

Der dynamische Gleisstabilisator (DGS) auf dem Prüfstand

Der DGS bewirkt durch eine laterale Schwingungseinleitung des frisch durchgearbeiteten Gleises eine vorweggenommene Konsolidierung des Schotters. Dadurch soll der Streckenabschnitt unmittelbar nach einer Instandhaltung sofort wieder mit der zulässigen Geschwindigkeit freigegeben werden. Die Wirksamkeit des DGS hinsichtlich der Verbesserung der Gleislagestabilität wurde theoretisch und experimentell am Prüfamf für Verkehrswegebau der TU München untersucht.



Betrieb und Instandhaltung unzertrennlich

Das Transportsystem Eisenbahn nimmt in der heutigen Gesellschaft einen hohen Stellenwert ein. Die Deutsche Bahn (DB) befördert täglich 7,1 Mio. Reisende (2019) auf rund 33 400 km Streckennetz. Primäres Ziel der DB ist die „Starke Schiene“, mit dem mehr Verkehr auf die Schiene gebracht werden soll. Um dieses hohe Verkehrsaufkommen abzuwickeln, besteht Bedarf an Oberbausystemen, die sich durch einen hohen Sicherheitsstandard und eine hohe Verfügbarkeit auszeichnen. Es werden heutzutage zwei wesentliche Oberbausysteme eingesetzt, der Schotteroberbau und die Feste Fahrbahn. Der Schotteroberbau lässt sich von Nebenstrecken bis hin zu Hochgeschwindigkeitsstrecken finden und ist ein universell einsetzbarer Oberbau. Der Schotteroberbau zeichnet sich durch die „schwimmende Lagerung“ der Schwellen in einem losen Haufwerk von Schotter aus. Durch die tägliche Belastung aus Personen- und/oder Güterverkehr verändert sich die Gleislage und muss daher regelmäßig instandgehalten werden. In dem Zeitraum der Instandhaltung steht das Gleis zur Abwicklung des Verkehrsaufkommens nicht zur Verfügung. Daher ist es wichtig die Instandhaltung zügig und sorgfältig durchzuführen, sodass der Gleisabschnitt möglichst lang für den Betrieb zur Verfügung steht. Daher kommen Großbaumaschinen für die einzelnen Arbeitsschritte wie Planungsverbesserung, Bettungsreinigung und zum Herstellen der Sollage sowie zum Verdichten des Schotterbetts zum Einsatz.

Trotz der präzisen Arbeitstechnik und des hohen Qualitätsstandards muss nach einer Instandhaltung häufig eine sogenannte Langsamfahrstelle eingerichtet werden, da die Gleislagestabilität durch die Auflockerung des Schotterbettes und der damit verbundenen Reduzierung des Querverschiebewiderstandes (QVW) der Schwellen abgemindert ist. Nach einer Gleisdurcharbeitung sinkt der QVW auf ca. 50–60% des ursprünglichen Wertes vor der Durcharbeitung [1, 2]. Auch um den QVW direkt nach der Instandhaltung auf ein Niveau zu bringen, bei dem keine Langsamfahrstelle notwendig wird, hat Plasser & Theurer 1974 den dynamischen Gleisstabilisator (DGS) entwickelt. Mittlerweile wird der DGS weltweit in verschiedenen Ausführungen auf unterschiedlichen Eisenbahnstrecken eingesetzt. Seit seiner Einführung im Jahr 1974 haben sich neben dem DGS auch der Oberbau und dessen Komponenten weiterentwickelt. Plasser & Theurer hat eine umfangreiche Untersuchung – „DynaTrack“ durch den Lehrstuhl und Prüfamf für Verkehrswegebau der Technischen Universität München (TUM) angestoßen und finanziert, um die Wirksamkeit des DGS vor allem im Hinblick auf die weiterentwickelten und zunehmend elastischen Oberbauformen bzw. Komponenten zu evaluieren.

Forschungsprojekt „DynaTrack“

Ansatz für das Forschungsprojekt „DynaTrack“ waren teilweise widersprüchliche Aussagen zur Wirksamkeit des DGS, die in bereits vorher durchgeführten Projekten getroffen wurden. Die Literaturrecherche



Sophie Feurig, M.Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Lehrstuhl und Prüfamf für
Verkehrswegebau, Technische
Universität München
sophie.feurig@tum.de



Dr.-Ing. Walter Stahl

Akademischer Direktor
Lehrstuhl und Prüfamf für
Verkehrswegebau, Technische
Universität München
walter.stahl@tum.de



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

Ordinarius und Direktor des
Prüfantes, Lehrstuhl und Prüfamf
für Verkehrswegebau, Technische
Universität München
stephan.freudenstein@tum.de



Dipl.-Ing. Bernhard Antony

Leiter Technologiezentrum
Purkersdorf, Plasser & Theurer,
Wien
bernhard.antony
@plassertheurer.com



Dipl.-Ing. Dr. Florian Auer

Leiter Technologie und Inno-
vation, Plasser & Theurer,
Wien
florian.auer@plassertheurer.com



1: Ausschnitt des DGS 09-3X-Dynamic [5] mit einem Doppelaggregat

chrone Anregung des Gleises und bei einer gleichen Schwingrichtung der beiden Stabilisationsaggregate entsteht eine synchrone Anregung des Gleises.

Feldmessungen

Es wurden Messungen bei insgesamt fünf verschiedenen Umbaumaßnahmen in Deutschland bzw. Österreich durchgeführt. Maßgeblich wurde der Querverschiebewiderstand zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach den Durcharbeitungen gemessen, um hier die Entwicklung der Gleislagestabilität nach dem Einsatz des DGS nachzuvollziehen. Zu diesem Zweck wurde jeweils ein Referenzabschnitt gebildet, bei dem kein DGS zum Einsatz kam, um einen Vergleichswert für die Entwicklung des QVW zu erhalten. Bei allen Messabschnitten wurde der QVW direkt nach der Durcharbeitung, nach einer Betriebsbelastung von 100 000 Lasttonnen (Lt) und nach 1,5 Mio. Lt gemessen. Nach Möglichkeit wurde die Durcharbeitung mit dem DGS messtechnisch im Hinblick auf auftretende Beschleunigungen (Schwelle) begleitet. Dadurch konnte das Zusammenwirken der Arbeitsweisen des DGS und das Schotterverhalten bzw. die Reaktion des Oberbaus erfasst und analysiert werden. Weiterhin wurden einzelne Schotterproben genommen, um einen möglichen Verschleiß des Schotters bewerten zu können. Darüber hinaus wurde auch die Gleislage zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst, um die Arbeitsqualität des DGS zu bewerten.

Die QVW-Messungen im Feld ergaben eine Vorwegnahme der Konsolidierung des Schotters äquivalent zu 100 000 Lt Verkehrsbelastung für die Oberbauform mit Schwellen vom Typ B70, mit Zwischenlage Zw687a und Schiene 60 E2 und für die Oberbauform einer Schwelle vom Typ B07 besohlt, mit einer Zw1000 und dem Schienenprofil 60 E2. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass der weitere Anstieg des QVW durch die Betriebsbelastung im Nachgang des DGS-Einsatzes, aber auch der Ausgangswert des QVW direkt nach dem Stopfvorgang abhängig vom Schwellentyp variiert. Hier spielen die Schwellenparameter wie Schwellengewicht, Besohlung der Schwellen und die Schwellenform eine maßgebliche Rolle. Festzuhalten ist, dass ein optimaler QVW nur erreicht werden kann, wenn der DGS nach jedem Stopfvorgang eingesetzt wird. Dieses Forschungsergebnis steht im Widerspruch mit dem aktuellen Regelwerk der Deutschen Bahn, der derzeit gültigen Richtlinie DS 820 03 15

zu Beginn des Forschungsprojektes „DynaTrack“ zeigte die Kontroversen auf und bildete die Basis zur Analyse offener Fragestellungen, die dann im weiteren Verlauf durch umfangreiche Feldmessungen und Laborversuche beantwortet wurden.

Die sich daraus ergebenden zentralen Aspekte der Forschung bezüglich des DGS sind [5]:

- Die Vorwegnahme der Anfangssetzung aus Betriebsbelastung
- Anhaltende Qualität der Gleislagegeometrie
- Verlängerung der Durcharbeitungsintervalle
- Möglicher beschleunigter Verschleiß des Schotters
- Schwellenbiegung

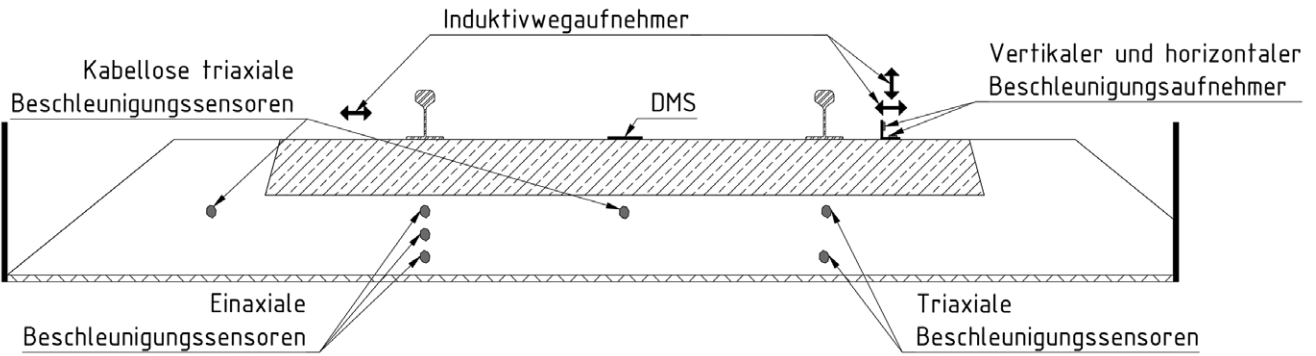
Mit Hilfe von Feldmessungen, die im Zeitraum März 2017 bis Juni 2018 durchgeführt wurden, wurde der aktuelle Stand der Technik und die Wirksamkeit des DGS mit den üblichen in der Praxis verwendeten Maschinenparametern festgehalten. Mit diesem Kenntnisstand wurden das Konzept und der Aufbau für die Laborversuche entwickelt. 2019 wurden mit einem Stabilisationsaggregat, das Kernstück des DGS, auf einem knapp 6 m langen Gleisabschnitt Laborversuche durchgeführt. Das genaue Vorgehen und die ausführlichen Ergebnisse werden in Form einer Promotion festgehalten, die voraussichtlich Ende 2020 veröffentlicht wird [5]. Im Weiteren werden die

Funktionsweise des DGS erläutert, die Ergebnisse der Feldmessungen kurz zusammengefasst und abschließend die Vorgehensweise der Laborversuche beschrieben.

Funktionsweise DGS

Das Kernstück des DGS besteht aus einem Einzel- oder einem Doppelaggregat, das Doppelaggregat ist in Bild 1 dargestellt. Es besteht aus zwei Stabilisationsaggregaten. Das Stabilisationsaggregat bringt das Gleis unter einer definierten vertikalen Auflast in horizontale Schwingungen, die durch Rollenteller auf das Gleis übertragen werden, wodurch ein kraftschlüssiger Verbund zwischen DGS und Gleis gewährleistet wird. Durch vier Unwuchten in jedem Stabilisationsaggregat wird das Gleis in lateraler Richtung mit einer Schlagkraft, die abhängig von der Schwingfrequenz der Unwuchten und dessen Exzentrizität ist, angeregt. Die Schwingfrequenz kann üblicherweise zwischen 0 Hz bis 45 Hz variabel eingestellt werden. Dadurch ergibt sich eine maximale laterale Schlagkraft von 350 kN. Die Hydraulikzylinder, die eine vertikale Auflast bis zu 355 kN aufbringen können, sind stufenlos regelbar [6]. Momentan sind zwei Funktionsweisen des DGS in Bezug auf die synchronisierten Unwuchten im Einsatz. Die Unwuchten in den jeweiligen Doppelstabilisationsaggregaten können entweder lateral gleich oder gegengleich arbeiten. Durch die unterschiedlichen Schwingrichtungen entsteht eine asyn-

Messtechnik



2: Querschnitt des Laborversuchsaufbaus (Maße in mm) [5]

[3]. Ein Einsatz des DGS nach jedem Stopfvorgang wurde aber bereits in der 2018 neu veröffentlichten Richtlinie 824.2200 [4] aufgenommen.

Aufgrund der Anfangsverschlechterung der Gleislage innerhalb der Konsolidierungsphase, die maßgeblich in den ersten 100 000 Lt Betriebsbelastung stattfindet, wird häufig ein so genannter Belastungsstopp notwendig. Bei zwei der fünf untersuchten Umbaumaßnahmen

wurden die Setzungen nach 100 000 Lt und nach 1,5 Mio. Lt festgehalten. Bei einem Vergleich der Messabschnitte konnten in den Abschnitten, die nach jedem Stopfvorgang mit dem DGS bearbeitet wurden, die geringsten Setzungen festgestellt werden. Die Referenzabschnitte, in denen der DGS nicht zum Einsatz kam, zeigten größere Setzungen nach einer Betriebsbelastung von 100.000 Lt und auch nach 1,5 Mio. Lt.

Die Beurteilung der Schotterqualität erfolgte durch Probeentnahme von Schotter aus den Messabschnitten, in denen der DGS eingesetzt und im Vergleich dazu in Abschnitten, in denen der DGS nicht eingesetzt wurde. Die Untersuchung zeigte hinsichtlich der Korngrößenverteilung anhand der Sieblinien, des Fein- und Feinstkorns sowie auch hinsichtlich der Kornformkennzahl und der Plattigkeitskennzahl keinen erkennbaren Schotterverschleiß durch den Einsatz des DGS.



HERING Systeme Bauen mit System

modula®e Systembahnsteige

- modula®e Bahnsteige für den Neubau
- Sanierungs- und Aufhöhungssysteme modula® light/modula® flex
- Mietbare temporäre Behelfsbahnsteige

Systemdächer

- DB-zugelassene Bahnsteigdachsysteme
- Individuelle Überdachungskonstruktionen
- Überdachungen für den öffentlichen Raum

Lärmschutzsysteme

- Lärmschutz für Schiene und Straße
- Konventionelle und niedrige Lärmschutzwände
- Mobile Lärmschutzwand SonoStop.®
- Urban Protection Shield als Lärmschutz im urbanen Raum

www.heringinternational.com

HERING Bau GmbH & Co. KG Systeme Neuländer 1 57299 Burbach T +49 2736 27-137 F +49 2736 27-456 systeme@hering-bau.de



3: DGS im Labor [5]

Anhand der Messung der Schwellenbeschleunigung konnte die Wirkung der Stabilisationsaggregate des DGS analysiert werden. Durch den Verlauf der gemessenen Schwellenbeschleunigungen bzw. der daraus abgeleiteten Schwinggeschwindigkeiten lässt sich eindeutig erkennen, ob die beiden Unwuchterreger in den beiden Stabilisationsaggregaten synchron oder asynchron zueinander arbeiten. Weiterhin konnten verschiedene Tendenzen festgestellt werden. So zeigten sich beispielsweise größere Schwellenbeschleunigungen bei steiferen Oberbausystemen als bei elastischeren Oberbausystemen und auch, dass bei einem steigenden Konsolidierungsgrad des Schotterbettes die Schwellenbeschleunigungen tendenziell abnehmen [5].

Laborversuche

Mit den Laborversuchen sollte das Verständnis des Zusammenspiels des DGS mit dem Oberbau weitergehend untersucht werden. Es soll eine Abschätzung hinsichtlich optimierter Maschinenparameter für unterschiedlich elastische Oberbauformen und deren Eigenschaften getroffen werden. Zu diesem Zweck wurde das Herzstück des DGS, ein Stabilisationsaggregat mit

vier Unwuchten, im Labor auf einen Versuchsstand installiert. Der Versuchsoberbau bestand entsprechend einem realen Gleis aus Schienen 60 E2, neun Schwellen der jeweilig untersuchten Oberbauform, 30 cm Schotterbett unterhalb der Schwellenunterkante und einer Unterschottermatte. Die Unterschottermatte simulierte den Untergrund. Das Regelprofil musste einseitig eingekürzt werden aufgrund der Platzverhältnisse in der Prüfhalle. Das Bild 2 zeigt den Querschnitt des Laborversuchsaufbaus und gleichzeitig die eingesetzte Messtechnik.

Neben der verwendeten Messtechnik wie Induktivwegaufnehmern zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Bewegung des Gleisrostes, Beschleunigungssensoren an der Schwelle sowie im Schotter und Dehnmessstreifen auf der Schwelle, um deren Biegeverhalten zu analysieren, wurden analog den Feldmessungen zu verschiedenen Konsolidierungsphasen der Querverschiebewiderstand (QVW) gemessen und Schotterproben entnommen. Für die Simulation der Betriebsbelastungen wurde ein Belastungsrahmen anstelle des Stabilisationsaggregats eingesetzt und damit das Gleis mit einer Betriebsbelastung von 100 000 Lt bzw. 1,5 Mio. Lt beansprucht. Das Bild 3 zeigt den DGS bzw. das

Stabilisationsaggregat und den Aufbau im Labor des Prüfamtes für Verkehrswegebau der TUM.

In einem ersten Schritt wurde durch Vorversuche die Reaktion des Oberbaus schwingungsmesstechnisch unter dem DGS untersucht. Hierzu wurde die gesamte Bandbreite der Maschinenparameter Auflast und Stabilisierfrequenz genutzt. Zunächst wurde bei einer einheitlichen Auflast von 70 bar entsprechend 110 kN die Stabilisierfrequenz zwischen 25 Hz und 40 Hz variiert. Anschließend wurde das Gleis bei einer einheitlichen Stabilisierfrequenz von unter anderem 34 Hz mit einer Auflast zwischen 40 bar bis 130 bar entsprechend 60 kN bis 204 kN beansprucht. Auf Basis der Ergebnisse der Vorversuche wurden gezielte Parameterkombinationen der Auflast und Stabilisierfrequenz gewählt, mit denen im zweiten Schritt eine Überfahrt des DGS auf dem Labor-Gleisabschnitt simuliert und anschließend die Betriebsbelastung aufgebracht wurde.

Anhand der Laborversuche konnten verschiedene charakteristische Verläufe der Schwellenbeschleunigung festgehalten werden, die sich zum einen aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Oberbaus und zum anderen aufgrund der Einwirkung durch den DGS ergeben haben. Der Einfluss

aus dem Oberbau kommt vor allem durch die Steifigkeit des Gesamtsystems und die damit übertragene Anregung durch den DGS in den Schotter. Diese zeichnet sich maßgeblich durch das Schwellengewicht, die Schwellenform und die Schwellenbesohlung aus, da diese Komponenten neben der Dämpfung aus dem Schienenbefestigungssystem direkten Einfluss auf die Übertragung der Anregung durch den DGS in das Schotterbett nehmen.

Durch die QVW-Messungen konnte unter anderem der Anstieg des QVW bei der besohnten Schwelle B07 So zu 50 % der Besohlung und zu 50 % dem Schwellengewicht sowie der Schwellenform zugeordnet werden. Diese Erkenntnis basiert auf dem Vergleich zu der unbesohnten Schwelle B70. Weiterhin konnten oberbauspezifische Parameterkombinationen für die Maschineneinstellungen festgehalten werden, die eine Optimierung des QVW im Feld erwarten lassen. Diese oberbauspezifischen Parameter müssen noch in situ verifiziert werden.

Wie bei den Feldversuchen konnte bei den Laborversuchen kein erhöhter Schotterverschleiß oder Verschleiß der Zwischenlagen bzw. der Schwellen festgestellt werden. Die Schwellen erfahren teilweise kurzfristig höhere Biegebeanspruchungen als durch die übliche Betriebsbelastung. Allerdings liegt diese kurzfristige höhere Belastung deutlich unter dem Grenzwert für eine strukturelle Schädigung der Schwelle, der sich aus einem Prüfverfahren der Richtlinien DBS 918 143 und DIN EN 13230-1:2016:11 ergibt [7, 8].

Fazit und Ausblick

Das Forschungsprojekt „DynaTrack“ gab dem Prüfamts für Verkehrswegebau die Möglichkeit den DGS hinsichtlich seiner Wirksamkeit zu evaluieren und gleichzeitig das Verständnis der Interaktion zwischen DGS und elastischer Oberbauformen zu vertiefen. Es lässt sich abschließend festhalten, dass der DGS eine Konsolidierung einer Betriebsbelastung entsprechend 100 000 Lt mit den aktuellen Maschinenparametern vorwegnimmt. Das Setzungsverhalten ist geringer als in Vergleichsabschnitten und es konnte kein Schädigungspotential in Bezug auf die Schwelle, den Schotter und die Zwischenlage festgestellt werden. Trotz der umfangreichen Untersuchungen und der daraus abgeleiteten Erkenntnisse gilt es noch zu klären, welchen Mehrwert die aus den Laborversuchen abgeleiteten

optimierten Maschinenparameter in situ bringen oder wie sich eine Anregung des Oberbaus durch den DGS außerhalb des Fließbereiches des Schotters im Vergleich zu einer Anregung innerhalb des Fließbereiches auswirkt. Eine umfangreiche Beschreibung des Forschungsprojektes, der Vorgehensweise sowie eine detaillierte Ergebnisdiskussion findet sich in der Dissertation, die zu diesem Thema Ende 2020 veröffentlicht werden wird. •

Literatur

- [1] F. Birmann, J. Eisenmann, Beanspruchung und Verhalten des Eisenbahnschotters, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 1973.
- [2] F. Auer, B. Antony, Der dynamische Gleisstabilisator auf Schiene, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 2019.
- [3] Deutsche Bahn: Richtlinie DS 820 03 15: Dynamische Stabilisierung von Gleisen und Weichen.
- [4] DB Netz AG: Richtlinie 824.2200: Oberbauarbeiten durchführen, Maschinelle Stopf-Richtarbeiten durchführen. Ausgabe September 2018.
- [5] S. Feurig: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Optimierung des Dynamischen Gleisstabilisators (DGS) im Hinblick auf eine Verbesserung der Gleislagestabilität, Dissertation 2020, Lehrstuhl und Prüfamts für Verkehrswegebau, TU München, bisher unveröffentlicht.
- [6] Plasser & Theurer G.m.b.H.: DGS: Die Technologie des dynamischen Gleisstabilisierens. Allgemeine Einführung, Funktionsprinzip, Arbeitsanleitung, Erstversion Ausgabe April 2010
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 13230-1:2016:11: Bahnanwendung – Oberbau – Gleis- und Weichenschwellen aus Beton – Teil: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13230-1:2016.
- [8] DB Netz AG: DBS 918 143: Gleis – und Weichenschwellen aus Beton für Schotteroberbau (Scho) und Feste Fahrbahn (FF). Ausgabe Dezember 2015.

Summary

The dynamic track stabilizer on the test bench

The dynamic track stabilizer (DGS) causes an anticipated consolidation of the ballast through a lateral vibration initiation of the recently worked through ballast bed. This is intended to release the track section immediately after maintenance at the permitted speed. The effectiveness of the dynamic track stabilizer concerning the improvement of the ballasted track was investigated theoretically and experimentally at the Institute of Road, Railway and Airfield Construction of the Technical University of Munich.

ROBEL. MEHR ALS HERSTELLER. IHR 360° SERVICE-PARTNER.



ROCHECK

Revision/Retrofit für Systeme & Fahrzeuge

ROBEL. Ein zugelassenes Werk für Instandsetzung und Reparatur.

- Großeinsatz bei Großmaschinen, Revision, Retrofit und Maschinenumbauten
- Genaue Überprüfung, vorschriftsgemäße Serviceleistung
- Verlässliche Partnerschaft, verlässlicher Rundum Service

www.robel.com

 **ROBEL**