

Digitale Abnahme von Schienenlängsprofilen

Digital acceptance of rail longitudinal profiles

Dr.-Ing. Alfred Wegner, Halle an der Saale, BA Stefan Damm, Leipzig (Deutschland)

Zusammenfassung

Bei Neubau und Erhalt von Eisenbahninfrastruktur ist Präzision sicherheits- und lebenszyklusrelevant. Zahlreiche Parameter werden mithilfe einer Vielzahl von Geräten vermessen, geprüft oder aufgezeichnet, um eine optimale Gleisgeometrie und somit lange Haltbarkeit bei maximaler Sicherheit zu garantieren. Viele der dabei angewendeten Verfahren erfordern Handarbeit, was eine verlässliche Dokumentation der ermittelten Messwerte für alle Beteiligten erschwert. Die technischen Möglichkeiten des 21. Jahrhunderts werden auf Bahnbaustellen bisher nicht annähernd ausgeschöpft.

Dabei erlaubt insbesondere die Digitalisierung eine deutliche Steigerung der Effizienz und eine gezielte Nachverfolgung der Arbeitsergebnisse, wie die neuesten Messgeräte der Goldschmidt Thermit GmbH beweisen. Diese Geräte ermitteln das Oberflächen-Längsprofil von Schienen mittels Elektromagnetismus und ermöglichen dank neuer Software eine zuverlässige digitale Abnahme von Schienenschweißungen. Eine Sonderbauform, welche auf einem laseroptischen Fixpunktverfahren beruht, ermöglicht darüber hinaus die Erfassung von langwelligen Längsprofil-Unebenheiten.

Abstract

Concerning new constructions and maintaining the railway infrastructure, precision in respect of safety and life cycle cost is of utmost relevance. Many parameters are measured, tested or recorded by means of a number of devices, in order to guarantee optimal rail geometry and therefore a long life span by maintaining a maximum of safety.

Many procedures thus applied require manual work, which complicates a reliable documentation of the established measured values for all those involved. The available technical options of the 21st century are not even close to being fully exploited on the railway construction sites.

But especially the digitalisation makes it possible to follow up the distinct increase in efficiency and also the work results, as the latest measuring device by Goldschmidt Thermit GmbH demonstrate. These devices establish the longitudinal surface profile of rails by means of electro-magnetism and enable the rail welding processes to be reliably digitally accepted due to new software. Beyond that, a special construction, based on a laser-optical fix point procedure, enables to establish uneven long-wave longitudinal profiles.

1 Einführung

Bei der Prüfung von Schienenlängsprofilen geht es darum, die vorliegende Ebenheit in Schienenlängsrichtung entweder in Höhe von fertiggeschliffenen Schweißungen oder schleiftechnisch bearbeiteten Schienenbereichen zu erfassen. Darüber hinaus muss das Messergebnis im Hinblick auf die beim Betreiber der Infrastruktur gültigen Richtlinien und Normen auf Einhaltung der geforderten Toleranzen geprüft und bewertet werden. Für die Umsetzung dieser Aufgabe wurde

eine Messgerätefamilie entwickelt, welche den Namen Railstraight trägt und diesen unterschiedlichen Anforderung gerecht wird. *Bild 1* zeigt exemplarisch eines dieser Geräte. Sie bestehen aus einem Messbalken und einem Handrechner und arbeiten berührungslos mittels Magnetsensor. Dieser Sensor erzeugt ein auf die Schienenoberfläche gerichtetes magnetisches Wechselfeld, welches im ebenfalls im Sensor befindlichen Detektor als Funktion des Abstands zur Schienenoberfläche eine elektrische Spannung induziert. Der Sensor wird während des Messvorgangs durch elektrischen Antrieb in Längsrichtung entlang der Messlänge von ein Meter bewegt und zeichnet die analoge Signalamplitude digital auf. Durch geräteindividuelle Werkskali-

brierung wird das digitale Messsignal direkt in Millimetern und als Funktion der Längskoordinate abgespeichert.

Es gibt drei unterschiedliche Bauformen dieser Messgeräte. Das Modell Compact wurde speziell für die Abnahme von Schienenschweißungen entwickelt und erreicht eine Längsauflösung von 5 mm. Das Modell Wave ist optisch baugleich, besitzt aber einen genaueren Sensor und arbeitet mit einer Längsauflösung von 2 mm, um speziell auch kurzwellige Unebenheiten zu erfassen. Schließlich rundet das Modell Dual mit seiner Ausführung mit Doppelsensor, welcher gleichzeitig Fahrfläche und Fahrkante vermessen kann und somit Zeit beim Vermessen einspart, das Programm der Gerätefamilie ab.

2 Vorteile digitaler Dokumentation

Ein wesentlicher Bestandteil digitaler Vermessung ist die elektronische Weiterverarbeitung der gewonnenen Messergebnisse. Bisher wird die Abnahme von Verbindungsschweißungen sowohl gemäß den Richtlinien (RiL) der Deutschen Bahn (DB Ril 824.8210 „Abnahme von Verbindungsschweißungen an Schienen“) als auch nach den Europäischen Normen (EN 14730) üblicherweise mithilfe eines geeichten Stahllineals von 1 m Länge und einer Fühlerlehre manuell ausgeführt. Die Ergebnisse werden dabei zunächst handschriftlich dokumentiert.

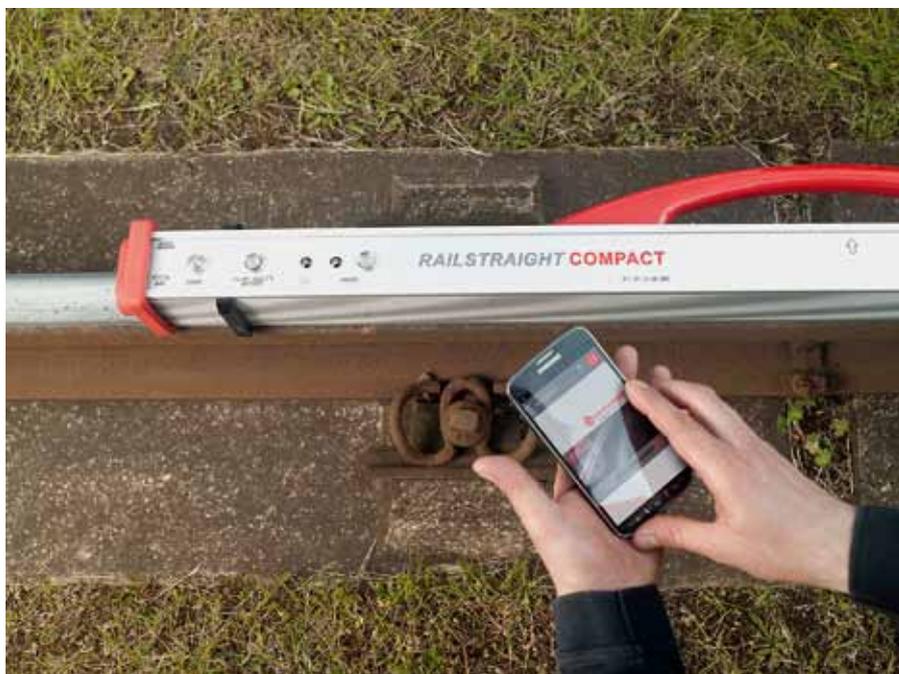


Bild 1: Messung im Gleis

Für die Abnahme nach Richtlinie (RiL) 824.8210 wurde darüber hinaus eine explizite Anwenderfreigabe der Deutschen Bahn AG (DB AG) für die Railstraight-Geräte der Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, Halle (Saale), dem größten Tochterunternehmen der Goldschmidt Thermit GmbH, Leipzig, erteilt. Diese Messgeräte erfüllen nicht nur die Präzisionsanforderungen der geltenden Normen, sondern sie simulieren durch einen speziellen Auswertemodus die Überprüfung mit einem Stahllineal. Dies geschieht derart, dass die Auswertesoftware eine Linie entlang der Längskoordinate auf das Höhenbild legt und deren Abstand entlang der Messlänge bestimmt. Die Maximalwerte werden auf Toleranzeinhaltung bewertet. Darüber

hinaus bieten die Geräte dem Anwender zusätzlich sämtliche Vorteile digitaler Vermessung und Dokumentation.

Für die gesamte Messgerätesteuerung, die Auswertung der Messdaten und das Abspeichern der Informationen stellt die Elektro-Thermit dem Kunden eine kostenfreie Software für Android-Mobilgeräte zur Verfügung, die sogenannte Railstraight App. Die in wenigen Sekunden durchgeführte digitale Messung wird so dank Bluetooth-Verbindung auf jedem handelsüblichen Android-Smartphone oder Tablet sofort vor Ort angezeigt.

Abhängig von der Messaufgabe können die einschlägigen Normen und Richtlinien vom Bediener in der Software aus-

alternativ geltenden Grenzwerte manuell eingeben. Die Software vergleicht die Messergebnisse automatisch mit den Vorgaben und bewertet diese sofort und somit noch auf der Baustelle als „akzeptiert“ oder „nicht in Ordnung“, womit gegebenenfalls direkt eine weitere Schienenbearbeitung in Auftrag gegeben werden kann.

Von der Railstraight App aus können die Messergebnisse jederzeit im Rahmen einer mobilen Verbindung oder stationär nach der Schicht per E-Mail als ubiquitär lesbares PDF versendet, an einen PC oder in die Cloud übertragen und langfristig beispielsweise auf Servern abgespeichert werden. Infrastruktur-Instandhaltung und Gleisbauunternehmen können diese in Echtzeit in Rechnungsstellung und Fortschrittsberichte einfließen lassen, oder die Ergebnisse können von Betreibern direkt über die App in eine Infrastrukturmanagement-Software eingebunden werden.

Die Stapelverarbeitung ermöglicht es dem Messingenieur dabei, sämtliche Datensätze eines Tages oder eines von ihm selbst ad-hoc definierten Abschnitts zusammengefasst zu versenden, ohne dass er die Daten vom analogen in das digitale Format übertragen muss. Zusätzlich zur Verringerung des Arbeitsaufwands werden sämtliche Fehler vermieden, die bei der händischen Übertragung von Messdaten in ein digitales System entstehen könnten, und es ist gewährleistet, dass nur Werte in das System gelangen, die auch tatsächlich gemessen wurden.

Sollte es im Rahmen einer zweiten Inspektion zu einer Neuvermessung kommen, um eventuelle Messfehler auszuschließen, kann sich der Techniker auf eine hohe Wiederholgenauigkeit der digitalen Technologie verlassen. Dadurch können Fehlerquellen schneller identifiziert werden, denn individuelle unzulässige Ausführungsgewohnheiten oder Messergebnisauslegungen, wie sie bei manuellen Messmethoden nicht ausgeschlossen werden können, gehören bei der digitalen Vermessung der Vergangenheit an.

Liegen größere Zeitabstände zwischen den Messungen, besteht die Möglichkeit, eine Historie zu einem Messpunkt zu erstellen, indem diesem sämtliche Messungen der Vergangenheit zugeordnet werden. Daraus ergibt sich der Vorteil eines direkten Vergleichs mit älteren Mes-

sungen, womit sich die zwischenzeitlich stattgefundenen Abnutzung der Schiene bestimmen lässt, welche als Basis für eine Verschleißprognose genutzt werden kann, und so schließlich die Priorisierung von Instandhaltungsaufträgen wesentlich vereinfacht. Die historischen Referenzdaten können auf dem mobilen Endgerät vorgehalten werden, oder es werden Werte früherer Messungen von einem Server heruntergeladen beziehungsweise aus einem E-Mail-Anhang eingelesen.

Ein genereller Vorteil digitaler Messdaten ist ihre Unveränderlichkeit. Sowohl Übertragungsfehler als auch die absichtliche Neuausstellung einer modifizierten Messdokumentation können wirksam ausgeschlossen werden. So erlauben die Railstraight-Messgeräte dem Bediener lediglich die sofortige Wiederholung einer Messung, um Handhabungsfehler auszuschließen. Wenn die Ergebnisse abgespeichert sind, lassen sich in der App nur noch die Auswertungsmethode und die streckenbezogene Toleranzklasse ändern.

Zusätzlich zum bereits beschriebenen Export als PDF-Datei können die Messungen auch als universelle CSV-Datei (CSV: comma-separated values) ausgegeben werden. Um eine nachträgliche Änderung der Messwerte zu unterbinden, eignet sich insbesondere das PDF, da bei diesem Dateiformat zur Anwendung gebrachte Sicherheitsmerkmale eine Editierung von Messdaten konsequent verhindern – ausgenommen sind bestimmte, vorab definierte Felder wie Streckenbezeichnung und Kommentare, die auch im Büro ergänzt werden können. Auch CSV-Dateien lassen sich durch das Einbinden einer Prüfsumme vor nachträglicher Änderung der Messwerte schützen – der „upload“ von manipulierten Datensätzen, z. B. zur Erstellung eines historischen Vergleichs, wird so unterbunden.

Eine weitere wesentliche Facette im Sinn von direkt fernübertragbaren digitalen Messergebnissen ist die kognitive und somit intelligente Verwaltung der durchgeführten Messungen. Daten können entweder in eine Stand-alone-Datenbank oder in ein Infrastructure Management System integriert werden. Abhängig von den Kundenbedürfnissen ist dabei die reine Datensammlung möglich, aber auch eine Übersicht über sämtliche Anlagen – in Tabellenform oder in einer Streckenkarte verzeichnet, die etwa ein Infrastruk-

turbetreiber im Rahmen seines Asset Managements zu betreuen hat. Allerdings geht der Trend zunehmend in die Richtung, eine zustandsabhängige Verwaltung von Instandhaltungsmaßnahmen (sogenanntes Maintenance Planning) zu installieren. Dazu verfügt die Railstraight App bereits über Schnittstellen, die ohne großen Aufwand aktiviert werden können, um die Messergebnisse in ein bereits bestehendes System zu integrieren. Diese Module und Funktionalitäten machen Railstraight zur intelligenten Messtechnologie.

3 Vorteile der Nutzung intelligenter Messtechnologien

3.1 Vermessung von kurzweiligen Gleisverformungen und Riffeln mit Mikromagnetismus

Elektronische Messgeräte ermöglichen es, mit der je nach Anwendungsfall bestgeeigneten Technologie Aussagen über den Zustand von Gleis und Schiene zu treffen. Für die Ermittlung kurzweiliger Längsprofilverformungen empfiehlt sich das elektromagnetische Messprinzip oder Transformator-Prinzip. Dabei wird der Abstand zwischen dem Messkopf und der Fahrfläche bzw. Fahrkante gemessen, so dass Informationen über das tatsächliche

che Schienenlängsprofil aufgenommen werden können.

Ein Vorteil des Messprinzips im Vergleich zu optischen und kapazitiven Verfahren ist insbesondere die Unempfindlichkeit des Sensormagnetfelds gegenüber nichtmagnetischen Stoffen, wodurch das Gerät auch bei Feuchtigkeit, Nässe und Verunreinigungen einsatzbereit ist und jederzeit zuverlässig genau misst. Die Genauigkeit geht aus der Messunsicherheit hervor, auf die in Abschnitt 3.4 eingegangen wird. Die werksseitige Kalibrierung erspart eine Justierung durch den Anwender vor Ort. Alle Geräte verfügen über eine Autokalibrierfunktion, welche sich vor jeder Messung aktiviert und vor Messungenauigkeiten, insbesondere durch starke Temperaturschwankungen, schützt. Die Kalibrier-treue kann durch jeden Nutzer mittels eines mitgelieferten Referenzprofils und einer eigenen Softwarefunktion schnell und unkompliziert überprüft werden, so dass eine Kalibrierung nur dann zwingend erforderlich ist, wenn diese von der Software angefordert oder durch eine Norm erzwungen wird.

Während zur Überprüfung der Ebenheit von Verbindungsschweißungen ein Messpunkteabstand von 5 mm ausreichend ist, so dass über die vorgeschriebene Länge von einem Meter 200 Messpunkte abgebildet werden, erfordert die Riffelanalyse eine höhere Auflösung von 500 Mess-



■ Bild 2: Das Railstraight Dual für die synchrone Messung von Fahrfläche und Fahrkante

punkten pro Meter, da Riffel als quasiperiodische Fahrflächenunebenheiten Wellenlängen von 20 bis 100 mm aufweisen und bei einem Messpunkteabstand von 5 mm nicht zuverlässig erfasst werden können. Die Riffeltiefen betragen in der Regel zwischen 0,01 und 0,4 mm, so dass hier eine vertikale Auflösung von 0,001 mm erforderlich ist.

Je nach Anwendungsbereich kann die wirtschaftlich sinnvollste Variante des Messgeräts ausgewählt werden – für die Anwendung in Schweißwerken mit einem hohen Durchsatz empfiehlt sich z. B. ein Fahrfläche und Fahrkante synchron messendes Instrument wie das Railstraight Dual (Bild 2).

3.2 Langwellige Gleisverformungen und Längsprofilmessung über größere Messlängen

Wie in der Einführung bereits erwähnt, werden die drei auf Ein-Meter-Basis arbeitenden Railstraight-Geräte um einen vierten Typ ergänzt, das Railstraight Laser (Bild 3). Während bei kurzwelligen Gleisverformungen Toleranzkriterien für das Längsprofil in der Größenordnung von Zehntel- und Hundertstelmillimetern relevant sind, weisen Gleise über größere Messlängen oftmals signifikante Längsunebenheiten auf. Diese können im Millimeterbereich liegen und aufgrund von unzulässigen Schwankungen des Schotterverdichtungsgrades, Bewegungen des Untergrunds und aus vielfältigen anderen Gründen Fahrkomfort und Sicherheit gefährden und den Verschleiß beschleunigen. Zur messtechnischen Erfassung solcher langwelligen Unebenheiten der Schienenlängsprofile bieten optische Verfahren eindeutige Vorteile. In der Kombination aus Lasermodul und separater Detektoreinheit lassen sich Messlängen von bis zu 50 m realisieren.

Während das Lasermodul auf der Schiene fixiert ist, werden die vertikalen Abweichungen über die gesamte Messlänge mittels manueller Verschiebens der Detektoreinheit auf der Schiene abgebildet. Dieses Konzept ermöglicht im Gegensatz zu allen handgeführten Messwagen, deren Radabstand wie ein Tiefpassfilter größere Wellenlängen nicht erfassen kann, das wahre Längsprofil der Schiene durch Messung zu ermitteln. Die Unebenheiten der Schiene, unabhängig davon, ob sie



Bild 3: Railstraight Laser mit Handrechner

von der Fahrfläche oder der Fahrkante ausgehen, werden über die relative Verschiebung der Position des Laserpunkts auf dem CMOS-Sensor aufgenommen. Unebenheiten der Fahrfläche sind durch die Änderung der vertikalen (y -)Position erkennbar und Fahrkantenlagefehler werden durch Änderung der Position horizontal und quer zur Schienenlängs- (x -)Koordinate registriert.

Durch dieses Messverfahren können Messlängen von 1 bis 50 m erreicht werden, die mittels der Overlap-Technik beliebig verlängerbar sind. Je nach Genauigkeitsanforderungen können große Messlängen in kleinere Einzelmessungen unterteilt werden, die mithilfe des Softwaretools zu einer Messung zusammengesetzt werden. Im Hochgeschwindigkeitsverkehr der französischen Eisenbahngesellschaft (SNCF) kommt dieser Technologie große Bedeutung zu, da Risiken und Schädigungen durch langwellige Gleisverformungen mit zunehmender Geschwindigkeit exponentiell ansteigen.

3.3 Intelligente Überlappung

Das intelligente Aneinanderfügen von Einzelmessungen von 1 bis 50 m Länge wird durch einen in der Auswertesoftware enthaltenen Algorithmus ermöglicht. Dieser fügt die Einzelmessungen durch optimales Überlappen der gemeinsamen Messlängen mittels Längsverschiebung und Rotation zusammen und er-

möglicht so die Abbildung individueller Messlängen.

Mit elektromagnetischen Metermessungen erlaubt die Overlap-Technik neben einer detaillierten Riffelanalyse in vier Wellenlängenbereichen auch Auswertungen zur Abnahme von Schleifarbeiten gemäß der Ril 824.8310 und der Norm EN 13231-3. Das Protokoll einer solchen Messung und Auswertung enthält die projekt- und streckenrelevanten Informationen in zusammengefasster Form und darunter das Messergebnis. Das gemessene Längsprofil wird in insgesamt vier Pakete unterschiedlicher Wellenlängen zerlegt, deren Elongationen bestimmt und diese jeweils mit einer Abnehmerichttoleranz verglichen. Diese ist für kurze Wellenlängen um eine Größenordnung kleiner (0,01 mm) als für das Paket der größten Wellenlänge. Die für diese Beurteilung erforderliche Mindestmesslänge beträgt 5 m. Um aufgrund der kleinen Toleranzen im Bereich von Hundertstelmillimetern und trotz verketteter Einzelmessungen höchste Genauigkeiten zu erreichen, beträgt die Überlappungslänge zwischen zwei Einzelmessungen 500 mm, das sind 50 % der Einzelmesslänge.

3.4 Beurteilung der Messunsicherheit

Um die Railstraight-Produkte zuverlässig und präzise einsetzen zu können, müssen die Geräte bestimmten Standards ge-

nügen, zum Beispiel den Richtlinien der DB AG. Für Railstraight hat die DB AG eine Messunsicherheitsbilanz (MUB) erstellt, aus der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Geräte hervorgehen. Um ein Gerät zu homologieren, wird ein Prüfprozess nach „Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement“, kurz GUM (Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen), durchgeführt. Nach GUM ist die Messunsicherheit ein Parameter, welcher die Streuung um einen Messwert definiert. Die Messunsicherheit setzt sich hierbei aus systematischen sowie unbekanntem und zufälligen Messabweichungen zusammen. Dies veranschaulicht *Tafel 1*, gekennzeichnet durch die orangefarbenen Pfeile.

Die Messunsicherheit beinhaltet alle Messungenauigkeiten, die aufgrund zufälliger und systematischer Fehler auftreten können. Die Messunsicherheit wird nach GUM berechnet, dort ist die für die Messmittelfähigkeit der Railstraight-Geräte herangezogene kombinierte Messunsicherheit relevant:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_T^2 + u_{Kal}^2 + u_W^2 + u_{Sys}^2 + u_{Obj}^2} \tag{1}$$

- mit:
- u_A : Standardunsicherheit der Auflösung,
 - u_T : Standardunsicherheit aufgrund von Temperaturunterschieden,
 - u_{Kal} : Standardunsicherheit des Normals,
 - u_W : Standardunsicherheit der Wiederholbarkeit,
 - u_{Sys} : Standardunsicherheit der systematischen Messabweichung und
 - u_{Obj} : Standardunsicherheit des Objekts.

Die für das Railstraight Wave ermittelte kombinierte Messunsicherheit betrug ca. 15 µm.

4 Traditionelle Messungen, Präzision und Hilfsmittel

Da herkömmliche Methoden heute noch weite Verbreitung und Anwendung bei der Abnahmemessung finden, wird in diesem Abschnitt kurz auf diese eingegangen.

4.1 Konventionelle Stahllineale und Fühlerlehren zur Abnahme von Schienenlängsprofilen

Bei dieser Abnahmemethode wird ein 1 m langes Stahllineal an die Schiene angelegt und mittels einer Fühlerlehre werden die Spaltmaße zwischen Auflageoberfläche und Schienenoberfläche bestimmt. Eine Anleitung findet sich in DB Ril 824.8210 sowie in EN 14730. Bei dieser Abnahmemethode handelt es sich nicht um ein Vermessen, sondern um ein Auslehren ohne die Möglichkeit einer Dokumentation. Sie hat subjektiven Charakter, ist Bedieneinflüssen des Schweißers bzw. Abnehmers unterworfen und nicht fälschungssicher. Daher ist mit ihr die Qualität von fertiggeschliffenen Schienenschweißungen nicht eindeutig abzusichern, und höhere Lebenszykluskosten aufgrund möglicher eingeschränkter Anfangsqualität können die Folge sein. Eine Abhilfe schaffen hier elektronische Messgeräte und eine digitale Dokumentation.

4.2 Kordel und Messkeil

Die Kordel wird heute noch z. B. gemäß DB Ril 821.2005 verwendet, um die Pfeilhöhe von Bögen auf großen Sehnenlängen zu vermessen. Auch die Lage von Schmiedeteilen, wie z. B. Weichenherzstücken, wird noch mit diesem Hilfsmittel in Verbindung mit Lehren zur Ermittlung der Hoch-/Tieflage bestimmt. Kordel und Lehre stellen ein einfaches Verfahren zur

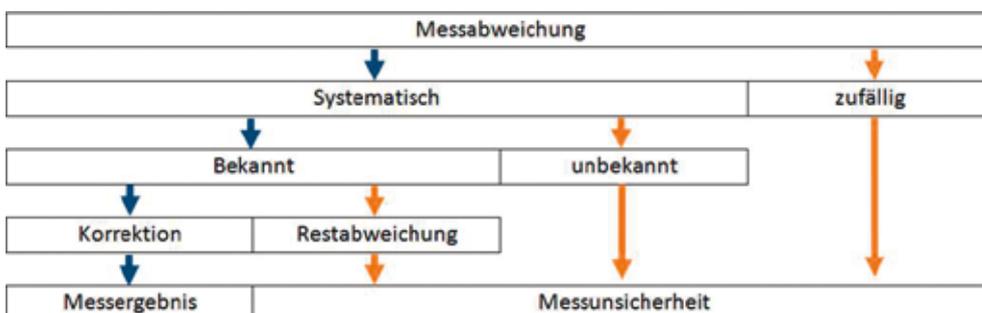
Ermittlung der Gleis- und Komponentenlage dar, jedoch fehlt auch hier die Möglichkeit der Dokumentation, und Bedieneinflüsse sind nicht auszuschließen. Auch hier muss über die Einsatzmöglichkeiten elektronischer Vermessung und digitaler Dokumentation diskutiert werden – bestehende Normen schränken hier den praktischen Einsatz moderner Technologien stark ein, wenn sie ihn nicht durch die Vorgabe der „Kordel“ ganz verhindern.

5 Toleranzen nach Notwendigkeit

Die Genauigkeit von Messmitteln kann bei entsprechender Fertigungstechnik der Komponenten und Auswahl der Sensoren bis über den µm-Bereich gesteigert werden. Wie im Maschinenbau gilt aber auch für Anwendungen in der Gleismess-technik der wirtschaftliche Aspekt, dass Messgeräte keine unnötig hohen Investitionen bedeuten dürfen. Insbesondere bei breiter Anwendung gilt für die Genauigkeitsanforderungen der Grundsatz „Nur so genau wie nötig“, wobei letztlich die über die letzten Jahrzehnte entwickelten Regelwerke die Toleranzen und Gerätegenauigkeiten vorgeben. Bei der Abnahme von handgeschliffenen Schienenschweißungen ist es entbehrlich, über den gesamten Messbereich auf ein Tausendstelmillimeter genau zu messen. Dagegen muss das Messgerät an den Toleranzgrenzen der angewendeten Richtlinie ausreichend genau sicherstellen, dass diese eingehalten werden. Hierfür ist die sogenannte Merkmalstoleranz entscheidend, welche aus der jeweiligen Richtlinie abgeleitet werden kann, und meist gleichbedeutend mit der kleinsten zulässigen Toleranz ist. Sie beträgt z. B. bei der Ril 824.8210 ein Zehntelmillimeter. Nach DB-Vorgabe muss ein Messgerät eine Größenordnung genauer messen, als diese Merkmalstoleranz beträgt.

Wie bereits beschrieben, ist das Stahllineal immer noch ein weitverbreitetes Hilfsmittel für die Abnahme beschliffener Schienenschweißungen. Die in EN 14730 und DB Ril 824.8210 beschriebene Abnahme geht dabei von einer idealisierten Vorstellung des beschliffenen Schienenstoßes aus. Die Norm sieht zum einen ein „spitzes“, also balliges Profil, zum anderen ein „stumpfes Profil“,

I **Tafel 1: Messunsicherheit und ihre Zusammensetzung**



I Tafel 2: Toleranzen für den fertiggeschliffenen Schienenstoß nach EN 14730 und DB Ril 824.8210

Geometrische Abnahmekriterien für Schienenverbindungsschweißungen				
1	2	3	4	
Geschwindigkeitskategorie(km/h)	V ≤ 230	V > 230	Radiusbereich	
			V ≤ 230	V > 230
Abnahmetoleranz „a“ [mm]				
∧ Fahrfläche, Spitze	0,3	0,2	Radiusbereiche müssen visuell geprüft werden. SRQ Lehre kann hierfür verwendet werden ...	
∨ Fahrfläche, Senke	0,2	0,1		
> Fahrkante, Knick nach aussen	0,3	0,1		
> Fahrkante, Knick nach innen	0,2	0,1		
< > Fußkante, horizontal	2			
Max. Länge des Schleifspiegels	600 mm	600 mm		

d. h. einen tief liegenden Stoß, vor. Die Abnahme mittels Stahllineal erfolgt dann durch Auslehren der Spaltmaße mit der Fühlerlehre entlang der aufgelegten Fläche des Stahllineals. Der anschließende Vergleich der ermittelten Werte auf Zulässigkeit wird gemäß *Tafel 2* durchgeführt.

6 Erhöhte Anforderungen in den Niederlanden

Die auf dem Verfahren von Esveld, Universität Delft, Niederlande, beruhende Richtlinie RLN00127-2 wird der Intention der Begrenzung der Rad/Schiene-Kraftwechselwirkung gerecht. Damit sollen über einen höheren Aufwand bei der Herstellung einer hohen Abnahmequalität die Anfangsqualität der Bauteile und Komponenten maximiert und damit eine maximale Lebensdauer erzielt sowie die Lebensdauerzykluskosten (LCC, Life Cycle Cost) minimiert werden. Durch ver-

pflichtende Anwendung der Richtlinie bei allen Arbeiten zum Gleiserhalt und der Instandsetzung (100-%-Prüfung) soll dies für alle Fahrwege bei ProRail sichergestellt werden. Für die Abnahmemessung wird eine dimensionslose Kennzahl, der sogenannte Quality Index (QI), als Maß für die Qualität des Fertigschliffs herangezogen. Ihm zugrunde liegt ein mechanisches Modell des Fahrwegs, welches die dynamischen Kraftwechselwirkungen zwischen Rad und Schiene beschreibt:

$$F_{\text{dyn}} = C \cdot V^2 \cdot ST \quad (2)$$

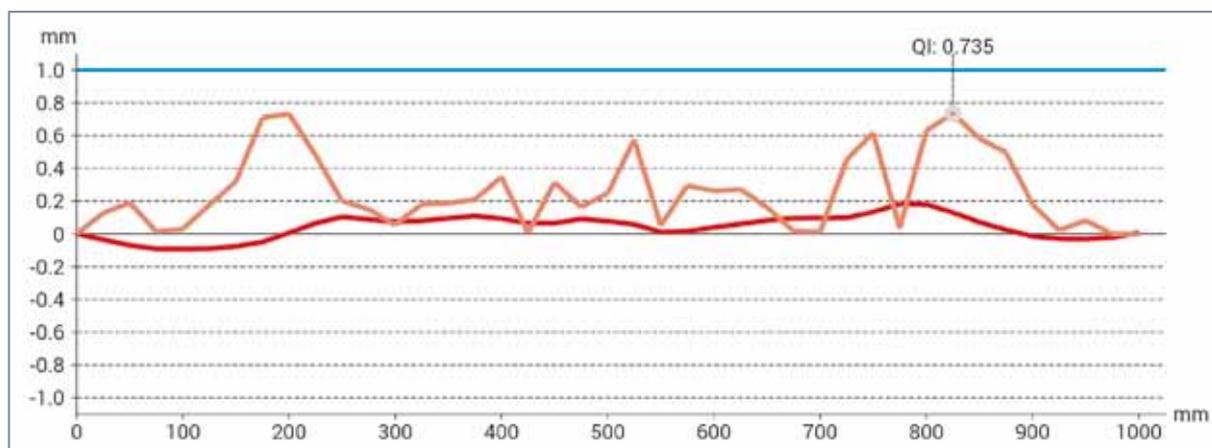
mit:

- F_{dyn} : dynamische Kraft zwischen Rad und Schiene,
- C: eine Konstante, die sich aus dem Produkt $\alpha \cdot M$, einem Korrekturfaktor α und der Fahrzeugmasse zusammensetzt, wobei α für jede Gleisgeschwindigkeitskategorie an-

hand experimenteller Versuche ermittelt und festgelegt wurde. Mit ihm wird (2) um die durch die im Modell auftretenden Ungenauigkeiten und Nichtlinearitäten validiert, V: Geschwindigkeit und ST: Steigung/Neigung des Schienenlängsprofils.

Dieses Modell ermittelt maximal zulässige Steigungen und Neigungen des Schienenlängsprofils im relevanten Bereich der niederländischen Geschwindigkeitskategorien.

Die Maximalwerte der zulässigen Längsprofilsteigung werden für die kraftbasierte, d. h. die Rad/Schiene-Kraftwechselwirkungen einbeziehende Abnahme der Schweißung herangezogen. Dabei werden alle 25 mm Mittelwerte von jeweils fünf im Abstand von 5 mm gemessenen Einzelmesspunkten berechnet, und über die gesamte Messlänge von ein Me-



I Bild 4: Bestimmung des Quality Index mit Railstraight nach niederländischer Richtlinie RLN00127-2 (Erläuterungen im Text)

ter werden die Ist-Steigungen des Profils zwischen den Mittelwerten bestimmt. Die Mittelung auf 25 mm Länge entspricht im Grunde einem an das Messergebnis angelegten Hochpassfilter: Die Wellenlängen kleiner als 25 mm werden aus dem Ergebnis herausgefiltert, da sie nach dem mechanischen Modell nicht zu den Kraftwechselwirkungen beitragen. Der Quality Index wird durch Division der Ist-Steigung durch die zulässige Steigung ermittelt. Er darf den Wert 1,03 nicht überschreiten und stellt damit als oberer Grenzwert sicher, dass die durch Schleifen hergestellte Längsprofilebenheit nicht die maximal zulässige Steigung überschreitet. *Bild 4* zeigt ein mit einem Railstraight-Gerät ermitteltes, nach der Richtlinie ausgewertetes Messergebnis. In blauer Farbe ist der maximal zulässige QI, in Pink der ermittelte Ist-QI und in Rot das Ist-Längsprofil anhand von auf 25 mm Länge gemittelten Einzelmesspunkten wiedergegeben. In diesem Bei-

spiel wird im Bereich der Längskoordinate von 800 bis 900 mm der größte QI-Wert erreicht.

7 Forderung an die Normgebung – Legal Engineering

Auch wenn die meisten Normen für die Bahnbranche auf eine lange Tradition zurückblicken und daher eng mit den ursprünglich zur Verfügung stehenden traditionellen Messmitteln verknüpft sind, ist es aufgrund der steigenden Qualitätsanforderungen ein zentrales Interesse innovativer Firmen, sich nicht auf die Zulassung dieser herkömmlichen Messmittel zu beschränken, sondern Freiheit bei der Messmittelwahl zu erhalten. Diese Forderungen werden u. a. in der Arbeit der Normenausschüsse, aber auch im direkten Gespräch mit den verantwortlichen Bahnabteilungen im Rahmen von Anwenderfreigabeverfahren für Messge-

räte behandelt. Selbstverständlich muss dabei die Eignung eines Messgeräts sichergestellt werden.

Die Entwicklung der Abnahme von geschliffenen Schienenlängsprofilen stellt ein typisches Beispiel dafür dar, dass die internationalen Bahngesellschaften bis in die heutige Zeit an der traditionellen Abnahme mit dem Stahllineal festhalten. Bei der Entwicklung der Railstraight-Geräte wurde aufgrund dieses Umstands sogar ein Auswertemodul realisiert, der die zu den traditionellen Hilfsmitteln völlig synchrone Abnahmemessung umfasst. Beispielsweise kann die Railstraight-Software als Auswertungsvariante ein virtuelles Stahllineal über einen Schweißstoß oder ein Weichenherzstück legen und somit detailgetreu die ideale – in der Baustellenrealität eher selten realisierte – Anwendung traditioneller Messmittel simulieren. *Bild 5* zeigt ein solches Messergebnis für einen tiefliegenden und *Bild 6* für einen spitzliegenden Stoß.

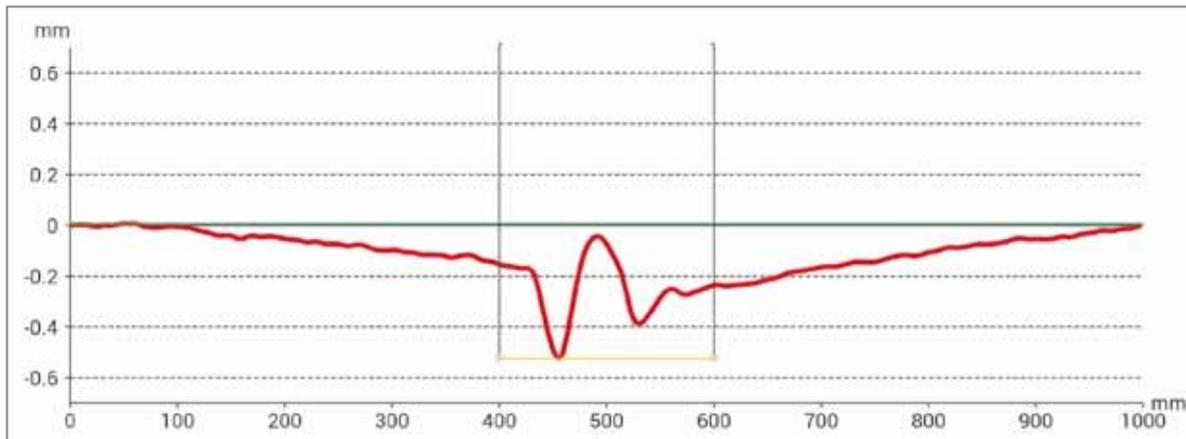


Bild 5: Tiefliegende Schweißung nach EN 14730, vermessen mit Railstraight. Die App simuliert hier das Auflegen eines Stahllineals und stellt dieses als Linie im Graphen dar. Hier fällt die Linie des Stahllineals unmittelbar über die Nulllinie, da es an den Anfangs- und Endpunkten aufliegt. Ausgewertet wird der ermittelte Maximalwert zwischen aufgelegter Linie und Höhenbild

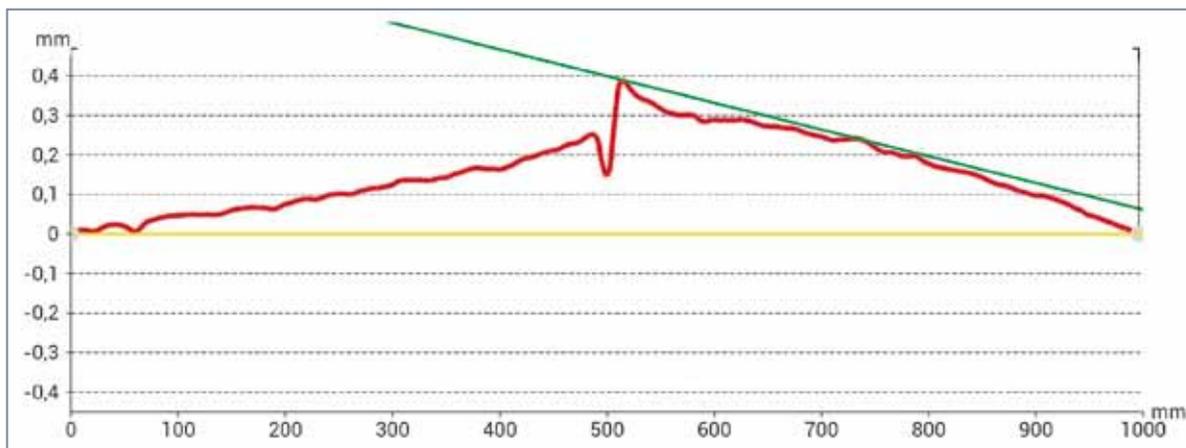


Bild 6: Hochliegende Schweißung nach EN 14730, vermessen mit Railstraight. Ausgewertet wird der Maximalwert

Gleichwohl dürfen sich die eher konservativ eingestellten Befürworter traditioneller Abnahmemittel, die in der Branche immer noch zahlreich vertreten sind, nicht grundsätzlich den steigenden Genauigkeiten moderner Messtechnologien verschließen, wenn sich daraus Vorteile gegenüber traditionellen Methoden ergeben. Da die immer noch weit verbreitete Abnahme ohne Messmittel und damit ohne belastbare Dokumentation dazu führen kann, dass abgenommene Arbeiten, wie die fertiggeschliffener Schienenslängsprofile, in Wirklichkeit außerhalb der vorgegebenen Toleranzen liegen, darf es kein Tabu sein, die tatsächliche Einhaltung von Toleranzen nachvollziehbar zu kontrollieren. Den Auftragnehmern müssen in diesem Fall vergleichbar zuverlässige Messmittel zur Verfügung stehen. Dabei ist es hilfreich, einen Blick in andere wichtige Bahnländer zu werfen, die sich bereits eingehend mit den Vorteilen der Digitalisierung beschäftigt haben. An vorderster Stelle sind dabei die Niederlande zu erwähnen, die in Bezug auf die Organisation der Bahninfrastruktur-Instandhaltung als technologisch führend gelten können. Dort ist es z. B. bereits seit Jahren vorgeschrieben, die Geradheitsmessung von Schienen im Zuge der Abnahme von Verbindungsschweißungen mit einem digitalen Messgerät und elektronischer Dokumentation durchzuführen. Dieser Paradigmenwechsel wurde notwendig, weil sich ProRail als nationaler Eisenbahnbetreiber dazu entschloss, die Geradlinigkeit von Verbindungsschweißungen mit dem bereits beschriebenen Quality Index zu bewerten. Für die Bildung derartiger Indizes ist eine elektronische Messung mit digitaler Auswertung unabdingbar. Railstraight-Geräte sind die in den Niederlanden führend eingesetz-

ten Messinstrumente für die Geradlinigkeitsmessung.

Als weiteres, insbesondere im Bereich der Hochgeschwindigkeits-Infrastruktur wegweisendes Beispiel gilt China, wo die digitale Vermessung sämtlicher Schienenschweißungen – unabhängig vom Schweißverfahren – vorgeschrieben ist. Zwar gilt diese Vorgabe lediglich für den Neubau von Hochgeschwindigkeitsstrecken, allerdings werden dafür bereits in den Abbrennstumpfschweißwerken sämtliche Verbindungen digital auf Geradlinigkeit geprüft. Damit zeigt sich, welche Bedeutung der exakten digitalen Messung für die Sicherheit im am stärksten wachsenden Eisenbahnnetzwerk und dem einzigen, in dem mit einer Reisegeschwindigkeit von 350 km/h (in Vorbereitung 380 km/h) gefahren wird, zugeschrieben wird. Zum Einsatz kommen hier seit beinahe einem Jahrzehnt die Messgeräte der Elektro-Thermit – seit neuestem auch mit einem Android-Interface, das zusätzlich die Analyse der Verwindung der Schienenenden zueinander ermöglicht.

Diese internationalen Beispiele verdeutlichen, dass ein Festhalten an traditionellen Abnahmemethoden ohne Dokumentation im Sinn der Effizienz der Infrastrukturbetreiber zu überdenken ist. Im Gleisnetz der DB AG betrifft dies in einem ersten Schritt vor allem den Neubaubereich. Zukünftig wird hier eine einwandfreie Anfangsqualität von Fertigschliffen durch die hundertprozentige Abnahme mittels Messung und Dokumentation sichergestellt werden. Nicht minder sicherheitsrelevant ist jedoch der überwiegende Anteil an Schienenschweißungen im Bereich von Neubau und Gleiserhalt, dessen Qualitätssicherung eine zentrale Bedeutung zukommt.

(Indexstichworte: Elektronische Datenverarbeitung, Infrastruktur, Instandhaltung)

(Bildnachweis: 1 bis 6, Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, Halle (Saale))



Dr.-Ing. Alfred Wegner (50). Bis 1992 Studium des Maschinenbaus am Deutsch-Französischen Hochschulinstitut Saarbrücken; bis 1994 Studium der Werkstoffwissenschaften zum M. Sc. an der École Nationale Supérieure de Mécanique et

de Microtechniques E.N.S.M.M., Besançon, Frankreich; 2001 Promotion zum Dr.-Ing. der Werkstoffwissenschaften an der Universität des Saarlandes, Saarbrücken. Von 1995 bis 1999 Projektingenieur am Fraunhofer-Institut IZFP, Saarbrücken; von 1999 bis 2002 Leiter Prüfzentrum VERITAS AG Hanau; seit 2002 Leiter Messtechnik bei Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, Essen und Halle (Saale).

Anschrift: Elektro-Thermit GmbH & Co. KG, Chemiestraße 24, 06132 Halle (Saale), Deutschland.

E-Mail: alfred.wegner@elektro-thermit.de



BA Stefan Damm (38). Bis 2004 Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Köln, der Universität Bocconi, Mailand, und der New York University. Seit 2008 in Führungspositionen bei der Deutschen Bahn in China, Katar und Italien;

seit 2013 Leiter Sonderprojekte bei der Goldschmidt Thermit Gruppe, Leipzig.

Anschrift: Goldschmidt Thermit GmbH, Hugo-Licht-Str. 3, 04109 Leipzig, Deutschland.

E-Mail: stefan.damm@goldschmidt-thermit.com