

Roel van den Bosch

Querverschiebewiderstandsmessung mit dem dynamischen Gleisstabilisator

Der Schotter ist eine sehr wichtige Komponente des Gleises. Eine schlechte Qualität des Schotterbettes können zu hohen Sicherheitsrisiken führen. Seit mehr als 30 Jahren hat der holländische Infrastrukturmanager in die Forschung über Schottermaterial, Schotterqualität und Schotterverhalten unter betrieblichen Bedingungen investiert. Die Untersuchungen wurden vom Forschungsinstitut der holländischen Eisenbahn durchgeführt, welche 2000 die holländische Tochterfirma der britischen Firma AEA Technology Rail wurde. Nachstehend ein Überblick über die neuesten Entwicklungen der Forschung in Bezug auf die Stabilisierung des Schotterbettes.

Funktion des Schotterbettes

Die wichtigsten Funktionen des Schotterbettes sind [1]:

- Als Teil des Gleissystems: die Übertragung der Achslasten auf den Untergrund.
- Als Teil des Gleissystems: die Gewährleistung der Position der Schwellen durch

Der Autor

Dipl.-Ing. Roel van den Bosch, Principal Consultant im Bereich der Instandhaltung Infrastruktur bei DeltaRail in Utrecht (NL)

Aufbau eines Quer- und Längswiderstandes gegen die Verschiebung des Gleises.

- Als Masse-Federungs-System: die Gewährleistung der Gleiselastizität zur Minimierung der dynamischen Spannungen in den Schienen.
- Als Teil des Entwässerungssystems: die Gewährleistung einer guten Wasser- und Luftdurchlässigkeit zur Vermeidung von Frostaufbrüchen und Spritzstellen.
- Bei der Gleiserhaltung: die Gewährleistung der Gleisgeometrie oder die leichte Wiederherstellbarkeit der Gleisgeometrie.

Die mangelhafte Entwässerung des Schotterbettes wird durch das Verhalten eines fahrenden Zuges oder durch die Spritzstellen im Gleis an einem trockenen Tag offensichtlich.

Bei näherer Betrachtung einer solchen Spritzstelle zeigt Abb. 2 den Schlamm im Schotterbett. Alle Hohlräume zwischen den Schottersteinen sind mit Wasser und Schlamm gefüllt. Ein solcher Mangel im Schotterbett führt auch zu einem niedrigeren Quer- und Längsverschiebewiderstand des gesamten Gleises.

Der Querverschiebewiderstand

Die Gewährleistung, dass der Gleisrost unter unbelasteten und belasteten Bedingungen verankert und fixiert wird, ist eine der wichtigsten Funktionen des Schotter-

bettes. Aufgrund der Temperaturveränderungen werden Längskräfte in die langverschweißten Schienen eingebracht. Der Schotter muss daher stabilisiert werden, um den höchsten Querverschiebewiderstand (QVW) zu erhalten. Wenn der Querverschiebewiderstand des Schotterbettes nicht ausreicht, kann eine Gleisverwerfung entstehen (Abb. 3).

Direkt nach der Schotterreinigung oder dem Gleisumbau ist die Schotterdichte sehr niedrig. Die Schottersteine sind eigentlich einzelne Steine mit einer natürlichen Dichte. Unter dem normalen Zugbetrieb erhält das Schotterbett die notwendige maximale Dichte und gewährleistet den Querverschiebewiderstand. Um eine sichere Infrastruktur direkt nach der Durcharbeitung zu sichern, wird eine Langsamfahrstelle eingerichtet.

Seit 1975 beschäftigt sich der Infrastrukturleiter der niederländischen Bahnen mit Forschungsprojekten, um den Querverschiebewiderstand des Gleises, die Einflüsse der verschiedenen Erhaltungsmaßnahmen auf den Querverschiebewiderstand und die Stabilisierungswirkung des normalen Zugbetriebs festzustellen. Die Ergebnisse dieser Projekte führten zu einer genauen Feststellung der Dauer einer Langsamfahrstelle. Aufgrund der Trennung zwischen Infrastruktur und Betrieb gemäß den Europäischen Bestimmungen wurden neue Gleiszugangsvorschriften einschließlich einer Leistungsgarantie durch den Infrastrukturleiter aufgestellt. Dies führte für den Leiter der Infrastruktur zu der Herausforderung, Langsamfahrstellen zu vermeiden. Ein gewisser Querverschiebewiderstand muss garantiert werden, daher wurden neue Durcharbeitungsmethoden mit neuem Equipment eingeführt.

Basierend auf einem normalen niederländischen Gleis (UIC 54-Schienen und Betonschwellen) ergibt ein gut stabilisiertes Gleis einen gewissen Wert für den Querverschiebewiderstand. Alle anderen Messungen wurden diesem Wert gegenübergestellt.

Abb. 4 zeigt das allgemeine Bild von der Abnahme des Querverschiebewiderstandes nach der Schotterreinigung und der Zunahme infolge von Stopfen, Stabilisieren und normalem Zugbetrieb. Aus dieser Grafik kann man entnehmen, dass der anfängliche Querverschiebewiderstand einer alten Gleiskonstruktion (Holzschwellen und schlechte Schotterqualität) im Vergleich zur normalen Gleiskonstrukti-



Abb. 1: Spritzstelle im Schotterbett

on viel niedriger ist. Die Grafik zeigt auch, dass nach dem Stopfen der Querverschiebewiderstand niedriger ist als direkt vor dem Stopfen, dass aber die Wirksamkeit eines dynamischen Gleisstabilisators auf den Querverschiebewiderstand von großer Wichtigkeit ist.

Prinzip der Gleisstabilisierung

Während das Stopfen sowie die Vorkopf- und Zwischenfachverdichtung nur lokal begrenzt wirksam sind, stabilisiert und homogenisiert der Gleisstabilisator das gesamte Schotterbett. Man spricht daher von „räumlich umfassender“ Verdichtung [2]. Daher ergibt sich eine Stabilisierung in allen drei räumlichen Richtungen (Abb. 1). Es wird sowohl der Querverschiebewiderstand als auch der Längsverschiebewiderstand erhöht. In vertikaler Richtung kommt es zu einer Homogenisierung der Schotterbettung und einer Verringerung der Schwellenhohllagen.

Das Schwingaggregat des DGS erfasst beide Schienen und bringt unter vertikaler Auflast das Gleis in horizontale Schwingungen. Die vertikale Auflast wird dabei über zwei Hydraulikzylinder pro Stabilisieraggregat eingebracht. Die horizontale Schwingung wird durch im Aggregat umlaufende Unwuchten erzeugt. Dabei laufen jeweils zwei Unwuchten so miteinander gekoppelt, dass sich die Vertikalkomponenten aufheben. Umfangreiche Versuche der TU Graz 1983 [2] dienten der Ermittlung der optimalen Einstellwerte für Auflast, Frequenz, Einwirkzeit und Amplitude. Dabei wurde auch festgestellt, dass die Verdichtung des Schotters mit Horizontalschwingungen bis zum Faktor 7 effizienter ist als mit Vertikalschwingungen.

Als optimal hat sich weitgehend, unabhängig von der Oberbauart, ein Frequenzbereich zwischen 30 und 37 Hz erwiesen. Bei wesentlich niedrigeren Frequenzen kommt es zu erhöhten Schwingungsamplituden des Gesamtsystems Maschine – Gleisrost. Diese führen zu schwer kontrollierbaren Setzungen – deshalb wird dieser Frequenzbereich gemieden. Bei höheren Frequenzen nehmen die plasto-elastischen (verflüssigenden) Eigenschaften des Schotters zu, was ebenfalls zu einer schwer kontrollierbaren Absenkung des Gleises durch die Maschine führt. Soll ein Höchstwert an Absenkung erreicht werden, muss mit maximaler konstanter Auflast gearbeitet werden.

Messungen

Der Querverschiebewiderstand kann mit den folgenden Methoden gemessen werden:

- Jochverschiebemethode,
- Einzelschwellenverschiebemethode,

- maschinelle Gleisverschiebemethode,
- Methode mit Entgleisungswaggon und
- kontinuierliche dynamische Messung des Querverschiebewiderstandes.

Die Einzelschwellenverschiebemethode ist die Referenzmethode gemäß vieler nationaler Normen, die sich aber nicht für alle Messungen eignet. Integriert in einem dy-



Abb. 2: Schlamm im Schotter auf Grund mangelnder Entwässerung



Abb. 3: Gleisverwerfung

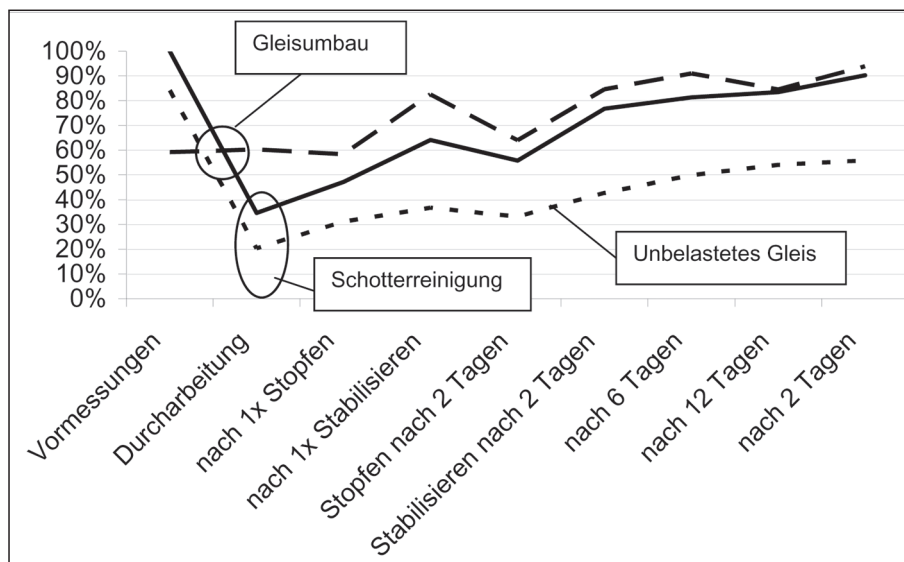


Abb. 4: Querverschiebewiderstand nach der Durcharbeitung

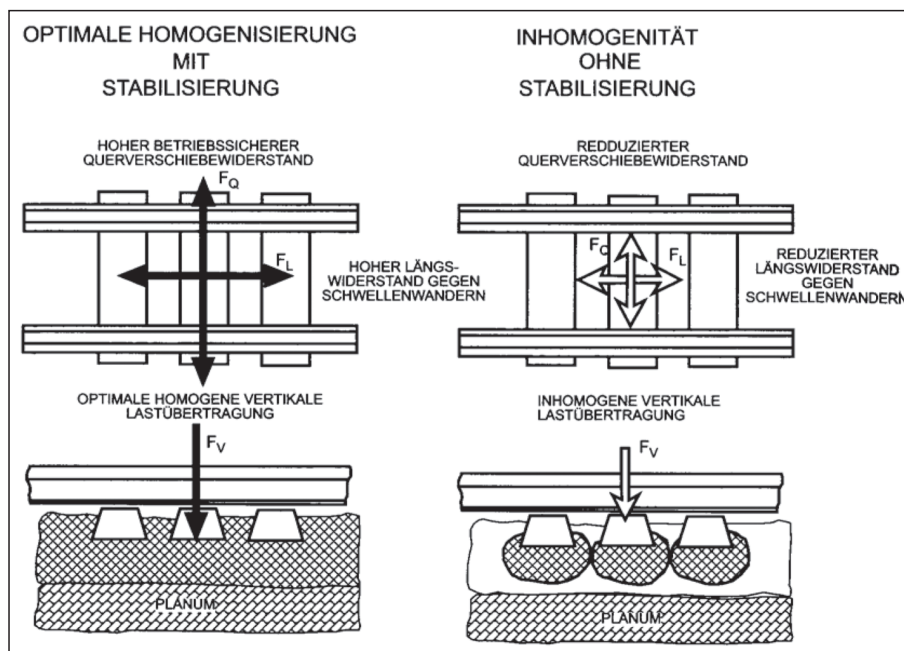


Abb. 5: Räumliche Verdichtung durch den DGS

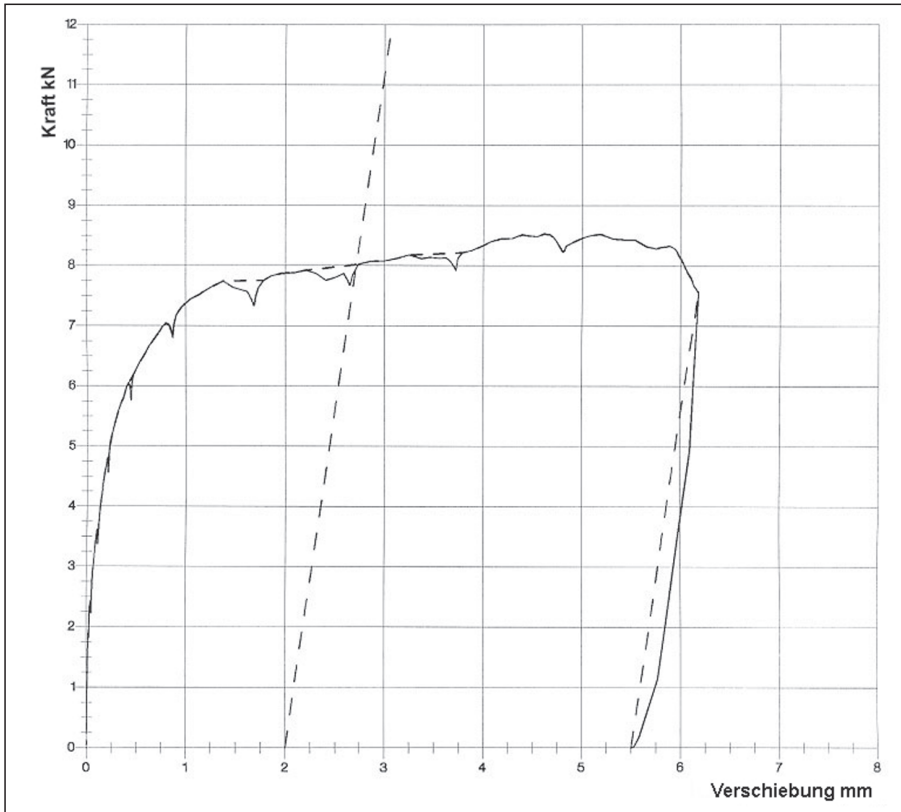


Abb. 6: Kraft-Wegdiagramm einer von Hand durchgeführter QVW-Messung

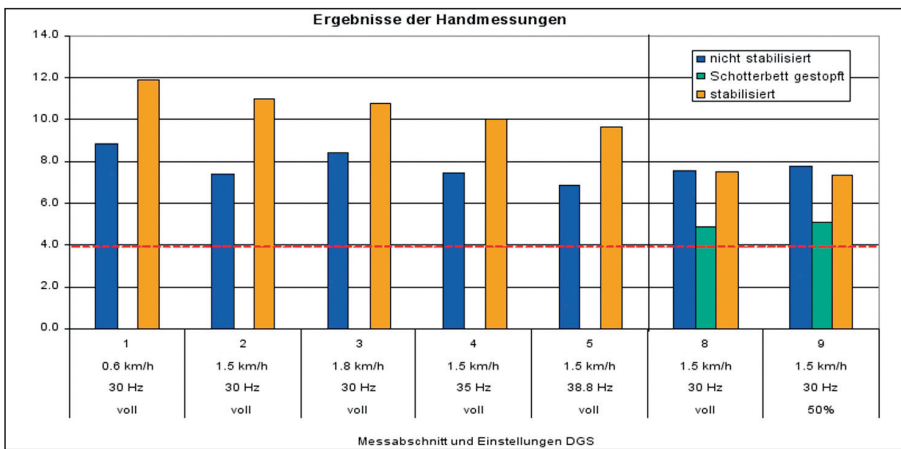


Abb. 7: QVW-Werte vor und nach Stopfung sowie nach dynamischer Gleisstabilisation

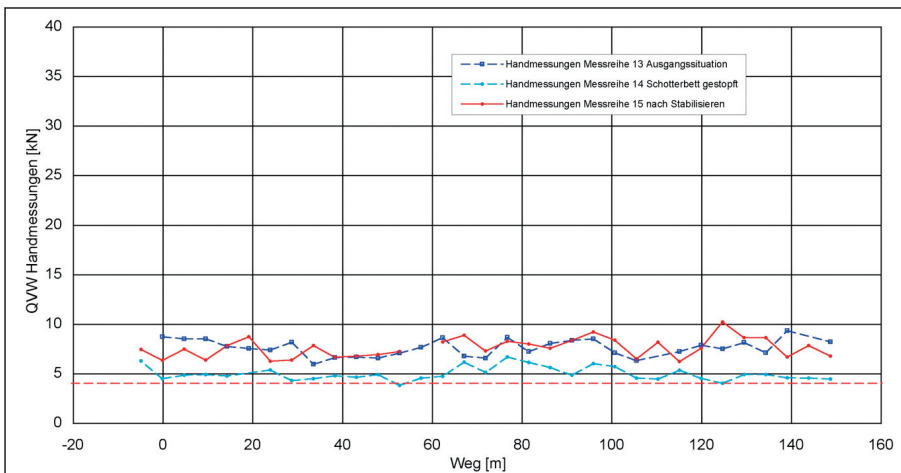


Abb. 8: QVW-Handmessungen

namischen Gleisstabilisator bietet die kontinuierliche dynamische Messmethode ein Echtzeit-Ergebnis direkt nach der Durchführung und ermöglicht es dem Unternehmer zu beweisen, dass der minimale Querverschiebewiderstand den Normen entspricht.

Diese dynamische Messmethode wurde von Plasser & Theurer entwickelt und 2005 in den Niederlanden validiert. Die Messungen sind auf der neuen Strecke der Betuweroute in neun unterschiedlichen Streckenabschnitten durchgeführt worden. Die Referenzmessung ist mit maximaler Auflast, einer Frequenz von 30 Hz und einer Geschwindigkeit von 1,5 km/h durchgeführt worden. Pro Streckenabschnitt wurde jedes Mal ein Parameter (Auflast, Geschwindigkeit, Frequenz) geändert. Messungen sind auch beim Schotterbett mit geringer Schottermenge um den Schwellenkopf, vor und nach dem Stopfen und nach der Stabilisierung durchgeführt worden.

Insgesamt wurden 18 Reihen von Messungen von Hand durchgeführt. Jede Messreihe enthält 30 bis 35 Handmessungen. Bei diesen Messungen wird die Kraft gegen die Verschiebung der Schwellen gemessen. Bei dieser so genannten Einzelschwellenmethode werden die Befestigungen ausgebaut und die Schwelle mit Hilfe einer hydraulischen Schraubenwinde um etwa 5 bis 10 mm gegen die Schiene verschoben. Die von Hand gemessenen Schwellen liegen jeweils 4,8 Meter (acht Schwellenabstände) auseinander.

Aus den von Hand durchgeführten Messungen an den einzelnen Schwellen im Kraft-Weg-Diagramm (Abb. 6) sind mittels des Rechnerprogramms DIAWIN die Nullabweichungen (Offsets) der Messsignale entfernt worden. Zunächst sind aus den Kraft-Weg-Diagrammen folgende Kennwerte ermittelt worden:

- die maximale Verschiebung und die zugehörige Kraft,
- der Neigungskoeffizient des zurückgehenden Teils des Kraft-Weg-Diagramms und
- die Kraft, die mit 2 mm bleibender Verschiebung übereinstimmt. Dieser Wert ist der Querverschiebewiderstand nach der von ProRail geführten Definition.

Ergebnisse der Handmessungen

In Abb. 7 sind die mittleren von Hand gemessenen Querverschiebewiderstände der unterschiedlichen Messabschnitte vor und nach dem Stabilisieren grafisch dargestellt. Der von ProRail geforderte Grenzwert von 4 kN ist hier als rote Strichlinie dargestellt. Diese grafische Darstellung zeigt, dass – wenn das Schotterbett neu gestopft wurde – das Stabilisieren den Querverschiebewi-

derstand bis ungefähr zum gleichen Wert wie vor dem Stopfgang erhöht.

In Abb. 8 sind für einen Messabschnitt die von Hand gemessenen Querverschiebewiderstände der unterschiedlichen Schwellen grafisch dargestellt. Man kann erkennen, dass die Querverschiebewiderstände der betrachteten Schwellen in der Ausgangssituation und nach dem Stabilisieren immer über dem von ProRail gestellten Grenzwert von 4 kN liegen. Wenn das Schotterbett gestopft worden ist, das Gleis aber noch nicht stabilisiert wurde, ist der Querverschiebewiderstand gegenüber diesem Grenzwert kritisch.

Vergleich von dynamischen und manuellen Messungen

In Abb. 9 sind die Ergebnisse der von Hand durchgeführten Messungen, zusammen mit den Ergebnissen des DGS 62 N-QVW-Messsystems, dargestellt. Die Ergebnisse der Handmessungen sind hier als eine rote Linie dargestellt. An der linken Seite des Diagramms ist die Skalierung der vertikalen Achse für die Handmessungen ersichtlich. An der rechten Seite ist die Skalierung der vertikalen Achse für die DGS 62 N-QVW-Messung angeführt. Die relative Lage der Werte auf den linken und rechten vertikalen Achsen des Diagramms ist auf Grund der vielen Messdateien der Referenzmessungen festgestellt worden. Der von ProRail geforderte Grenzwert von 4 kN ist als eine rote Strichlinie dargestellt.

Um den Vergleich der Ergebnisse von Handmessungen und DGS 62 N-Messungen zu erleichtern, ist in Abb. 10 das Signal „Q_{Sm}“ des DGS 62 N-QVW-Messsystems (der gleitende Mittelwert des Signals Q_{ab} über 20 m) zusammen mit dem gleitenden Mittelwert der Handmessungen nach dem Stabilisieren dargestellt. Dieser gleitende Mittelwert beträgt bei einem Spektrum von 4 Messungen = 19,2 m und ist als orange Linie ersichtlich. Für jeden Messabschnitt wurde der gleitende Mittelwert 1x zur Standardabweichung der Handmessung addiert und 1x subtrahiert. Die daraus resultierenden Werte sind als zwei rote Linien erkennbar.

Die relative Lage der DGS 62 N-Messergebnisse gegenüber den Handmessergebnissen stimmt für die unterschiedlichen Messabschnitte mehr oder weniger überein. Bei den Messungen mit minimaler Auflast sind die vom DGS 62 N-Messsystem erzeugten Messwerte viel höher als in allen anderen Fällen. Die Messwerte bei einer Erhöhung der Arbeitsfrequenz des Stabilisators nach 35 oder 38,8 Hz verursachen eine Erhöhung von etwa 10 % der DGS 62 N-Messergebnisse, aber nicht eine Erhöhung der von Hand gemessenen Querverschiebewiderstandswerte. Deswegen soll bei der

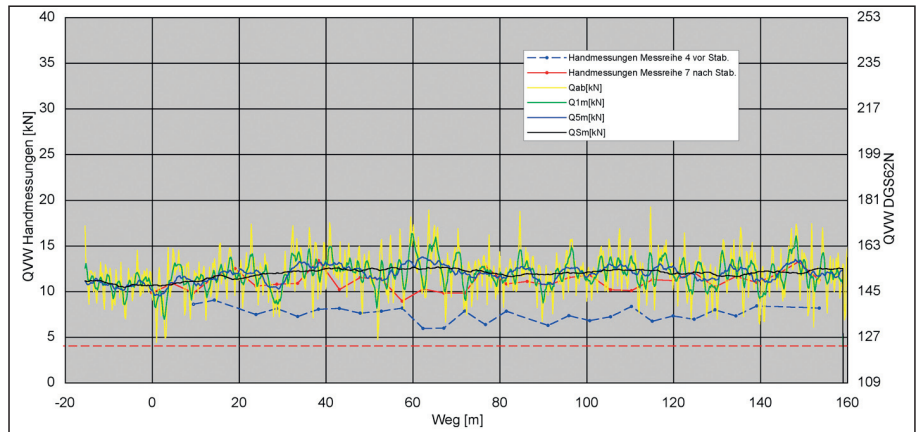


Abb. 9: Vergleich von QVW-Handmessungen und dynamisch kontinuierlich gemessenem QVW

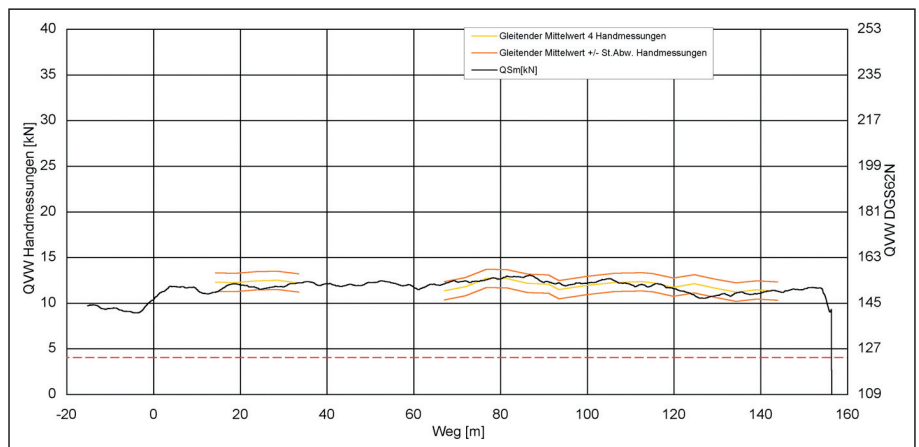


Abb. 10: Vergleich der Mittelwerte

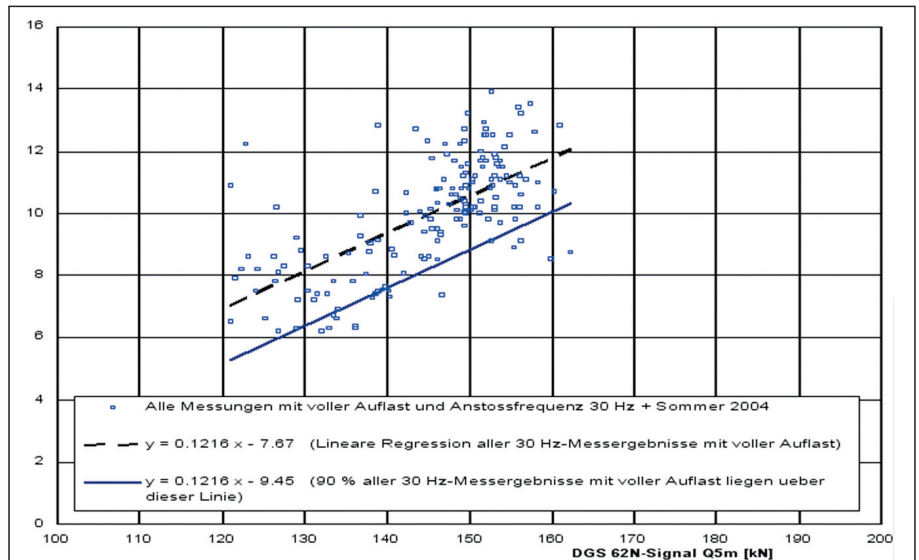


Abb. 11: Korrelation zwischen Hand- und Maschinenmessung

Ermittlung einer eindeutigen Verbindung zwischen den DGS 62 N-Messwerten und den Handmesswerten auch eine feste Arbeitsfrequenz als Randbedingung festgestellt werden.

Aus den in Abb. 11 gezeigten Messwerten ist eine lineare Regressionslinie berechnet worden.

Schlussfolgerungen

Die Querverschiebewiderstände der betrachteten Schwellen liegen in der Ausgangssituation und nach dem Stabilisieren immer über dem von ProRail gestellten Grenzwert von 4 kN. Wenn das Schotterbett gestopft worden ist, das Gleis aber

bett gestopft worden ist, das Gleis aber noch nicht stabilisiert wurde, ist der Querverschiebewiderstand gegenüber diesem Grenzwert kritisch.

Die Ergebnisse der Plasser & Theurer DGS 62 N-QVW-Messungen und der AEAT-QVW-Handmessungen weisen eine Korrelation aus. Die Relation zwischen den DGS 62 N-Messwerten und den von Hand gemessenen QVW-Werten kann angenähert werden mittels der Formeln:

$$QVW_{\text{einzelne Schwellen}} = 0,1216 * \text{Ergebnis}_{\text{DGS 62 N}} - 7,67.$$

Wenn der QVW-Wert berechnet wird mit der Formel (90 % Linie)

$$QVW_{\text{einzelne Schwellen}} = 0,1216 * \text{Ergebnis}_{\text{DGS 62 N}} - 9,45,$$

sollten die Ergebnisse dem von ProRail gestellten Grenzwert von 4 kN entsprechen. Die Formeln gelten nur für die Referenzwerte: Volle Auflast und Stabilisierungsfrequenz 30 Hz.

Bei einer Frequenz von 35 Hz ist das Ergebnis_{DGS 62N} etwa 20 % höher als bei einer Impulsfrequenz von 30 Hz. Dies wird im kontinuierlich dynamisch messenden QVW-Gerät automatisch berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind unabhängig von der Geschwindigkeit.

Die Ergebnisse sind von Prof. dr. ir. Coenraad Esveld, TU Delft, genehmigt worden.

Literatur

[1] *Lichtberger, B.*: Handbuch Gleis, Tetzlaff Verlag, Hamburg 2. Auflage 2004

[2] *Schubert, E.*: Die räumliche Wirkung der Verdichtung des Gleisschotter, ETR Eisenbahntechnische Rundschau (37) 1/1988, S. 71 - 74

[3] *Fischer, J.*: Einfluss von Frequenz und Amplitude auf die Stabilisierung von Oberbauschotter, Dissertation, TU Graz, Juni 1983

Summary / Résumé