

Untersuchungen zu Verspanntemperaturen sowie Optimierung von Instandhaltungskosten im Lückenlosen Gleis

Dipl.-Ing. Roland Ende, Dresdner Verkehrsbetriebe AG
Dr.-Ing. Alfred Wegner, Goldschmidt Thermit GmbH, Leipzig *

Einführung

Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG verfügt innerhalb ihres Gleisnetzes über vier Elbbrücken mit Straßenbahngleisen. Drei der Brücken sind Gewölbebrücken, die alle aus dem 19. Jahrhundert stammen. Eine Brücke – die Carolabrücke – wurde infolge Kriegstotalschadens in den Jahren 1967 – 1971 als dreizügige Spannbetonbrücke neu gebaut. Der Brückenzug C nimmt hierbei die Gleise der Straßenbahn auf.

Die Oberbaukonstruktion für das Straßenbahngleis war seit der Inbetriebnahme 1971 stets eine Sonderlösung. Bis 1986 wurde eine so genannte Rillenblockschiene 112 - 55 verwendet, die auf einem Betonlängsdamm und Gummiprofilen mit Ankerbolzen auf der Brückentafel befestigt war. Die Konstruktion hat sich außerordentlich schlecht bewährt. Ab 1986 wurde der Oberbau auf Betoneinzelstützen befestigt, da die vorhandenen Ankerbolzen auf der Brückentafel weiter verwendet werden mussten. Die Konstruktion wurde in ihren Grundzügen bei der Deutschen Reichsbahn abgeschaut.

Carolabrücke Ansicht



Dresdner Verkehrsbetriebe AG



Carolabrücke Schadhafes Schienenaufleger



Dresdner Verkehrsbetriebe AG



Im Jahr 1995 mussten erneut umfangreiche Reparaturen am Gleisoberbau getätigt werden. 2007 war die Konstruktion so weit verschlissen, dass auf der gesamten Brücke die Schienenbefestigung zu erneuern war, und rund 200 der insgesamt 1.800 vorhandenen Betonhöcker neu hergestellt werden mussten. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden die vorhandenen Schienen der Form R50 gegen neue Schienen S49 ausgetauscht. Zugleich wurden Schäden an der Brückendichtung, an den Entwässerungen sowie an der Erdungsanlage beseitigt. Alle Arbeiten erfolgten unter hohem Zeitdruck, teilweise im 3-Schicht-Betrieb einschließlich der Ausnutzung der Wochenenden. Die Beton- und Epoxidharzarbeiten zur Neuherstellung der Einzelstützen wurden zum Teil im Zelt realisiert.

Die äußeren Bedingungen für eine geordnete Baustellenabwicklung waren mitunter äußerst widrig. So fanden auf dem Neustädter Elbufer die so genannten Dresdner

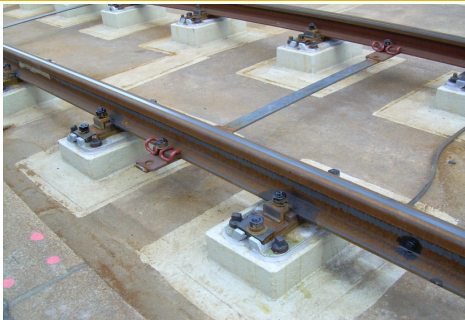
* Kontaktadresse: Elektro-Thermit GmbH & Co.KG, Chemiestrasse 24, 06132 Halle, Tel. +49 (0) 172 25 94 791

Filmnächte statt (über 50 Openair-Aufführungen), und auf der Altstädter Seite befanden sich genau unter der Brücke im Baubereich die Liegeplätze der Dampfschiffe der Weißen Flotte Dresden. Zudem war die Baustelleneinrichtung vandalistischen Akten aller Art permanent ausgesetzt.

Ermittlung von Schienenspannungen am Gleisoberbau der Carolabrücke in Dresden.

Die vor Beginn der Reparaturarbeiten 2007 vorhandenen Schäden am Gleisoberbau und an den Einzelstützenhöckern ließen nach einer Schadensanalyse auf eine komplexe Ursache der Schadensentstehung schließen. Die Hauptschäden konzentrierten sich auf einen Bereich am Altstädter Elbufer. Das Gleis liegt hier sowohl in einem Bogen als auch in einer Kuppenlage. Zudem befindet sich hier das bewegliche Lager der Brücke. Außerdem werden bedingt durch die Anordnung einer Haltestelle ständig Brems- und Anfahrkräfte in den Gleisoberbau durch die Straßenbahn eingetragen.

Carolabrücke Neue Schienenaufleger



Dresdner Verkehrsbetriebe AG



Carolabrücke DMS-Applikation 2007



Dresdner Verkehrsbetriebe AG



Eine Hauptursache für die Schadensentstehung wurde dem Auftreten hoher Schienenspannungen zugewiesen. Da der Entstehungsmechanismus dieser in unserem Brückenbereich mehrere Faktoren beinhalten könnte, wurde in die Ausschreibung der Bauleistungen zur Oberbaureparatur nicht nur das übliche Verfahren des Spannungsausgleiches im lückenlosen Gleis aufgenommen, sondern vom Gleisbaubetrieb der Spannungsnachweis zusätzlich durch Einsatz des Verfahrens RailScan verlangt. Damit war gewissermaßen die doppelte Sicherheit vorhanden, dass die vom Bauherr DVB AG vorgegebene Verspannungstemperatur bei den Schlusserschweißungen zwischen 23 und 26 °C liegt. Die mit RailScan gemachten Messungen haben einen korrekten Spannungsausgleich durch den Schweißbetrieb und die Einhaltung des vorgegebenen Temperaturbereiches bestätigt.

Im Bereich der größten Schäden auf der Altstädter Brückenseite im so genannten „Synagoge-Bogen“ wurde durch die DVB AG veranlasst, dass alle 15 m an jeder Schiene ein Dehnungsmessstreifen (DMS) appliziert wurde. Diese DMS sollten Aufschluss darüber geben, wie sich die Schienenspannung im Laufe des jahreszeitlichen Temperaturganges der Brückenkonstruktion und des Gleises sowie unter dem Einfluss der Kräfte aus Anfahr- und Bremsbewegungen der Straßenbahnzüge entwickelt. Dazu wurde nach dem Ende der Bauarbeiten im August 2007 eine Nullmessung durchgeführt. Anschließend erfolgte im Monatsabstand das Auslesen der Speicherelemente an jedem Dehnungsmessstreifen.

Durch dieses Verfahren ist eine sehr gute Überwachung des Spannungszustandes der Schienen möglich. Im Ergebnis der Nachmessungen wurde bei einer Folgemessung im September 2007 deutlich, dass alle vier Schienenstränge die im Zuge von Temperaturzyklen aufgebauten Längsspannungen bei niedrigen Zug- oder Druckspannungen nicht ordnungsgemäß an die auf dem Altstädter Elbufer angeordneten Dilatationen abgeben können. Dies wurde am 27. 09. 2007 durch das Auftreten von einer höchsten Zugspannung von fast 160 N/mm^2 sehr deutlich. Die daraus errechnete Neutraltemperatur hätte bei 79 °C gelegen.

Aufgrund der Extremwerte wurde am Folgetag eine erneute Messung durchgeführt, die völlig überraschend einen weitgehenden Ausgleich der am Vortage gemessenen hohen Spannungen hervorbrachte. Der Spannungsausgleich hat damit gewissermaßen über Nacht stattgefunden. Als Schlussfolgerung konnte nur gezogen werden, dass der Durchschubwiderstand der Schienen im besagten Brückenbereich sehr hoch war, und es kritisch hoher Spannungen bedurfte, um eine Neutralisierung in Richtung der Dehnungsstöße zuzulassen.

Die nachfolgenden Messungen bis zum Jahresende erbrachten Dehnungen und daraus resultierende Schienenlängsspannungen und Neutraltemperaturen auf beiden Gleisen, die durchgehend im unkritischen Spannungsbereich lagen. Als Konsequenz für die im September aufgetretenen Spannungsspitzen wurde entschieden, auf einem ca. 120 m langen Brückenbereich alle vier Schienenstränge mit der gegenüber der Standardschienenbefestigung modifizierten Spannklemme SKL U12 auszurüsten. Diese modifizierte Spannklemme verringert den Durchschubwiderstand der Schiene auf der Rippenplatte und erleichtert somit den Ausgleich von Längskräften im Gleisoberbau. Unmittelbar nach dem Einbau der SKL U12 wurden die DMS erneut ausgelesen, wobei sich bestätigte, dass durch den Befestigungsmitteltausch vorerst keine grundlegende Änderung des Spannungszustandes der Schienen eingetreten ist. Die Fortführung der Auslesung der DMS im Abstand von vier Wochen ist noch bis zum Juli dieses Jahres vorgesehen. Anschließend lässt sich eine finale Auswertung der Messreihe mit möglichen Schlussfolgerungen auf die künftige Schadensvermeidung an der Oberbaukonstruktion der Carolabrücke realisieren.

Anhang: Messdienstleistungen zur zerstörungsfreien Bestimmung der Neutraltemperatur in lückenlosen Gleisen mit RailScan – Technischer Hintergrund

Typische Problemstellung und Prüfbedarf

Das System Rad – Fahrweg besteht aus einzelnen Systemteilen, von denen die Komponenten des Fahrzeuges sehr gut bekannt sind und ihr Verhalten auch mathematisch gut beschreibbar ist. Der Fahrweg jedoch lässt sich in seinen Eigenschaften aufgrund des inhomogenen Verhaltens von Schotterbett, Planum und Untergrund analytisch nicht exakt beschreiben. Daher liegen heute hauptsächlich Erfahrungen vor, welche auf in empirischen Versuchen ermittelten Zusammenhängen und Kenngrößen basieren. Da die Gleise des Fahrweges heute lückenlos verschweißt sind, entstehen infolge von Temperaturänderungen längsgerichtete Kräfte, welche zu hohen Zug- und Druckspannungen führen können. Die Neutraltemperatur definiert das Verteilungsverhältnis dieser Spannungen und ist die dem Gleis eingegebene und seine Spannungseigenschaften bestimmende Größe. Von der Neutraltemperatur hängen die Bruch- und Verwerfungssicherheit des Gleises, aber auch der Fahrkom-

fort in ganz entscheidendem Maße ab. Daher ist die Bewertung der Lagesicherheit des durchgehend geschweißten Gleises, Aufgabe der technischen Fahrwegüberwachung, unerlässlich. Da die Ursache für Änderungen der Gleisgeometrie maßgeblich in der Wirkung von Kräften begründet liegt, ist hierbei wichtig, die Gleissicherheit unter Einbeziehung dieser Kräfte zu ermitteln. Für diese, eine vorausschauende Instandhaltung ermöglichende Prüfung, wird ein zerstörungsfreies Messverfahren benötigt.

Dienstleistung Zerstörungsfreie Neutraltemperaturvermessung mit RailScan

Gerätetechnik. Das Messgerät RailScan ermöglicht die zerstörungsfreie Ermittlung der Schienenlängskräfte und der Neutraltemperatur im lückenlos verschweißten Gleis (Abb. 1). Das Gerät arbeitet berührungslos nach dem magneto-elastischen Prinzip und bietet die Möglichkeit der schnellen Vermessung und Dokumentation der Ist-Neutraltemperatur unterschiedlichster Schientypen. Durch Messung der magnetischen Kenngrößen werden Längsspannung in der Schiene und Neutraltemperatur ohne jeden Eingriff ins lückenlose Gleis bestimmt. Das Gerät besteht aus einem Rahmen mit zwei Rädern zum handgeführten Verfahren auf der Schiene, einer auf dem Rahmen montierten zentralen Geräteeinheit und einem Messkopf. Die Geräteeinheit beinhaltet eine computergesteuerte Messelektronik. Die Stromversorgung erfolgt über einen mitgeführten Akku. Der Messkopf besteht aus zwei Backen, die mit Hilfe eines Bowdenzugs und Federn um den Schienenkopf gekoppelt werden (Abb. 2). Der Messkopf ist geometrisch an den entsprechenden Schientyp angepasst und ist leicht auswechselbar. Die Schientemperatur wird mittels auf dem Gerät angebrachten Thermometern gemessen.

Funktionsprinzip. Durch Anlegen eines magnetischen Wechselfeldes wird die Schiene magnetisiert. Die magnetische Mikrostruktur der Schiene reagiert auf das Wechselfeld durch magnetische Ausrichtung. Dieser Vorgang ist mit einem geeigneten Prüfkopf messbar. Das Messsignal enthält die in der Schiene erzeugten Pulse und hat ein rauschähnliches Spektrum. Die Amplitude dieses magnetischen Barkhausenrauschens (MBR) ist deutlich von der Längsspannung in der Schiene abhängig. Spannung in Zugrichtung erhöht die Amplitude des MBR, Spannung in Druckrichtung führt auf kleinere Signalamplituden.

Arbeitsweise und Auswertung. Die berührungslose Messung erfolgt Punktweise jeweils nach dem Positionieren des Gerätes und Koppeln des Prüfkopfes um den Schienenkopf (Abb. 2). Dabei wird die Schiene über ein Magnetfeld im akustischen Frequenzbereich angeregt und der Pegel des magnetischen Barkhausenrauschens an der Oberfläche des angeregten Bereichs gemessen. Eine Messreihe besteht aus 50 Einzelmesspunkten, die auf einer Messlänge von 30 oder 60 m verteilt werden können, andere Messlängen auf Anfrage. Die Messwerte werden automatisch im Gerät gespeichert. Nach Abschluss der Messungen werden die Daten aus dem Messrechner ausgelesen und auf einem PC zur weiteren Auswertung gespeichert. Die Auswertung erfolgt nach Datenimport in einer Auswertesoftware. Das Ergebnis der Messung ist die graphische Darstellung der Einzelmesswerte Magnetischer Parameter β , Schientemperatur, deren Mittelwerte (Abb. 3a) und die anhand von magnetischem Mittelwert und Kalibrierkurve bestimmte Längsspannung (Abb. 3b). Die Ermittlung der Neutraltemperatur T_N erfolgt durch Berechnung anhand von Spannung, E-Modul, Ausdehnungskoeffizient und Schientemperatur nach der Beziehung

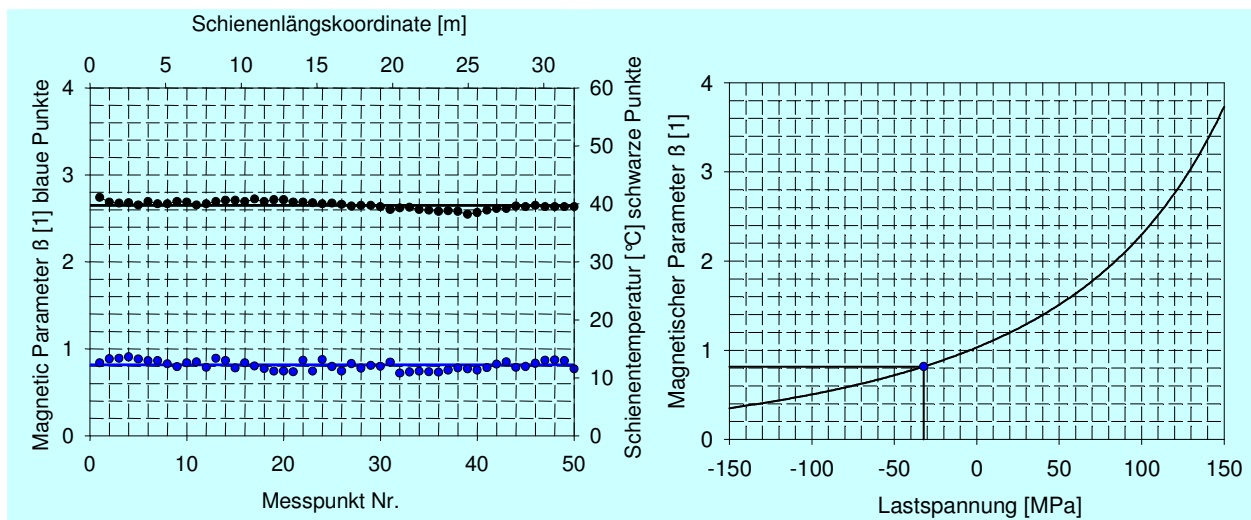


Abb. 1: Messgerät RailScan im Einsatz



Abb. 2: RailScan Prüfkopf, nach Positionierung des Gerätes an Schienenkopf angekoppelt. Die Qualität der Ankopplung wird durch Kontrollparameter sichergestellt und im Messgerät dokumentiert

$$T_N [^{\circ}\text{C}] = \frac{\text{Lastspannung [MPa]}}{\text{Elastizitätsmodul [MPa]} \times \text{Ausdehnungskoeffizient [1/^{\circ}\text{C}]} + \text{Schienentemperatur [^{\circ}\text{C}].}$$



a

b

Abb. 3: Messergebnis: a: Spannungsensitiver Parameter β , mitgemessene Schienentemperatur und Mittelwerte, aufgetragen jeweils über Längskoordinate und Messpunkt-Nummer. b: Bestimmung der Längsspannung anhand des berechneten arithmetischen Mittelwertes von β und der schientypenspezifischen Kalibrierkurve

Ergebnistabelle/Messbericht

Nach Abschluss der Auswertungen wird ein Bericht erstellt, aus dem alle Ergebnisse der Messungen hervorgehen. Tabelle 1 und Abb. 3 zeigen beispielhaft typische Neutraltemperatur- Messergebnisse, aufgetragen in tabellarischer Form (Tab. 1) sowie in Form einer Streckenskizze (Abb. 3). In der Ergebnistabelle sind alle wesentlichen Streckendaten enthalten. Inhalt und Form des Messberichtes kann auf Anfrage individuell gestaltet werden.

Datum	Messort	Km	File	Schiene links	Schiene rechts	Ü-Bogen km aufwärts	Ü-Bogen Km abwärts	Bogen Innen -I Außen - O	T _N [°C]
W10/11	S. Loop	102.401 – 102.523	S102_4T1		X	-		O	33.5
			S102_4T2	X		-		I	35.1
	Mangalore	108.996 – 109.362	S9		X	X		O	25.6
			S10	X		X		I	29.5
		109.3392 – 109.908	S5	X		X		I	38.2
			S6		X	X		O	33.5
			S12		X	Bogenmitte		O	30.4
			S212	X		Bogenmitte		I	34
			S3		X		X	O	25.2
			S4	X			X	I	23.3
	Mangalore/Avenel	112.751 – 113.300	M112T1	X		X		O	31.1
			T2		X	X		I	38
			T3	X			X	I	23.4
			T4		X		X	O	38.7

Tabelle 1: Typische Ergebnistabelle mit Streckendaten und Neutraltemperatur- Messergebnissen

Kalibrierung. Die Kalibrierung des Gerätes erfolgt vor dem Messeinsatz im Labor anhand von Kalibrierschienen. Dabei werden Messungen des MBR für unterschiedliche Längsspannungszustände durchgeführt und die Kalibrierkurve MBR als Funktion der Längsspannung aufgetragen. Damit kann die Neutraltemperatur des lückenlosen Gleises unter Berücksichtigung des Elastizitätsmoduls, des Längenausdehnungskoeffizienten und der Schienentemperatur berechnet werden. Die Vorgehensweise bei der erstmaligen Einführung der Dienstleistung und Technik wird individuell an die Anforderungen, Verhältnisse vor Ort und Kundenwünsche angepasst.