

# Neue Messtechnologie zur Bestimmung rissartiger Oberflächenfehler

Zuverlässige Quantifizierung des Schädigungszustandes als Basis für zielgerichtete strategische Schieneninstandhaltung

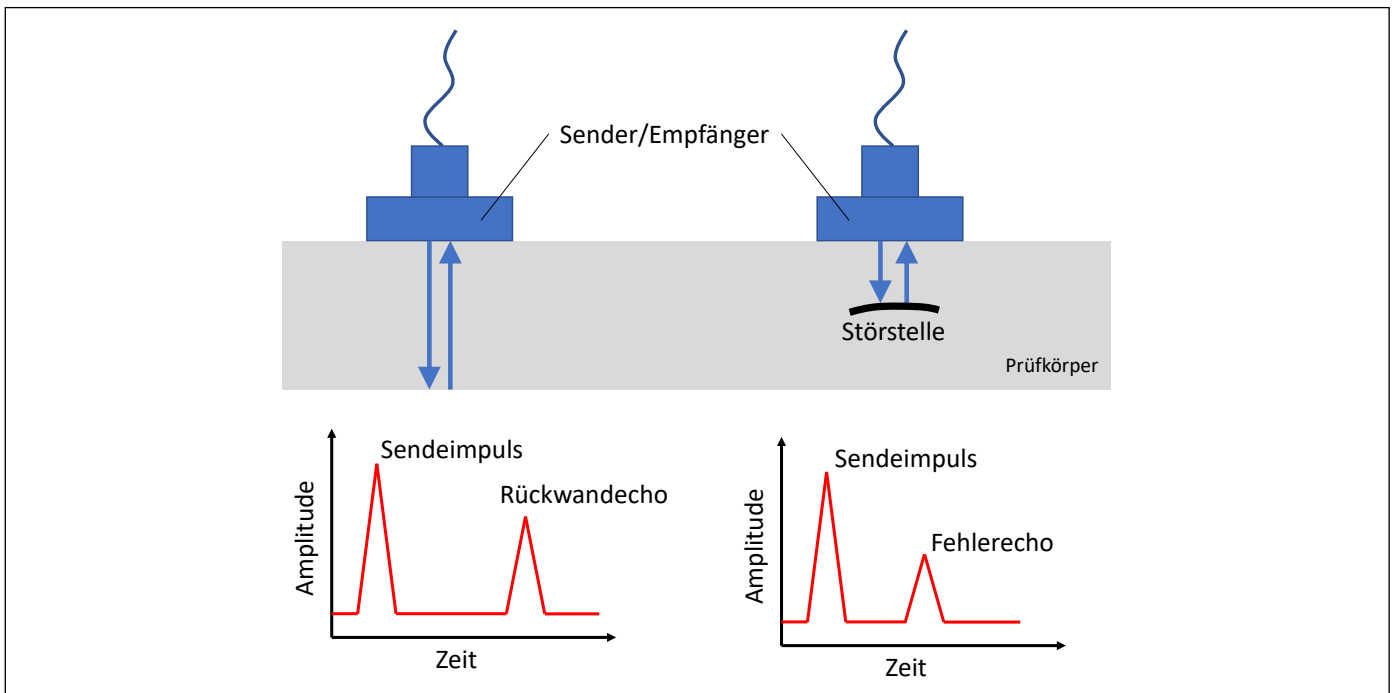


Abb. 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise der Ultraschallprüfung von Werkstücken

Quelle: Richard Stock

## RICHARD STOCK | ROLF HERTER

**Die Schieneninstandhaltung mittels Fräsen oder Schleifen ist eine zentrale Maßnahme, um die Liegedauer eines der wichtigsten Elemente des Fahrweges, der Schiene, zu verlängern. Um Schienenschädigung zu entfernen bzw. unter Kontrolle zu halten und um das Schienenprofil innerhalb gewünschter Toleranzen zu halten, stehen verschiedene Strategien zur Wahl. Die Anwendung der richtigen Technologie im Zusammenhang mit der jeweiligen Strategie setzt genaue Kenntnis über den (Schädigungs-)Zustand der Schiene voraus. Denn nur, was sich durch zuverlässige Messtechnologie quantifizieren lässt, kann in weiterer Folge zielgerichtet gewartet werden.**

### Erkennen von oberflächennahen Fehlern

Im Laufe der letzten ca. 70 Jahre wurden eine Reihe von Schieneninspektionssystemen entwickelt, zur Anwendung gebracht und sogar in diversen Normen und Regelwerken verankert. Zumeist führte ein vorausgehender

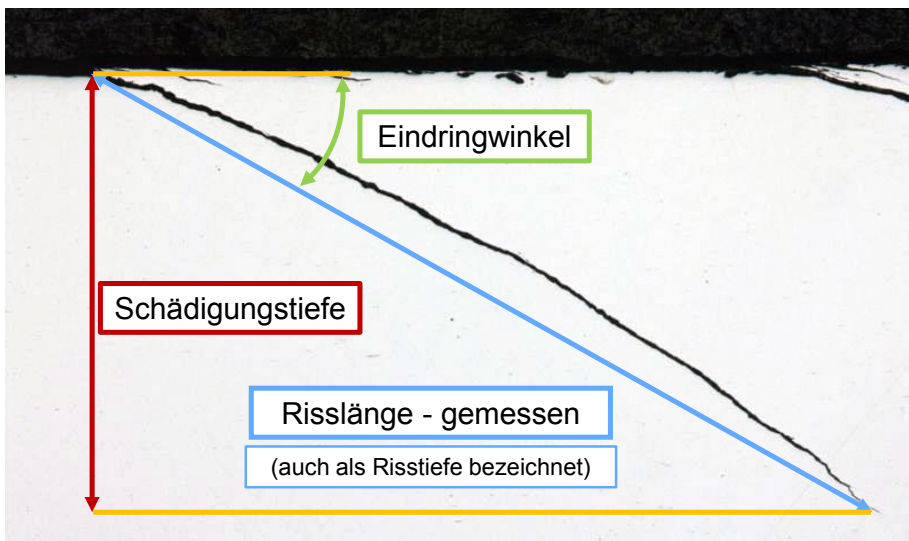
Schadensfall zu einem Entwicklungssprung in der Mess- und Detektionstechnologie. Durch die Anwendung neuer Technologien sollen bekannte Schadensursachen in einem frühen, noch unbedenklichen Zustand erkannt werden. Um das eigentliche Schadensereignis zu vermeiden, kommen zusätzlich gezielte Maßnahmen wie z.B. die Schienenbearbeitung zur Anwendung.

### Ultraschalltechnologie

Eines der ersten Verfahren, das nach einer schweren Entgleisung in den 1950er Jahren entwickelt wurde, ist die Ultraschallprüfung von Schienen. Unter Ultraschall versteht man Schallwellen, deren Frequenz oberhalb des für das menschliche Ohr hörbaren Bereichs liegen, typischerweise in einem Frequenzband zwischen 20 kHz und 10 GHz. Die Ultraschallprüfung beruht auf dem Konzept, dass sich Ultraschallwellen in unterschiedlichen Medien unterschiedlich schnell ausbreiten und an Grenzflächen teilweise reflektiert werden. Bei der Grenzfläche zwischen einem metallenen Werkstoff (z.B. Eisenbahnschiene) und der (Umgebungs-)Luft ist dieser Reflexionsanteil besonders hoch.

Im Fall der Werkstoffprüfung an Schienen kommt das sogenannte Impuls-Echo-Verfahren zur Anwendung. Ein Prüfsensor erzeugt mittels des sogenannten piezoelektrischen Effektes (elastische Verformung eines Festkörpers bei Anlegen einer elektrischen Spannung und umgekehrt) einen Schallwellenimpuls, der in die Schiene gesendet wird. An einer Grenzfläche, z.B. dem Schienenfuß, wird diese Schallwelle reflektiert (Rückwandecho) und dann von demselben Sensor wieder durch den piezoelektrischen Effekt detektiert (Abb. 1).

Befindet sich eine Störstelle in der Schiene, z.B. eine Materialtrennung wie Nieren oder Lunken, erzeugt diese Störstelle eine zusätzliche Reflexion, die ebenfalls detektiert wird (Fehlerecho). Bei der modernen Ultraschallprüfung gemäß EN 16729-1:2016 wird unter verschiedenen Abstrahlwinkeln (0°, 35° und 60°) ein Großteil des Schienenkopfes, des Schienenstegs und ein Teil des Schienenfußes geprüft. Ultraschallprüfsysteme werden mithilfe von Testschienen mit definierter Fehlerkonfiguration kalibriert. Dies stellt sicher, dass Fehler mit einer gewissen Größe und Konfiguration mit ausreichender Nachweiswahrscheinlich-



**Abb. 2:** Ermittlung der Schädigungstiefe bei der Wirbelstromprüfung mithilfe der gemessenen Risslänge und eines angenommenen Eindringwinkels. Schematische Darstellung *Quelle: Richard Stock*

keit detektiert werden. Ein Nachteil der Ultraschallprüfung besteht darin, dass oberflächennahe Fehler zwischen 0-3 mm/12 mm (je nach Art des verwendeten Sensors) Abstand von der Oberfläche nicht erfasst werden können. Diese sogenannte „Tote Zone“ entsteht, weil der Sensor nicht gleichzeitig senden und empfangen kann. Des Weiteren können Faktoren wie Oberflächenzustand der Schiene (Rauigkeiten, Oberflächenfehler, Schleifriefen), Witterung, Beschaffenheit und Lage der zu detektierenden Fehler sowie der menschliche Faktor (Bediener und Auswerter) das Prüfergebn maßgeblich beeinflussen. Mit der Ultraschallprüfung wird folglich nach definierten Fehlern gesucht, die erfahrungsgemäß häufig auftreten bzw. ein besonders hohes Risiko darstellen und mit einer praktikablen Prüfung aufzufinden sind. Die Ultraschallprüfung ist demnach ein Prüfverfahren zur Unterstützung der Bewertung und Beurteilung eines bestimmten Zustandes der Schiene. Ein Nichtauffinden eines Fehlers in einer Schiene garantiert somit nicht Fehlerfreiheit. Die Ultraschallprüfung wird mittels Prüfzügen, Zwei-Wege-Fahrzeugen und

Handprüfgeräten durchgeführt und ist ein integrales und behördlich vorgeschriebenes Verfahren für Eisenbahnsysteme auf der ganzen Welt.

**Wirbelstromtechnologie**

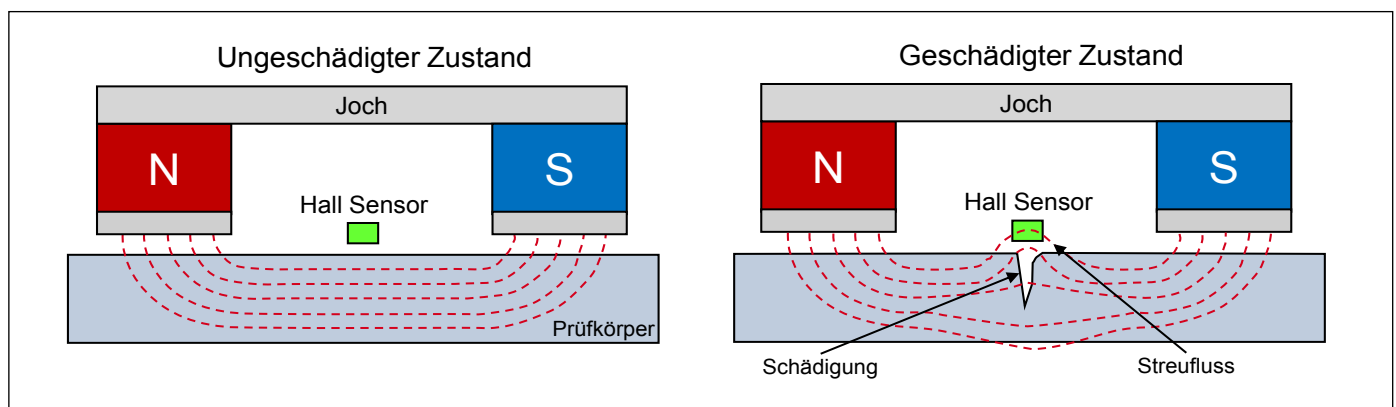
Stellten in den 1970er und 1980er Jahren Innenfehler, Schienenverschleiß und Riffelbildung die Hauptgründe für den vorzeitigen Ausbau von Schienen dar, so trat ab den 1990er Jahren der Fehlertyp Head-Check in Europa in den Vordergrund. Head-Checks sind periodische Risse an der Fahrkante der Schiene (Rollkontaktermüdung) die, wenn nicht mittels Schieneninstandhaltung entfernt, unter gewissen Umständen zu katastrophalem Versagen der Schienen in Form von Trümmerbrüchen führen können. Das bekannteste Beispiel eines solchen Trümmerbruches ist das fatale Zugunglück von Hatfield in England, bei dem am 17. Oktober 2000 ein Intercity-Zug bei 185 km/h entgleiste und vier Menschen starben sowie über 70 Personen verletzt wurden [1].

Da Oberflächenfehler wie Head-Checks nicht mittels Ultraschallverfahren zu erkennen sind,

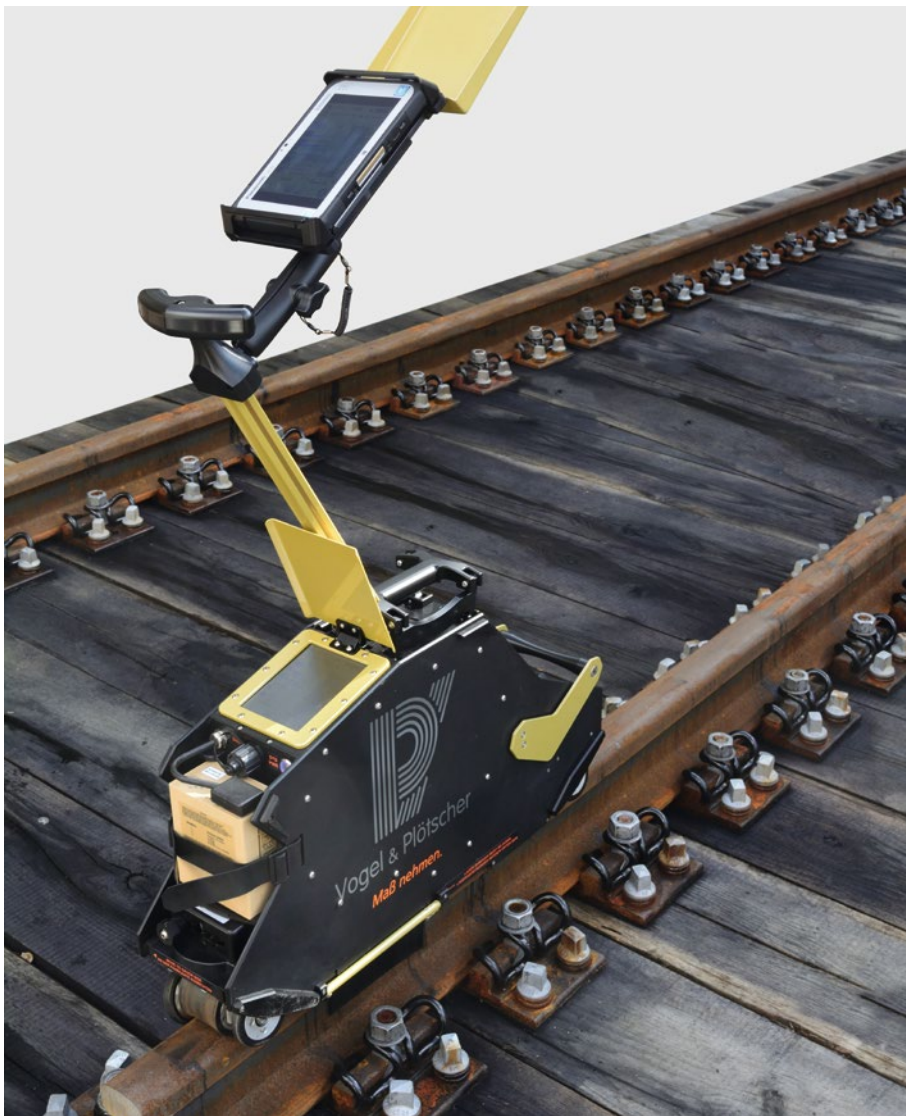
begann ab ca. dem Jahr 2000 die Entwicklung der Wirbelstromprüfung als alternatives Verfahren. Dabei wird über eine Spule ein wechselndes Magnetfeld erzeugt, das Wirbelströme in den zu untersuchenden Werkstoff induziert (Prinzip der elektromagnetischen Induktion). Dieser Wirbelstrom wiederum generiert ein sogenanntes sekundäres Magnetfeld, das dann von einem Sensor (Spule) detektiert wird. Befindet sich eine Fehlstelle an der Oberfläche des Prüfkörpers (z. B. ein Riss), muss der Wirbelstrom um diesen Riss durch das Material herumlaufen, und die daraus resultierende Veränderung des sekundären Magnetfeldes wird detektiert. Das Verfahren kann folglich nur zur Prüfung elektrisch leitender Materialien verwendet werden.

Auf diese Art lassen sich üblicherweise Oberflächenfehler mit einer Tiefe von bis zu 3 mm nachweisen. Da das Prüfergebn von der Homogenität der Materialeigenschaften, dem Abstand der Prüfsonde von der Oberfläche und vom Abstand einzelner Risse zueinander beeinflusst wird, ist eine komplexe Filterung des Ausgangssignals nötig, um eine Tiefeninformation zu erhalten. Des Weiteren bestimmt die Wirbelstromtechnologie eigentlich die Länge des Risses und nicht seine Tiefen in Bezug auf die Oberfläche. Um die tatsächliche Schädigungstiefe zu erhalten, muss ein Eindringwinkel angenommen werden, mit dem dann die Schädigungstiefe berechnet wird (Abb. 2). Für typische Head-Check-Defekte, wie sie in Europäischen Schienennetzen zu finden sind, wurde nach intensiven Untersuchungen ein durchschnittlicher Rissneigungswinkel von 25° gefunden und für die Prüfung festgelegt.

Allgemein kommen vier Prüfsonden mit überlappenden Prüfbereichen zum Einsatz, welche die Fahrkante der Schiene zwischen 45° und 7° abdecken, angewandt auf Prüfzügen, Zwei-Wege-Fahrzeugen und Handmessgeräten. Darüber hinaus ist es in Europa gesetzlich vorgeschrieben, dass auch Schieneninstandhaltungsfahrzeuge wie Schleif- oder Fräs-Züge mit dieser Technologie ausgerüstet sind, um den Fehlerzustand nach der Bearbeitung zu dokumentieren.



**Abb. 3:** Schematische Darstellung der magnetischen Streuflussprüfung mit unbeschädigtem und beschädigtem Prüfkörper *Quelle: Richard Stock*



**Abb. 4:** RSCM-Messgerät zur Fehlerprüfung von Schienen mittels magnetischer Streuflussprüfung

Quelle: Vogel & Plötscher

**Universale Prüftechnologie**

Mit Anpassung der Instandhaltungspraktiken (präventive Instandhaltung, Anti-Head-Check-Profile) und der flächendeckenden Einführung der Wirbelstromtechnik konnte der Fehlertyp Head-Check unter Kontrolle gebracht werden. Jedoch begann ungefähr zur gleichen Zeit ein neuer Fehler auf der Fahrfläche der Schiene vermehrt aufzutreten – der Squat bzw. Seriensquat, auch Stud oder Squat-Type-Defekt genannt. Auch wenn dieser Defekt schon aus den 1970er Jahren bekannt war, so weisen diese „neuen“ Squats trotz gleichen Aussehens unterschiedliche Charakteristika auf. Aufgrund der flächigen Ausdehnung am Schienenkopf und der möglichen Risstiefen von bis zu 8 mm sowie der potenziellen Ausbrüche über längere Distanzen eignen sich weder Ultraschall- noch Wirbelstromtechnologie für die messtechnische Detektion und Charakterisierung dieses Defekts. Daher war es nötig, ein neues, universales Verfahren zur Prüfung des Schienenkopfes

bezüglich oberflächennaher Fehler zur Anwendung zu bringen.

**Magnetic Flux Leakage – Streuflussprüfung mit dem RSCM-System**

Bei der Streuflussprüfung (Englisch „magnetic flux leakage“) wird ein ferromagnetischer Prüfkörper einem externen Magnetfeld ausgesetzt. Ein ferromagnetischer Werkstoff zeichnet sich dadurch aus, dass nach Einwirken eines externen magnetischen Feldes ein Restmagnetismus (oder Remanenz) zurückbleibt. Sollte nun ein Prüfkörper oberflächennahe Fehler aufweisen, so entsteht eine Wechselwirkung mit dem Remanenzfeld, und das Magnetfeld „stret“ aus dem Prüfkörper heraus (im Englischen: „flux leakage“). Dieses Streufeld wird dann mit einem sogenannten Hall-Sensor detektiert (Abb. 3). Der große Vorteil dieser Methode liegt darin, dass Fehler zwischen 0.2 mm und 7 mm unabhängig von ihrer Winkellage erfasst und ausgewertet werden. Einzig Fehler mit einer reinen Längsausrichtung und senkrecht zur Oberflä-

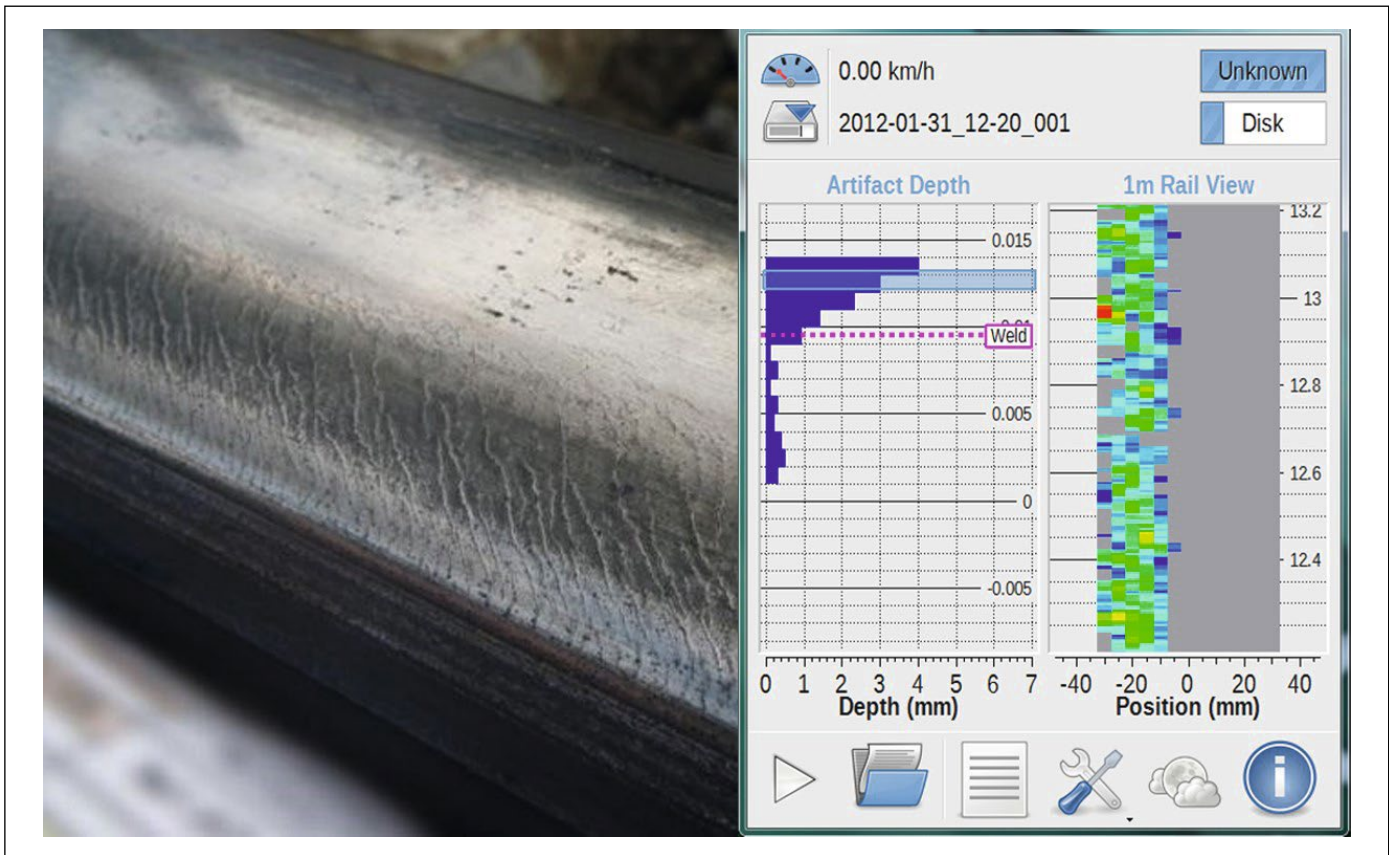
che der Schiene können nicht entdeckt werden, aber diese Restriktion gilt auch für Ultraschall und Wirbelstrom. Für die Prüfung ist wichtig, dass das Gleis zuvor noch nicht magnetisiert wurde. Sollte eine Restmagnetisierung im Gleis vorhanden sein, reicht es aus, die Überfahrt von ein bis zwei Zügen abzuwarten. Nach ca. 130 Achsen hat sich die etwaig vorhandene Restmagnetisierung komplett abgebaut.

Das RSCM (Rail Surface Crack Measurement)-System (Abb. 4) verwendet 19 Sensoren, die das gesamte Querprofil abdecken. Das Rohsignal jedes Sensors wird von der integrierten Software gefiltert und ausgewertet, sodass für den Bediener zwei Informationen zur Verfügung stehen. Pro geprüfem Meter wird die tiefste gemessene Fehlertiefe angezeigt. Da aber der gestreute Magnetfluss proportional zum geschädigten Volumen ist, werden außerdem die Geometrie und Schädigungsintensität (Farbcode) des Defektes auf der Schienenoberfläche abgebildet (Abb. 5). Das Verfahren detektiert somit nicht nur Risse an der Fahrkante, sondern auch flächigere Defekte auf der Lauffläche, z.B. Seriensquats.

Um die Effektivität des Messsystems zu bestätigen, hat die DB Netz AG (DB) eine umfangreiche Studie durchgeführt [2], bei der sowohl Head-Checks an der Fahrkante als auch Seriensquats auf der Lauffläche untersucht wurden. Nach der Messung mit dem RSCM wurden die Schienen ausgebaut und in 0,5 mm Schritten abgefräst, um die tatsächliche Fehlertiefe zu ermitteln. Für den Schienenfehler Head-Check wurde für zwölf der 14 Messungen eine übereinstimmende Tiefenaussage innerhalb eines 20 %-Toleranzbandes nachgewiesen. Nur bei zwei Messungen fand durch das RSCM eine Überbewertung des Fehlers statt. Zusätzlich wurden noch Messungen bei teilweise entfernten Head-Checks (Restschädigung nach dem Schienenschleifen) durchgeführt, und in allen sechs untersuchten Fällen wurde ein sogar noch geringeres Toleranzband von 10 % nachgewiesen. Bei dem Fehlertyp Seriensquat konnte bei allen 25 untersuchten Fällen ein Toleranzband von 15 % bezüglich der gemessenen Tiefe und der tatsächlichen Tiefe erreicht werden. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass das RSCM die Lücke zwischen der Wirbelstromprüfung und der Ultraschallprüfung schließen und als Universalprüfsystem für oberflächennahe Fehler im oberen Schienenkopfbereich eingesetzt werden kann.

**Prüftechnologie mit Zukunftspotenzial**

Aufgrund der oben angeführten Ergebnisse hat die Deutsche Bahn AG (DB) das RSCM als Standardprüfsystem zur Handprüfung in ihre aktuelle Richtlinie übernommen. Es ist geplant, dass das RSCM die Wirbelstromprüfung in diesem Bereich ablösen wird. Neben der DB kommt das RSCM auch bei London Underground und diversen Kunden in Australien und Nordamerika zum Einsatz. Das RSCM-System wurde ursprünglich in Australien entwickelt und jüngst



**Abb. 5:** Rollkontaktermüdung (Head-Checks) auf einer Schiene und RSCM-Messergebnis (Schädigungstiefe und Intensität) einer Schiene mit Head-Check-Schädigung  
 Quellen: voestalpine (Beispielbild), Vogel & Plötscher (Grafik)

vom deutschen Gleismess-Spezialisten Vogel & Plötscher (V&P) erworben. Da das Potenzial dieser Technologie bei weitem noch nicht ausgereizt ist, konzentriert sich V&P im Moment auf die Weiterentwicklung. Bereits für den Einsatz verfügbar sind Handgeräte (Draisine) sowie ein Prototyp für fahrzeuggebundene Prüfung bei geringen bis mittleren Geschwindigkeiten. Ziel ist, hier eine Lösung für höhere Prüfgeschwindigkeiten zu entwickeln. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass das System nicht nur Head-Checks und Squats detektiert, sondern auch andere Defekte und Merkmale im Gleis automatisiert erkannt werden können. Weitere Entwicklungsrichtungen beschäftigen sich mit der Prüfbarkeit neuer Schienenwerkstoffe, der kompakteren Ausführung der Prüftechnik sowie der Verbesserung der Bedienungsergonomie. Die magnetische Streuflussprüfung ist eine bewährte und universelle Messtechnologie zur Quantifizierung der Schädigung in oberflächennahen Bereichen des Schienenkopfes. Sie ermöglicht, den Schädigungszustand mit hinreichender Genauigkeit zu quantifizieren, Instandhaltungsmaßnahmen abzuleiten und danach auch die Verifizierung und Qualitätskontrolle der umgesetzten Maßnahmen durchzuführen. ■



**DI Dr. mont. Richard Stock**  
 Global Head of Rail Solutions  
 Plasser American / Plasser & Theurer,  
 CA-Vancouver  
 rstock@plausa.com



**Rolf Herter**  
 Geschäftsführer  
 Vogel & Plötscher GmbH & Co. KG,  
 Breisach  
 rolf.herter@voploe.de

**QUELLEN**

- [1] Grassie, S.L.: Rolling contact fatigue on the British railway system: Treatment. Wear 2005, 258, S. 1310–1318
- [2] Reinhardt, J.: Inspektion von oberflächennahen Schienenfehlern. RSCM – Prüfsystem der Zukunft? Interner Vortrag der DB Netz, 2016