Laborversuche mit dem dynamischen Gleisstabilisator

Am Prüfamt für Verkehrswegebau der TU München wird der Einfluss des DGS auf verschiedene Oberbauformen und dessen Wirksamkeit untersucht.

SOPHIE FEURIG | WALTER STAHL | STEPHAN FREUDENSTEIN

Im Auftrag der Firma Plasser & Theurer werden durch das Prüfamt Verkehrswegebau in einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Einfluss und die Wirksamkeit des dynamischen Gleisstabilisators (DGS) auf verschiedene Oberbauformen untersucht. Im Zuge des Projektes wurden Feld- und Laborversuche durchgeführt. Die Feldversuche dienen zunächst als Referenz und zur Validierung der Wirksamkeit des DGS bei verschiedenen Oberbauformen. Bei den Laborversuchen sollen die Feldversuche verifiziert und darüber hinaus maschinenseitig die Frequenz sowie die Auflast variiert werden. Mithilfe eines maßstabsgetreuen Aufbaus (1:1) konnten die Wirksamkeit der aktuellen Standardeinstellungen und gleichzeitig der Einfluss der Variation der Einstellungsparameter auf die unterschiedlichen Oberbauformen untersucht werden.

Umfang des Forschungsprojektes

Im Zuge des Forschungsprojekts werden die Regelungsparameter des dynamischen Gleisstabilisators (DGS) hinsichtlich der Interaktion mit dem Oberbausystem bzw. den Oberbaukomponenten experimentell und theoretisch untersucht, um Empfehlungen für eine diesbezügliche Optimierung generieren zu können. Durch eine vorangegangene Literaturrecherche konnten die Vorbehalte beim Einsatz des DGS analysiert werden. Anschließend wurden zwei Umbaumaßnahmen, bei denen der DGS zum Einsatz kam, messtechnisch begleitet. Weiterhin wurde das Schwingungsverhalten der Schwelle bei verschiedenen Umbau- und Durcharbeitungsmaßnahmen mittels Beschleunigungsmesstechnik in Deutschland und Österreich festgehalten. Auf Basis dieser Datengrundlage wurde das Vorgehen für einen Laborversuch im Großprüfstand des Prüfamtes für Verkehrswegebau entwickelt, um hier detailliert den DGS hinsichtlich der Maschinenparameter Auflast und Frequenz zu untersuchen. Dieser Beitrag befasst sich mit dem Laborversuch vom Aufbau über die Messtechnik bis zur Durchführung der Untersuchungen.

Aufbau der Laborversuche

Die Grundlage für den Aufbau des Laborversuchs bildete die Richtlinie 820.2010 [1] der Deutschen Bahn AG (DB). Abb. 1 zeigt den Querschnitt des Aufbaus im Labor mit einer Schotterflankenneigung von 1:1,25, einer Vorkopfschotterbreite von 40 cm und einer Schotterdicke unter der Schwelle von 30 cm. Zur Entkopplung des Schotters vom Boden des Versuchsstandes und zur Simulation des Untergrundes wurde der Aufbau auf einer Unterschottermatte gelagert. Um möglichst reale Auflagerungsbedingungen zu gewährleisten, wurde eine relativ steife Unterschottermatte gewählt. Der verwendete Gleisschotter entspricht den Anforderungen des DBS 918 061 [2]. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden drei Oberbauformen untersucht, die in Deutschland Stand der Technik für hochbelastete Strecken oder Hochgeschwindigkeitsstrecken sind. Die Schiene vom Typ 60 E2 wurde bei allen drei Oberbauformen verwendet. Die erste Versuchsreihe wurde mit der Schwelle B70 mit der Schienenbefestigung W 14 K 687a durchgeführt. Dieser bisherige Standardoberbau der DB weist im Vergleich zu den beiden folgenden Systemen die geringste Elastizität auf. Anschließend wurde die besohlte Schwelle B07 mit einer Schienenbefestigung W 21 K 1000 und abschließend die Schwelle B90 mit W 14 K 900 untersucht. Die Gleisbauarbeiten wurden durch die Firma Leonhard Weiss durchgeführt. Dazu wurde der knapp 6 m lange Gleisrost – bestehend aus neun Schwellen – nach jedem Versuch ausgebaut, das Schotterbett aufgelockert, der Gleisrost wieder eingebaut, mittels Gleiswinden in die richtige Höhenlage gebracht und mit vertikalen Schwingstopfern gestopft (s. Abb. 2 und 3).

Messtechnik

Nachdem der Gleisabschnitt durch die Firma Leonhard Weiss fachgerecht hergestellt wurde, konnte die Messtechnik installiert werden. Zunächst wurde auf die Oberseite der Schwellenmitte ein Dehnmessstreifen appliziert. Mithilfe der Dehnmessstreifen kann die Biegung der Schwelle festgehalten werden. An den Schwellenenden wurden links und rechts jeweils Messbasen installiert, die schwingungstechnisch entkoppelt vom Aufbau befestigt wurden. An diesen Messbasen konnten Induktivwegaufnehmer, wie in Abb. 4 ersichtlich, befestigt werden. Die horizontalen Schwellenbewegungen wurden nur an einem Schwellenende erfasst, die vertikalen Bewegungen an beiden Schwel-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Technische Universität München / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2019

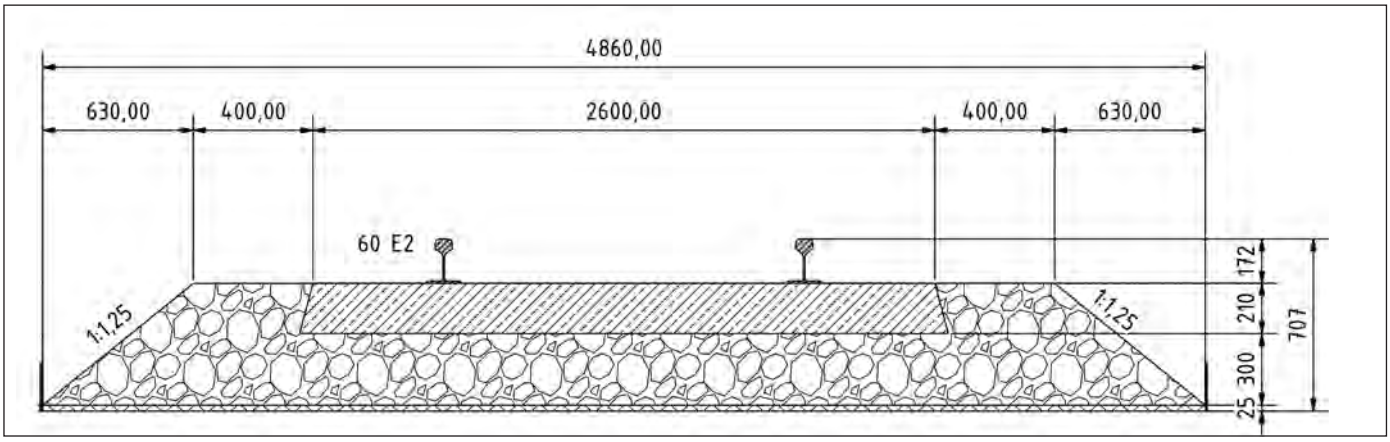

Abb. 1: Querschnitt des Laborversuchsaufbaus

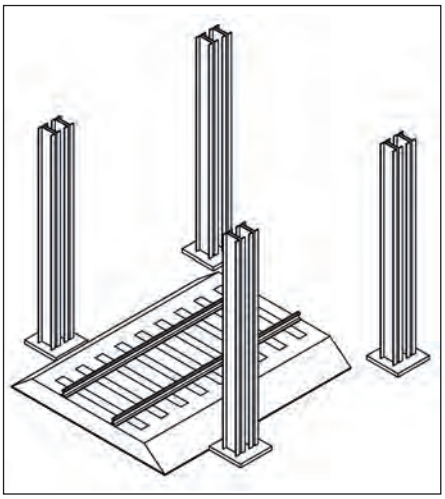

Abb. 2: Schematisch dargestellter Prüfstand

Abb. 3: Eingeschotterter Gleisrost mit neun Schwellen im Labor

lenenden, um eine mögliche Verkippung der Schwellen um die Gleisachse zu detektieren.
An drei Schwellen wurden jeweils zwei einaxial messende Beschleunigungssensoren appliziert, um die Schwingungen quer zur Gleisachse und in vertikaler Richtung zu erfassen. Die Anregungen im Schotter wurden mittels einaxialer und triaxialer Schottermesssteine in verschiedenen Tiefen und Positionen gemessen. In Abb. 5 sind die drei eingesetzten Arten von Schottermesssteinen dargestellt, die vom Lehrstuhl und Prüfamt für Verkehrswegebau entwickelt und hergestellt wurden.
Neben der geschilderten Messsensorik, welche die Veränderungen im Gleis während des Einsatzes des DGS festhielten, wurde vor und nach den Versuchen der Querverschiebewiderstand (QVW) gemessen. Diese Messgröße ermöglicht eine Bewertung der Gleislagestabilität bzw. der Schotterkonsolidierung und somit auch der Wirksamkeit des DGS.
Zur Feststellung eines möglichen Verschleißes des Schotters durch die Beanspruchung des vertikalen Handschwingstopfers und des DGS wurden Siebanalysen des Schotters vorgenommen. Dafür wurden Schotterproben über die gesamte Höhe des Querschnitts, jeweils zu Beginn einer Versuchsreihe und am Ende, genommen. Das Centrum Baustoffe und Materialprüfung der Technischen Universität München (TUM) analysierte die Sieblinie der Schotterproben und bestimmte die Plattigkeitskennzahl sowie die Kornformkennzahl.

Wie passt eine Baumaschine ins Labor?

Zu Beginn des Forschungsvorhabens stellte sich zunächst die Frage: Wie bringen wir den dynamischen Gleisstabilisator – eine Baumaschine – in die Halle des Prüfamtes Verkehrswegebau? Schnell wurde klar, dass das Stabilisationsaggregat nicht nur von der Maschine entkoppelt werden muss, sondern auch eine Alternative zur dieselangetriebenen Hydraulik benötigt wird. Plasser & Theurer lieferte ein von der Maschine entkoppeltes elektro-hydraulisches Stabilisationsaggregat in einer speziell angefertigten Aufhängung (Abb. 6). Das Gesamtgewicht des Aggregats inklusive Rahmen betrug ca. 2,7 t.
Zur Simulation der Überfahrt im Labor entschied man sich für die DGS-Version mit verstellbarer Unwucht. Die Exzentrizität der vier Unwuchtmassen des Aggregats ist dabei steuerbar. Damit kann, unabhängig von der jeweiligen Frequenz, die Schlagkraft von Null bis annähernd 100 % variiert werden. Die Frequenz kann zwischen 25 und 40 Hz gewählt werden. Durch zwei Auflastzylinder kann eine vertikale Auflast von bis zu 130 bar bzw. ca. 204 kN ins System eingebracht werden. Damit die Auflast auch im Labor auf den Gleisrost übertragen werden kann, wurde der Prüfrahmen (in Abb. 6 graue Träger) so angepasst, dass sich das Stabilisationsaggregat gegen diesen abstützen kann.

Durchführung der Laborversuche

Die Laborversuche wurden für jede untersuchte Oberbauform zweistufig aufgebaut. Zunächst wurden mittels Vorversuchen die relevanten Parametereinstellungen für die eigentlichen Hauptversuche ermittelt und diese dann in weiterer Folge für die simulierten Überfahrten des dynamischen Gleisstabilisators angewandt.

Vorversuch

Für den Vorversuch wurde auf dem neu aufgebauten und gestopften Gleis die Messtechnik installiert, der DGS eingehoben und anschließend hydraulisch sowie elektrisch angeschlossen (Abb. 7).
Im Vordergrund der Laborversuche stand die Untersuchung der Auswirkung von verschiedenen Frequenzen und Auflasten auf die unterschiedlichen Oberbauformen im Schotter. Ziel ist es, die optimale Arbeitseinstellung des dynamischen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Technische Universität München / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2019

Abb. 4: Vertikal angeordnete Induktivwegaufnehmer an Messbasis befestigt

Abb. 5: Schottermesssteine (Sms), vom Lehrstuhl und Prüfamt für Verkehrswegebau entwickelt (links: triaxialer Sms; Mitte: einaxialer Sms; rechts: triaxialer und kabelloser Schottermessstein)

Abb. 6: Entkoppelter, elektrisch angetriebener DGS

Abb. 7: Elektrisch und hydraulisch angeschlossener DGS auf Position 1 im Labor

Quelle Abb. 1-7: TUM, Prüfamt Verkehrswegebau

Gleisstabilisators für unterschiedliche elastische Oberbauformen zu ermitteln. Aus diesem Grund wurde im Vorversuch zunächst die Frequenz variiert, wobei die Auflast konstant blieb. Anschließend wurde bei ausgewählten Frequenzen die Auflast variiert. Von besonderem Interesse waren dabei zum einen unterschiedliche Auflasten bei der Standardfrequenz von 34 Hz sowie zum anderen diejenige Frequenz (27 bzw. 30 Hz), bei der im Vorversuch die größten Schwellenbeschleunigungen auftraten.

Durch die Vorversuche konnte die Interaktion zwischen DGS, Schwelle und Schotter beobachtet werden. In jeder Versuchsreihe gab es Extremwerte der Beschleunigung, die dann mithilfe der weiteren Überfahrtensimulation untersucht wurden.

Simulation einer Überfahrt im Labor

Das Stabilisationsaggregat arbeitete an zwei Positionen im Gleis. Der Abstand der beiden Positionen entspricht exakt dem Abstand eines Doppelaggregats. Da der DGS nicht über den knapp 6 m langen Gleisabschnitt im Labor mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden konnte, wurde der DGS an zwei Positionen stationär eingesetzt. Durch die vorangegangenen Feldversuche des Prüfamtes Verkehrswegebau an den Oberbauformen, wie sie auch im Labor eingesetzt wurden, war bereits bekannt, dass die Vibrationseinwirkung des DGS auf eine Schwelle ca. 10 Sekunden dauert. Die Intensität steigt dabei an, bis der DGS direkt über der Schwelle steht und flacht danach wieder ab. Die Überfahrt an den beiden Positionen wurde deshalb steuerungstechnisch mithilfe einer „virtuellen Rampe" substituiert, in deren Verlauf die Unwuchtmassen ein- und ausgefahren wurden. Durch den gewählten Aufbau des Gleises und die Positionen des DGS konnten sieben der neun Schwellen des Versuchsstandes für die Querverschiebewiderstandsuntersuchungen herangezogen werden.

Simulation der Verkehrsbelastung im Labor

Das durch den DGS stabilisierte Gleis wurde mit einer Verkehrsbelastung von insgesamt 1,5 Mio. Lasttonnen beaufschlagt. Zur Simulation der Verkehrsbelastung wurde eine spezielle Versuchseinrichtung zu dem verwendeten Belastungsrahmen weiterentwickelt, die in [3] beschrieben ist. Durch diesen Belastungsrahmen wurde eine Achslast von 18 t jeweils an den zwei Punkten, an denen zuvor bereits der DGS positioniert war, mit einer harmonischen Schwingung dynamisch aufgebracht. In festgelegten Abständen wurde die Simulation der Verkehrsbelastung unterbrochen, um den Querverschiebewiderstand an einzelnen Schwellen und die Federsteifigkeit des Schotters zu ermitteln. Dieser Prozess wurde für jede Oberbauform identisch durchgeführt.

Ausblick

Das Labor ermöglicht die Untersuchung einer Fragestellung unabhängig von verschiedenen Einflussfaktoren, die natürlicherweise im Feldversuch vorkommen. Insbesondere beim Schotteroberbau beeinflussen Umwelteinflüsse wie zum Beispiel Regen die Ergebnisse unmittelbar. Andererseits gibt es Einflussfaktoren, die ausschließlich im Labor auftreten, wie beispielsweise die nicht unendlich lange Schiene. Die dadurch entstehenden Einflüsse auf das Gleisverhalten müssen in der Versuchsplanung vorab berücksichtigt werden. Nach Möglichkeit sollten diese Einflüsse minimiert und deren Auswirkungen analysiert werden, um sie bei der Versuchsauswertung evaluieren zu können.

Ein Laborversuch dieser Größenordnung bleibt eine Herausforderung. Aufgrund der guten Zusammenarbeit mit Plasser & Theurer als Auftraggeber des Forschungsprojektes und der Gleisbaufirma Leonhard Weiss konnten ein homogener Aufbau und eine reibungslose Durchführung gesichert werden.

Bei einer ersten Betrachtung der Messwerte zeigt sich, dass das Verhalten des Schotters bei den unterschiedlichen Oberbauformen von Auflast und Frequenz abhängig ist. Hinsichtlich der Verdichtung und des Querverschiebewiderstandes zeichnen sich Optimierungspotenziale bei den Maschineneinstellungen ab, da die Fließbereiche des Schotters für die unterschiedlichen Oberbauformen von der Arbeitsfrequenz abhängig sind.

Die Ergebnisse sollen durch weitere Feldversuche im Netz der DB gesichert werden. Eine Veröffentlichung der Laborergebnisse und eine abschließende Bewertung der Arbeitsweise des DGS sollen im Jahr 2020 in Form einer Dissertation erfolgen. ■

QUELLEN

[1] Balfanz, S.: Richtlinie 820.2010: Ausrüstungsstandard Schotteroberbau für Gleise und Weichen, Dezember 2008

[2] Technische Lieferbedingung DBS 918 061: Gleisschotter, August 2006

[3] Iliev, D.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotterbaus mit konventionellen und elastisch besohlten Schwellen. Dissertation, München, 2012

Sophie Feurig, M.Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
sophie.feurig@tum.de

Dr.-Ing. Walter Stahl
Akademischer Direktor
walter.stahl@tum.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stephan Freudenstein
Ordinarius und Direktor des Prüfamtes
stephan.freudenstein@tum.de

alle Autoren:
Lehrstuhl und Prüfamt
für Verkehrswegebau
Technische Universität München

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Technische Universität München / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2019