwellenbesohlungstypen wird in laufenden Versuchen

untersucht. Daraus lassen sich zukünftig unter Umständen weitere Optimierungspotenziale ableiten.

Bild 21 zeigt den Oberbaumessschieb des Versuchsabschnittes bei Scheiffling (Strecke Wien-Villach) sechs Jahre nach Einbau (Verkehrsbelastung 10 MGBTpa). In den vier Bögen mit Schwellenbesohlung (Bogenradien $R \approx 280$ m) war bis 60 MGBT kein Schleifeinsatz im Bereich der Schwellenbesohlungen notwendig und es sind noch keine Schlupfwellen aufgetreten. Des Weiteren zeigen



Bild 22: Fast verschleißfreie ausgebaute Zwischenlagen

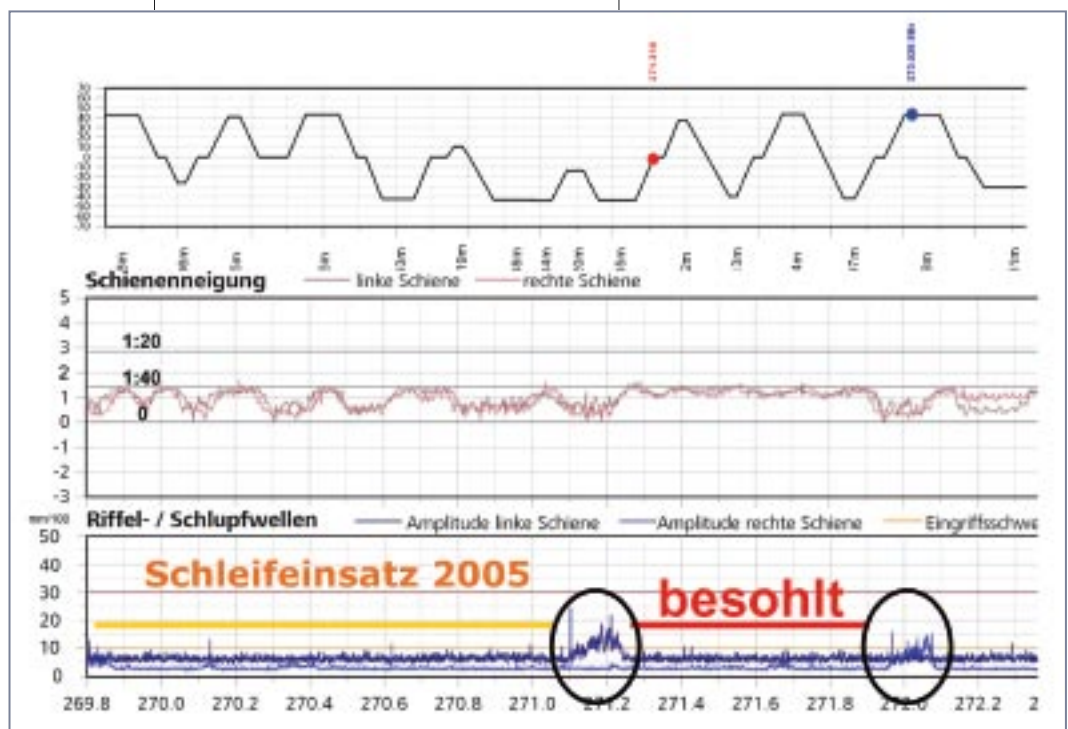


Bild 21: Oberbaumessschieb des Versuchsabschnitts bei Scheiffling



Bild 23: FE-Modell für Dimensionierung der gleichmäßigen Einsenkung bei Weichen

die Zwischenlagen messtechnisch (ableiten aus dem Schienenneigungssignal in Bild 21) und beim Ausbau vor Ort (Bild 22) fast keine Anzeichen eines Verschleißes. Daraus lässt sich ableiten, dass bei richtiger Auslegung und gegenseitiger Abstimmung der Gleiskomponenten, Schlupfwellenbildung und Zwischenlagenverschleiß langfristig verhindert und stark verringert werden und damit die Gleisnutzungsdauer insgesamt erhöht wird.

6 Verhalten von Weichen mit Schwellenbesohlung

Seit dem erstmaligen Einsatz im Jahr 2002 wurden bis Ende 2007 87 Weichen mit Schwellenbesohlungen im Netz der ÖBB eingebaut. Die positiven Auswirkungen der Besohlung bestätigten sich auch in den Weichenbereichen. Weichenschwellenbesohlungen führen durch die Schotterbettschonung und die höhere Systemelastizität zu einer besseren Gleislagequalität und einem geringeren Instandhaltungsaufwand [8].

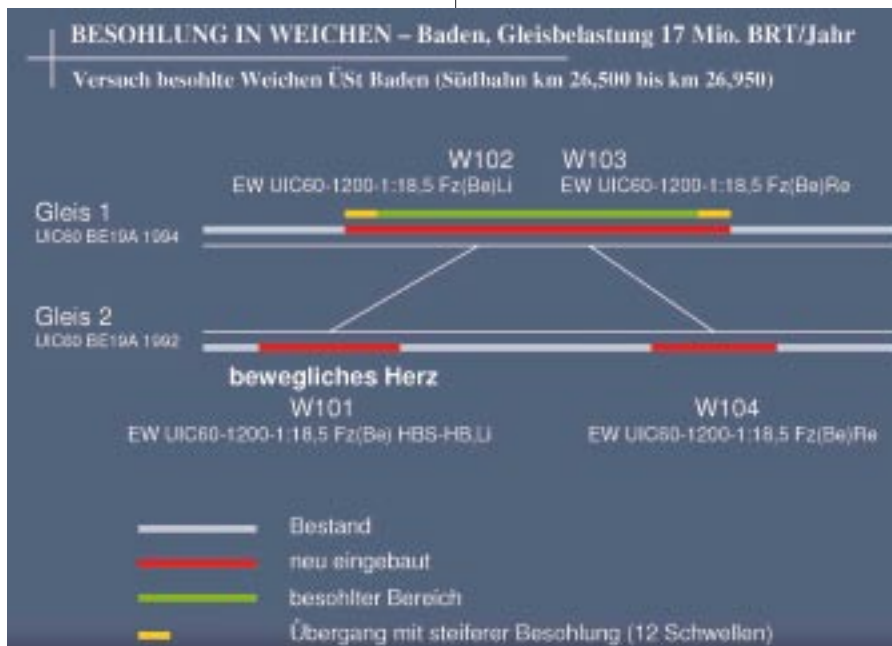


Bild 24: Versuchsanordnung der Weichen mit Schwellenbesohlung

6.1 Dimensionierung der Schwellenbesohlung in Weichen

Bei der Wahl der Schwellenbesohlungen für Weichen waren verschiedene Anforderungen zu berücksichtigen, vornehmlich die einer gleichmäßigen elastischen Einsenkung bei unterschiedlichen Auflagebedingungen. Dafür wurde ein Finite-Elemente-Modell genutzt (Bild 23) [9]. Innerhalb der Weichenbereiche ergibt sich damit die Notwendigkeit, unterschiedliche Besohlungen einzusetzen. Für die verschiedenen Standard-Weichengeometrien wurden entsprechende Ausführungspläne erarbeitet.

6.2 Gleislagequalität von Weichen mit Schwellenbesohlung

Im Folgenden werden die Oberbaumessschiebe des ersten Versuchseinbaus 2002 bei Baden (Südbahn) diskutiert. Bild 24 zeigt die Versuchsanordnung. Die Bilder 25 und 26 zeigen einen Vergleich der Oberbaumessschiebe zwischen der unbesohlenen Weiche 101 mit beweglichem Herz und der mit Weichenschwellenbesohlung ausgestatteten Weiche 102 mit starrem Herz (jeweils Betonschwellen). Die unbesohlte Weiche 101 zeigt die Tendenz, sich entlang des Weichenbereiches (Betrachtung WA nach WE) immer stärker zu neigen. Der Überhöhungsfehler steigt von WA bis zur LDS und verringert sich danach innerhalb eines kurzen Abschnitts (verursacht Verwindungsfehler). Das Signal Längshöhe weist ebenfalls eine unruhige vertikale Gleislage aus. Die vertikale Gleislagequalität zeigt im Herzbereich (bewegliches Herz) keine größeren Unregelmäßigkeiten.

Die besohlte Weiche 102 weist aufgrund der geringeren Setzungsraten innerhalb der Weiche eine deutlich bessere Gleislagequalität auf (Überhöhung und Längshöhe).

Ähnliches wie im Gleis gilt also auch im Weichenbereich: Bei richtiger Auslegung der Komponenten, vor allem hinsichtlich der Elastizität, wird durch Schwellenbesohlungen die Nutzungsdauer der Weichen erhöht.

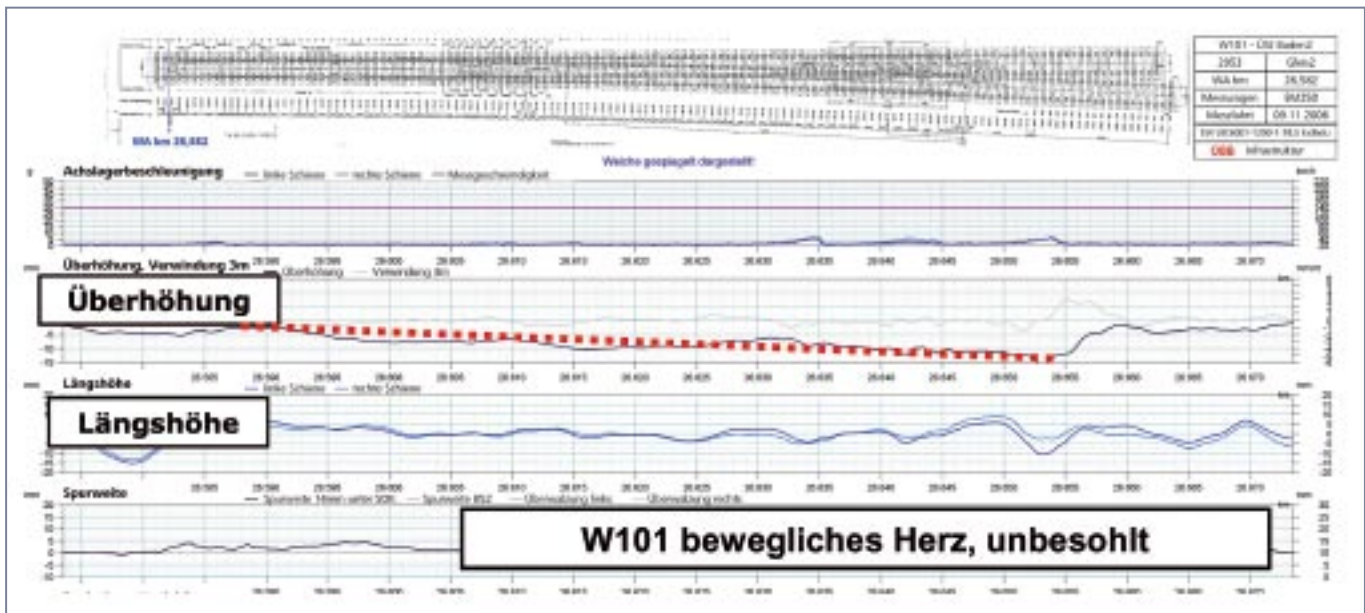


Bild 25: Messschrieb der unbesohnten Weiche mit beweglichem Herz

7 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Versuche mit Schwellenbesohlungen haben in den letzten elf Jahren wichtige Erkenntnisse über das Verhalten der Gleise und Weichen geliefert. Vor allem hinsichtlich der Elastizitäten hat ein Umdenken eingesetzt. Schwellenbesohlungen und weiche Zwischenlagen geben dem System eine definierte Elastizität, die sich im Standard-Schotter-

gleis ansonsten durch verschiedene Verschleißmechanismen (Schotterverschleiß, Lockerung der Befestigungsmittel etc.) einstellt. Es kann auch von einer Verlängerung der Gesamtnutzungsdauer von Gleisen und Weichen ausgegangen werden. Im Hauptnetz der ÖBB werden daher seit ca. 2006 bei Gleis- und Weichenneulagen standardmäßig Betonschwellen mit Schwellenbesohlungen eingebaut. Eine weitere wichtige Erkenntnis gilt dem Systemverhalten. Der Aufbau des Gleises und der Weichen ist als System zu be-

trachten und nicht als Summe der Einzelkomponenten. Sind die Komponenten aufeinander abgestimmt und an die Rahmenbedingungen angepasst, ergeben sich durch den Einsatz der Schwellenbesohlungen neben der Schotterschonung eine Reduzierung

- der Schwellenbeanspruchungen,
- der Gleissetzungen,
- der Schlupfwellenbildung
- des Zwischenlagenverschleißes und
- der Erschütterungen.

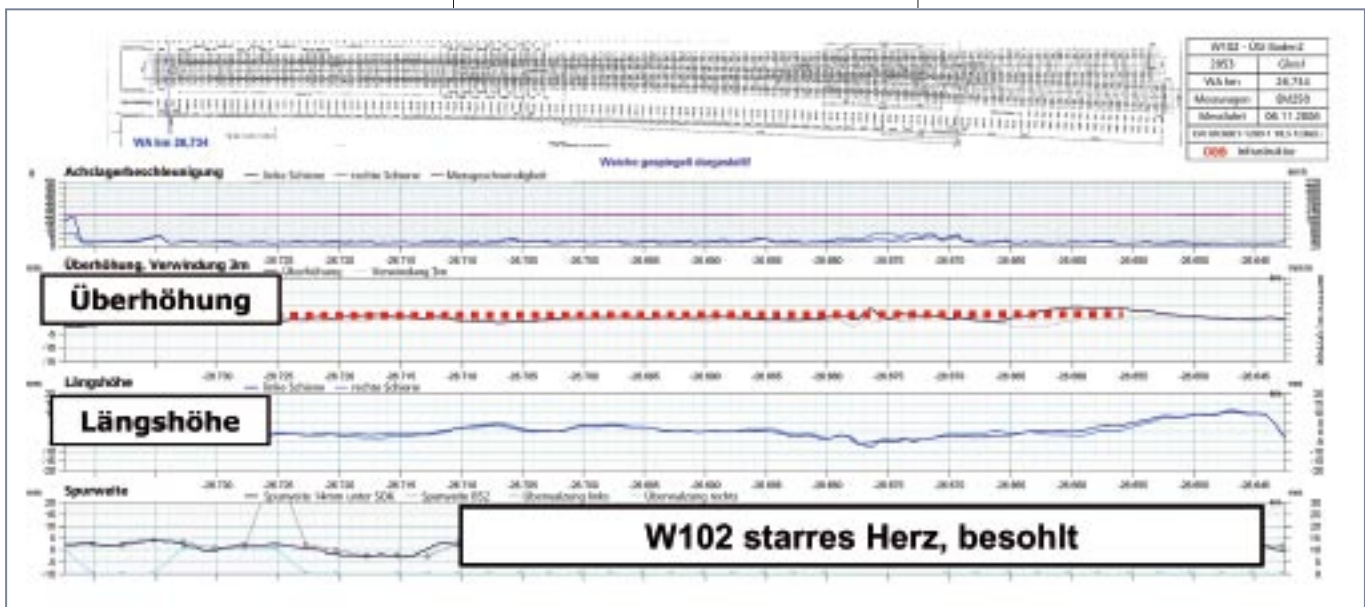


Bild 26: Messschrieb der besohnten Weiche mit starrem Herz

Die Ergebnisse wurden an verschiedenen Abschnitten verifiziert. Derzeit läuft ein Programm zur optimalen Auslegung der Bauteile von Gleisen in Abhängigkeit von den verschiedenen Rahmenbedingungen wie Untergrundsteifigkeit, Bogenradius, zulässige Geschwindigkeit, Schotterqualität etc.

– A 367 –

(Indexstichworte: Eisenbahn-Oberbau, Komponenten)

(Bildnachweis: 1 bis 26, Verfasser)

Literatur

- [1] Veit, P.: Habilitationsschrift „Projekt Strategie Fahrweg“, TU Graz 1999.
- [2] Engel, J.: Skriptum „Bodenmechanik“, HTW Dresden.
- [3] Potvin, R.: Schieneneinsenkung und Schwellenbesohlungssteifigkeit. *El Der Eisenbahningenieur* 59 (2008) 6, S. 39–44.
- [4] Ripke, B.; Pires, E.: Under Sleeper Pads – Simulations of track dynamic with different combinations of pad and soil stiffness. Forschungsbericht, München 2006.
- [5] Schilder, R.: Erfahrungen mit besohlenen Schwellen. Vortrag, ÖVG-Tagung, Salzburg 2004.
- [6] Fischer, J.: Einfluss von Frequenz und Amplitude auf die Stabilisierung von Oberbauschotter. Dissertationsschrift, TU Graz 1983.
- [7] Monaco, V.: Untersuchungen zu Schwellenbesohlungen im Oberbau. Dissertationsschrift, TU Graz 2004.
- [8] Auer, F.: Erfahrungen mit Schwellenbesohlungen in engen Bögen und Weichen. Fachvortrag Schwarzenberg 2007.
- [9] Loy, H.: Rechnerische Optimierung von besohlenen Weichenschwellen im Schotteroberbau. *Special ETR Austria* 2006, S. 366.



Dipl.-Ing. Florian Auer (33). Besuch einer Höheren Technischen Lehranstalt für Nachrichtentechnik, anschließend Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Graz bis 2002. Anschließend beschäftigt im Bereich der ÖBB-Gleisinstand-

haltung: Entwicklung und Auswertung einer neuen Gleiszustandsanalysesoftware, Spezialist für Rollkontaktermüdungsfehler, Schienenbefestigung, Schwellenbesohlung und Untergrundsanierungen; Mitarbeit in diversen nationalen und internationalen Gremien.

Anschrift: ÖBB Infrastruktur Betrieb AG, Gleisbau-techniker Infra.Service, Elisabethstraße 9, 1010 Wien, Österreich.

E-Mail: florian.auer@oebb.at



Dipl.-Ing. Dr. Rudolf Schilder (58). Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Graz bis 1979. Anschließend Universitätsassistent am Institut für Eisenbahnwesen der TU Graz. 1983 Aufnahme der Tätigkeit bei den ÖBB und Ausübung

verschiedener Funktionen; 1996 verantwortlich für den Bereich Gleistechnik in der Geschäftsbereichsleitung Fahrweg; 2005 Leiter des Fachbereichs Oberbau in der ÖBB Infrastruktur Bau AG und seit 2007 Leiter des Geschäftsbereichs Bau und Instandhaltung der Bau AG. Mitarbeit in verschiedenen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen bzw. Arbeitsausschüssen wie ÖNORM, ÖVG (Österreichische Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, Arbeitsausschuss Eisenbahntechnik), CEN, UIC, AEIF und ERA.

Anschrift: ÖBB Infrastruktur Bau AG, Bau und Instandhaltung, Pottendorferstraße 25–27, 1120 Wien, Österreich.

E-Mail: rudolf.schilder@bau.oebb.at