



Quelle: <https://www.zevrail.de/artikel/schienenzustandserfassung-fuer-effiziente-instandhaltungsplanung>

---

2024 (Jahrgang 148) / Ausgabe 05 / Sprache: Deutsch

# Schienenzustandserfassung für effiziente Instandhaltungsplanung

Autoren: Dipl.-Ing. Dr. mont. Richard Stock, Christian Obexer, Rolf Herter

---

## Zusammenfassung

Die messtechnische Erfassung des Schienenzustandes ist eine Grundvoraussetzung, um gezielt Instandhaltungsmaßnahmen umsetzen zu können. Das Querprofil wird üblicherweise mit Hilfe von Laser-Lichtschnittsensoren erfasst. Für die Bewertung des Längsprofils kommen entweder taktile Systeme (niedriger Geschwindigkeitsbereich) oder berührungslose Systeme (mittlerer bis hoher Geschwindigkeitsbereich) zum Einsatz. Der Schädigungszustand der Schienenoberfläche kann mit Wirbelstromtechnologie (bis 3 mm Schädigungstiefe) oder mit magnetischer Streuflussprüfung (bis 7 mm Schädigungstiefe) erfasst werden. Beide Systeme können mit einer Videoanalyse der Schienenoberfläche komplementiert werden. Für volumetrische Defekte wird Ultraschall-Technologie zum Einsatz gebracht. Die Kombination all dieser Messsysteme mit einer reproduzierbaren und hinreichend genauen Verortung ermöglicht die Fehler-Verknüpfung, Zustandsbewertung und darauffolgende Ableitung der jeweils geeigneten Instandhaltungsmaßnahmen.

---

## 1 Einführung

Um die Lebensdauer der Fahrwegkomponente Schiene zu optimieren, steht dem Infrastrukturbetreiber eine Reihe von Maßnahmen/Werkzeugen zur Verfügung (Bild 1). Der Lebenszyklus einer Schiene beginnt mit der Wahl der korrekten Schienengüte und des Schienenprofils zusammen mit der passenden Fügetechnologie (Schweißen). Optimierte Rad- und Schienen-Profile reduzieren die Kontaktspannungen und verringern somit Verschleiß und Schädigungsrate. Ein Oberbau in perfektem Qualitätszustand reduziert die dynamischen Belastungen auf die Schiene und verlängert damit die Lebensdauer (der Schiene und des Oberbaus). Der Begriff „Friction Management“ (dafür gibt es bis heute keine adäquate Übersetzung) beinhaltet sowohl die klassische Schmierung der Radflanken/Fahrkanten als auch die

Konditionierung der Laufflächen. Beide Maßnahmen reduzieren den Schienenverschleiß und bewirken auch einen verbesserten Fahrzeuglauf. Sie reduzieren damit die Kontaktkräfte und -spannungen sowie die daraus resultierende Schädigung. Haben alle bisherigen „Werkzeuge“ Verschleiß und Schienenschädigung verzögert, so ist die Schienenbearbeitung (mittels Schleifen oder Fräsen) das einzige, das die entstandene Schädigung entfernen/abtragen kann. All diese „Werkzeuge“ dürfen nicht für sich alleine betrachtet werden, sondern müssen in ihrer Wechselwirkung optimiert zum Einsatz kommen. Jedoch lässt sich keines sinnvoll anwenden, wenn nicht der Zustand der Schiene bekannt ist.

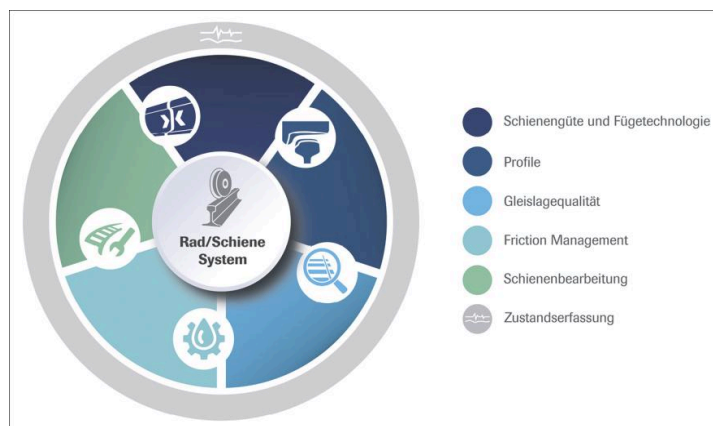


Bild 1: Werkzeuge / Maßnahmen zur Maximierung der Lebensdauer der Komponente Schiene im Rad-Schiene System

## 2 Schienenzustandserfassung

„Was man nicht messen kann, lässt sich nicht lenken.“ Dieses Zitat von Peter F. Drucker aus der Managementlehre lässt sich auch perfekt auf die Schiene und deren Zustandserfassung anwenden. Nur wenn der Zustand der Schiene ermittelt werden kann, ist es möglich, gezielte Maßnahmen zu setzen, um die Lebensdauer dieser Komponente zu optimieren und zu maximieren. Um ein gesamtheitliches Bild des Schienenzustands zu erhalten, müssen verschiedene Messtechnologien kombiniert zum Einsatz kommen. Dieser gesamtheitliche Schienenzustand berücksichtigt das Schienenprofil in Querrichtung und Längsrichtung, den Schädigungszustand der Oberfläche sowie den Schädigungszustand im Inneren der Schiene. Dieser Artikel fokussiert auf Messsysteme, die auf Fahrzeugen aller Art zum Einsatz kommen können, um automatisiert größere Streckenabschnitte und ganze Gleisnetzwerke zu erfassen.

## 3 Schienenprofil in Querrichtung und Längsrichtung

### 3.1 Querprofil

Beim Schienenkopfquerprofil geht es darum, Veränderungen durch den Materialverschleiß frühzeitig zu erkennen, entsprechende Reprofilierung einzuplanen und zu gewährleisten, dass das Schienenkopfprofil immer zu den vorherrschenden Radprofilen passt. Die Bestimmung des Verschleißzustandes des Schienenkopfes ist eines der ältesten Messverfahren zur Bestimmung des Schienenzustandes. Dies wurde zuerst mit analogen Messsystemen wie Schablonen und Tastern durchgeführt. In weiterer Folge wurden taktile Messsysteme entwickelt, die eine digitale Nachzeichnung des Schienenkopfes erlauben. Erst durch die Einführung moderner Lasermesssysteme ist es möglich, auch fahrzeuggebunden das Schienenprofil zu messen. Im Speziellen erfolgt die Vermessung des Schienenquerprofils mit Lichtschnittsensoren (Bild 2). Dabei wird mit einem Laser (je nach Schienentyp und Anforderung auch zwei) eine Lichtlinie entlang des Querprofils (von der Lauffläche über den Steg bis zum Schienenfuß) projiziert. Diese wird mit Hochleistungskameras aufgenommen und in 2D-Koordinaten umgerechnet. Verarbeitung und Visualisierung der Messdaten erfolgen in Echtzeit. Als nächster Schritt wird das gemessene Querprofil mit dem Soll-Profil verglichen, die verschiedenen Abnutzungen werden berechnet und ausgegeben. Typisch sind dabei der seitliche und vertikale Verschleiß des Schienenkopfes, jedoch können die geforderten Auswertungen je nach Kontinent, Land und Infrastrukturbetreiber variieren. Für die Schienenbearbeitung kann damit einerseits die Vormessung durchgeführt werden (Unterschied zum Soll-/Ziel-Profil und Verschleißvorrat), andererseits auch die Nachmessung zur Qualitätskontrolle und zur Bestimmung des erzielten Materialabtrages herangezogen werden (Bild 3).

Außerdem können noch Parameter wie Schienenneigung und die äquivalente Konizität vom System automatisch berechnet werden. Für Letztere werden Soll-Profile von den Fahrzeuigrädern und das Ist-Profil von der Schiene verwendet. Das Basisprofil der Schiene wird automatisch erkannt. Die Messsysteme werden am Drehgestell oder am FahrzeuGRAHMEN installiert und haben eine Messfrequenz von 400 Hz. Je nach System können Messgeschwindigkeiten von bis zu 300 km/h erzielt werden. Abgesehen von Messwagen kommen solche Systeme auch auf Schienenbearbeitungsmaschinen (Schleifmaschinen, Schienenfräsen) zum Einsatz.

Dieselbe Lasertechnologie (und dasselbe Messprinzip) findet auch in modernen Handmessgeräten Anwendung, die sich durch einen schnellen Messvorgang samt Vor-Ort-Auswertung (< 5 s) gegenüber taktilen Messgeräten auszeichnen.

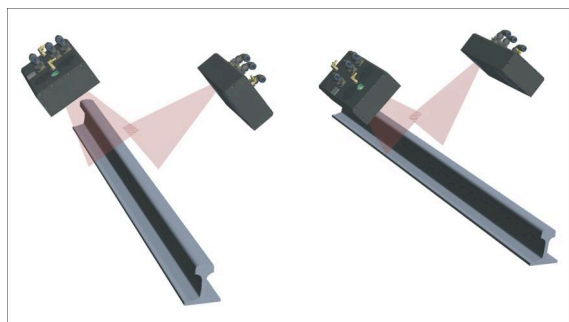


Bild 2: Prinzipielle Anordnung der Lichtschnittsensoren zur Messung des Querprofils

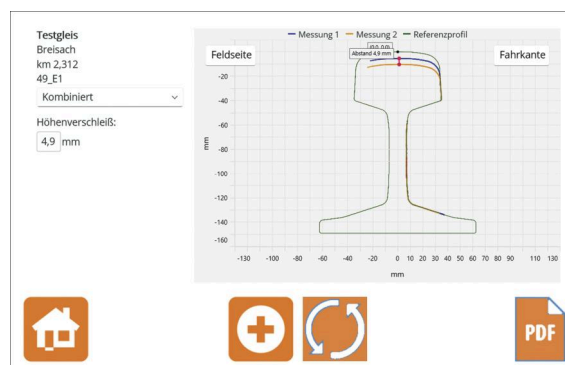


Bild 3: Beispiel für die Verschleißauswertung einer Querprofilmessung

### 3.2 Längsprofil

Die Längsprofilmessung von Schienen zielt einerseits auf die Erfassung von periodischen Profilabweichungen wie z. B. Riffeln oder Schlupfwellen ab, andererseits dient sie auch der Erfassung von singulären Längsprofilabweichungen wie z. B. Schweißstößen mit Überhöhung oder Eindellung. Für periodische/wellenförmige Fehler sind die zu detektierenden Wellenlängenbereiche 10-30 mm, 30-100 mm, 100-300 mm und 300-1000 mm sowie die Genauigkeitsanforderungen in der Norm EN 13231-2:2020 [1] spezifiziert. Für die Vermessung wird dabei die Oberfläche entweder mit mechanischen/taktilen oder optischen Sensoren abgetastet. Aus diesen Abtastdaten werden mittels FFT-Transformation die Amplituden und RMS-Werte für die jeweiligen Wellenlängenbereiche berechnet.

Der Geschwindigkeitsbereich von taktilen Systemen (Bild 4) ist zwar beschränkt (Einsatzbereich bis 5 km/h), aber erzielt eine höhere Reproduzierbarkeit und Messgenauigkeit als berührungslose Systeme. Dazu wird über einen Messschlitten mit definierter Länge eine Wandersehne auf der unverschlissenen Seite der Schiene (gegenüber der Fahrkante) über die Schienenoberfläche geführt. Ein Spezialtaster mit hochauflösendem Sensor, der über der Mitte der Sehne angeordnet ist, erfasst im Abstand von 2 mm den Höhenunterschied zwischen Sehne und Fahrfläche. Auf diese Art wird ein sogenanntes Primärprofil der Schienenlauffläche erzeugt. Die Daten des Primärprofils werden dann in die einzelnen Wellenbereiche zerlegt.

Die rote Linie (Bild 5) zeigt die 5-Prozent-Grenze, die in der EN 13231-2:2020 [1] als maximale Ausfallquote aller Messpunkte über den Auswertungsbereich festgelegt ist. Abhängig von der ausgewählten Auswertemethode kann die rote Linie als Eingriffsschwelle vor dem Bearbeiten oder als Abnahmekriterium

nach der Bearbeitung eingesetzt werden. Diese Auswertung und Darstellung erfüllt neben der EN 13231-2:2020 [1] auch die Richtlinie 824.8310:2021 [2] der DB. Taktile Systeme kommen als Draisinen oder als integrierte Systeme auf Instandhaltungsmaschinen (z. B. Schienenfräse) zum Einsatz.

Bei den fahrzeuggebundenen Messsystemen für mittlere bis hohe Messgeschwindigkeiten haben sich optische berührunglose Systeme durchgesetzt. Dabei wird je nach Ausführung mit drei oder vier Abstandssensoren die Schiene abgetastet. Die Sensoranordnung ist so gewählt, dass es im gesamten Wellenlängenbereich von 10 mm bis 1 000 mm keine Nullstellen gibt.

Ermittelt werden die Abstände entweder über punktuelle Abstandssensoren, die mittels Nachführmechanismus auf Schienenmitte positioniert werden (Bild 6), oder mit Lichtschnittsensoren, die die gesamte Schienenoberfläche messen und dann die Referenzpunkte berechnen. Um die geforderten Genauigkeiten zu erreichen, werden dabei hochpräzise Triangulationssensoren mit einer Genauigkeit von einigen Mikrometern und einer Bandbreite von 16 kHz eingesetzt. Die hohe Bandbreite ist notwendig, um auch bei hoher Geschwindigkeit alle 5 mm eine Messung durchführen zu können. Diese fahrzeuggebundenen Lasersysteme fallen in den Annex D der Norm EN 13231-2:2020 [1], da sie üblicherweise nicht die der Norm entsprechende Genauigkeit aufweisen. Jedoch ist ihr Einsatz die einzige praktikable Möglichkeit, wenn viele Messdaten über ganze Stecken oder Netzwerke gewonnen werden müssen.

Eine weitere Technologie für das qualitative Erfassen von Riffeln sind Beschleunigungssensoren an den Achslagerkörpern. Die damit gewonnenen Daten werden geschwindigkeitsabhängig gefiltert. Hier ist allerdings eine minimale Messgeschwindigkeit erforderlich.



Bild 4: Taktiles Längsprofilmessgerät vom Typ RMF 1100

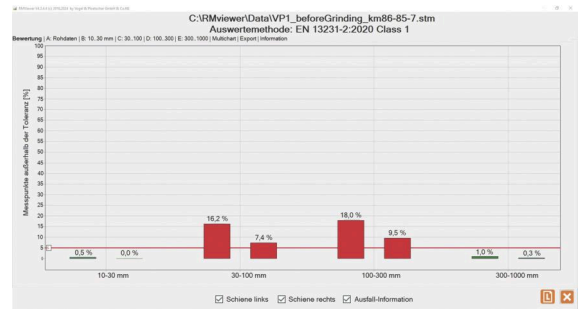


Bild 5: Beispiel der Auswertung einer Längsprofilmessung gemäß EN 13231-2:2020



Bild 6: Beispiel Sensorkopf Fahrzeuggebundene Längsprofilmessung

## 4 Oberflächenzustand der Schiene

Beim Oberflächenzustand der Schiene geht es darum, Risse, Kratzer, Eindrückungen und andere Anomalien zu detektieren, zu klassifizieren und auch deren Tiefe zu bestimmen, um sie gezielt mit Instandhaltungstätigkeiten entfernen zu können.

## 4.1 Schienenoberflächen Video/Foto

Für die Videoaufzeichnung der Schienenoberfläche werden Linienkameras verwendet. Diese erzeugen alle 0,5 mm eine hochauflösende Aufnahme der Schienenoberfläche und fügen sie zu einem Endlosbild zusammen (Bild 7). Mit Hilfe KI-basierter Algorithmen werden aus diesem Bild automatisch Fehler auf der Schienenoberfläche erkannt und klassifiziert, wie Schleuderstellen, Head Checks, Eindrückungen, Squats usw. Mit seitlich angebrachten Kameras lassen sich auch Fehlstellen an den Schienenlaschen und Walzzeichen erkennen. Darüber hinaus können sie auch zur automatisierten Inspektion von Verlaschungen, Isolierstößen, Befestigungssystemen oder Schwellen verwendet werden.

Auch wenn Oberflächenvideos eine automatische Detektion und Klassifizierung von Fehlern wie Head Checks, Schleuderstellen oder Squats ermöglichen, gibt ein Foto oder Video keine Information über die Defekttiefe als Voraussetzung, um den korrekten Materialabtrag zur Fehlerentfernung bei der Schienenbearbeitung zu wählen. Um diese Information zu erhalten, kommen entweder Wirbelstromtechnologie oder magnetische Streuflussprüfung zur Anwendung.



Bild 7: Beispiel Videoaufnahme einer Schiene

## 4.2 Wirbelstromtechnologie

Bei der Wirbelstromprüfung wird über eine Spule ein wechselndes Magnetfeld erzeugt, das Wirbelströme in den zu untersuchenden Werkstoff induziert (Prinzip der elektromagnetischen Induktion). Dieser Wirbelstrom erzeugt 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 feststellen. Das Verfahren kann daher nur zur Prüfung elektrisch leitender Materialien eingesetzt werden.

Auf diese Art lassen sich Oberflächenfehler mit einer Tiefe von bis zu 3 mm nachweisen. Da das Prüfergebnis von der Homogenität der Materialeigenschaften, dem Abstand der Prüfsonde von der Oberfläche und dem 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 die Schädigungstiefe berechnet wird (Bild 8). Für typische Head Check-Defekte, wie sie in europäischen Schienennetzen zu finden sind, wurde nach intensiven Untersuchungen ein durchschnittlicher Rissneigungswinkel von  $25^\circ$  gefunden und für die Prüfung festgelegt.

Je nach Anforderung kommen vier oder acht Prüfsonden mit überlappenden Prüfbereichen zum Einsatz, welche die Fahrkante der Schiene zwischen  $45^\circ$  und  $5^\circ$  abdecken. Der Messbereich und die Validierung der Wirbelstrommesssysteme sind in der Norm EN 16729-2:2020 [3] definiert. Diese Sonden sind in einem Schlitten montiert, der einerseits eine korrekte Längsführung der Prüfsonden gewährleistet, andererseits dafür sorgt, dass der Abstand zwischen Sonde und Schienenoberfläche möglichst konstant bleibt. Bei den Sonden kann es sich um starre Sonden mit oder ohne Schleifkontakt oder um rotierende Sonden handeln. Bei Letzteren spielt der Oberflächenwinkel der Risse keine Rolle und es können auch längs gerichtete Risse erfasst werden. Wirbelstromtechnologie kommt auf Prüfzügen, 2-Wege-Fahrzeugen und Handmessgeräten zum Einsatz. Darüber hinaus ist in Europa in der Norm EN 13231-5:2018 [4] empfohlen, dass auch Schieneninstandhaltungsfahrzeuge wie Schleifzüge oder Fräszüge mit dieser Technologie ausgerüstet sind, um den Fehlerzustand nach der Bearbeitung zu dokumentieren. Viele europäische Infrastrukturbetreiber haben sich dazu entschlossen, diese Empfehlung auch umzusetzen.



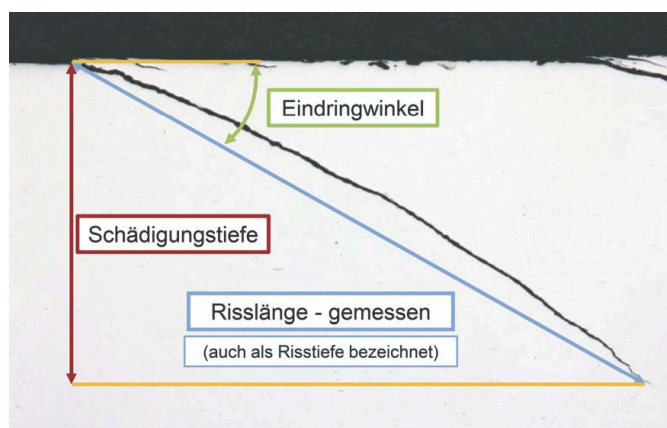


Bild 8: Ermittlung der Schädigungstiefe bei der Wirbelstromprüfung mithilfe der gemessenen Risslänge und eines angenommenen Eindringwinkels. Schematische Darstellung

### 4.3 Magnetische Streuflussprüfung/Magnetic Flux Leakage

Bei der Streuflussprüfung wird ein ferromagnetischer Prüfkörper einem externen Magnetfeld ausgesetzt. Ein solcher Werkstoff zeichnet sich dadurch aus, dass nach Einwirken eines externen magnetischen Feldes ein Restmagnetismus (oder auch Remanenz) zurückbleibt. Sollte ein Prüfkörper oberflächennahe Fehler aufweisen, so wird eine Wechselwirkung mit dem Remanenzfeld erzeugt und das Magnetfeld „stret“ aus dem Prüfkörper heraus (im Englischen: „flux leakage“). Dieses Streufeld wird dann mit einem sogenannten Hall-Sensor detektiert (Bild 9).

Der große Vorteil dieser Methode liegt darin, dass Fehler zwischen 0,2 mm und 7 mm unabhängig von ihrer Winkellage erfasst und ausgewertet werden können. Nur Fehler mit reiner Längsausrichtung und senkrecht zur Oberfläche der Schiene können nicht entdeckt werden, aber diese Restriktion gilt auch für Wirbelstrom mit statischen Sonden. 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 möglicherweise vorhandene Restmagnetisierung komplett abgebaut.

Typische Messsysteme (Bild 10) verwenden bis zu 19 Sensoren pro Schiene, die das gesamte Querprofil abdecken. Das Rohsignal jedes Sensors wird von der integrierten Software gefiltert und ausgewertet, sodass in der Folge zwei Defekt-Informationen zur Verfügung stehen. Pro gescanntem und geprüfem Meter wird die tiefste gemessene Fehlertiefe ermittelt. Da aber der gestreute Magnetfluss auch proportional zum geschädigten Volumen ist, werden auch Geometrie und Schädigungsintensität (Farbcode) des Defektes auf der Schienenoberfläche abgebildet. Das Verfahren detektiert somit nicht nur Risse an der Fahrkante,

sondern auch flächigere Defekte auf der Lauffläche, z. B. Seriensquats. Auch wenn das Streufluss-Messsystem als Handprüfgerät konzipiert wurde, gibt es bereits einen Prototypen für fahrzeuggebundene Anwendungen bis 25 km/h, der beide Schienen gleichzeitig scannt.

Die Streuflusstechnologie wurde in umfangreichen Tests bei der DB verifiziert und ist im Regelwerk der DB verankert. Dieses Universalprüfsystem deckt somit die Lücke zwischen Wirbelstrom- und Ultraschallprüfung (siehe nächstes Kapitel) ab.

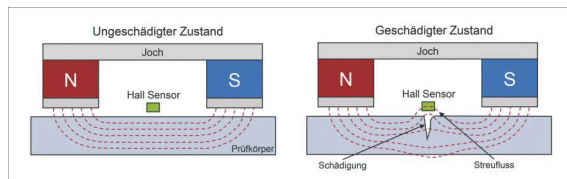


Bild 9: Schematische Darstellung der magnetischen Streuflussprüfung mit unbeschädigtem und beschädigtem Prüfkörper

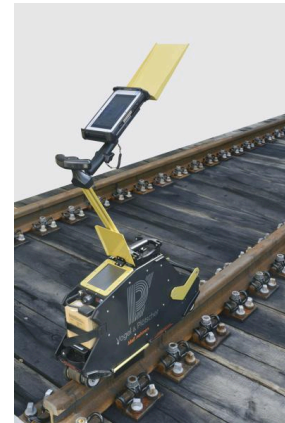


Bild 10: RSCM-Messgerät zur Fehlerprüfung von Schienen mittels magnetischer Streuflussprüfung

## 5 Ultraschalltechnologie

Um den Schädigungsstatus im Inneren der Schiene zu klassifizieren, kommt seit den 1950er Jahren die Ultraschallprüfung zum Einsatz. 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 Werkstoff aus Metall (z. B. Eisenbahnschiene) und der (Umgebungs-)Luft ist dieser Reflexionsanteil besonders hoch.

Für die mobile Vermessung von internen Schienenfehlern mit fahrzeuggebundenen Systemen haben sich verschiedene Technologien bewährt. Grundsätzlich wird zwischen schlittenbasierten und radbasierten Messsystemen unterschieden. Beide Systeme haben Vorteile und Nachteile, je nach Infrastrukturbetreiber wird das eine oder das andere eingesetzt. Es werden Messgeschwindigkeiten von bis zu 80 km/h erreicht und beide verwenden klassische Ultraschallsensoren mit einer Frequenz von 2 MHz bis 5 MHz. Die Prüfung

der Schiene erfolgt mit Hilfe des Impuls-Echo-Verfahrens (Bild 11).

Ein Prüfsensor erzeugt mittels des sogenannten piezoelektrischen Effektes (elastische Verformung eines Festkörpers bei Anlegen einer elektrischen Spannung und umgekehrt) einen Schallwellenimpuls. Dieser kurze, hochfrequente Schallimpuls durchdringt die Schiene und wird von der Schienenunterkante reflektiert (Grenzfläche erzeugt Rückwandecho). Die Empfangseinheit detektiert den reflektierten Impuls mittels desselben piezoelektrischen Effektes. Befindet sich eine Störstelle in der Schiene, z. B. eine Materialtrennung wie Nieren oder Lunken, wird eine zusätzliche Reflexion mit veränderter Laufzeit erzeugt, die auch detektiert wird (Fehlerecho). Durch die Auswertung dieser Fehlerechos können Schienenfehler erkannt werden, noch bevor sie ein unakzeptables Risiko für die Integrität und Stabilität der Schiene darstellen.

Die Ultraschallsensoren sind so angeordnet (mehrere Sensoren in verschiedenen Winkellagen), dass sie horizontale, vertikale und transversale Risse am Schienenkopf, am Schienensteg und im zentralen Teil des Schienenfußes bestmöglich erkennen. Die Klassifizierung der Schienenfehler erfolgt im Allgemeinen gemäß der IRS 70712 (Nachfolge des UIC 712 Code) [5].

Beim schlittenbasierten System sind die Sensoren auf einem Schlitten montiert, der für die Messung abgesenkt wird. Ein automatisches Nachführsystem sorgt dafür, dass die Sensoren korrekt mit den Schienen in Kontakt sind. Als Kopplungsflüssigkeit wird Wasser verwendet.

Beim radbasierten Messsystem werden Polyurethanräder verwendet, eines, zwei oder drei pro Schiene (Bild 12), in denen die Ultraschallsonden installiert sind. Je nach Aufbau sind diese entweder auf einer Teleskopachse oder direkt am Drehgestellrahmen montiert. Das Rad ist mit einer Flüssigkeit gefüllt (in der Regel wird Ethylenglykol verwendet), die neben der Stabilität auch für die Übertragung der Ultraschallwellen erforderlich ist.

Die Vorteile der schlittenbasierten Systeme sind höhere Messgeschwindigkeit und größere Variabilität an Ultraschallsensoren. Die Vorteile der radbasierten Systeme sind geringe Instandhaltung, niedriger Wasserverbrauch und die Möglichkeit, auch auf Weichen und Isolierstößen Schienenfehler zu detektieren. Aufgrund dieser Vorzüge ist in Europa und Nordamerika ein klarer Trend in Richtung radbasierter Ultraschall-Messsysteme erkennbar.

Für die Evaluierung der korrekten Funktion der Messsysteme wird üblicherweise ein Testgleis mit künstlichen Defekten befahren. Die Anforderungen an das Testgleis sind in der EN 16729-1:2016 [6] spezifiziert. Damit ist eine objektive Beurteilung und Vergleichbarkeit verschiedener Systeme möglich.

Die von den Sensoren ermittelten Daten werden gespeichert, ausgewertet und üblicherweise als B-Scan und Strip-Chart dargestellt (Bild 13). Algorithmen unterstützen bei der Auswertung und erreichen zum Teil bereits beachtliche Ergebnisse. Die letzte Entscheidung trifft aber generell noch der Bediener des Systems von seinem Arbeitsplatz im Inneren des Fahrzeuges.

Weitere Technologien, wie Phased Array-Ultraschallsensoren und Detektion mit Langwellen, sind bei der fahrzeuggebundenen Ultraschallmessung noch in der Versuchsphase, werden aber mittelfristig auch dort

Anwendung finden. Speziell bei der Phased Array-Technologie gibt es erste vielversprechende Ansätze, auch flächige Oberflächenfehler des Typs „shelling“ zu detektieren und zu klassifizieren. Entsprechende Versuche werden gegenwärtig bei Schwerlastbahnen in Nordamerika durchgeführt. Ähnlich aufgebaut sind handgeführte Messsysteme, die mit Gehgeschwindigkeit die Schienen mit Ultraschalltechnik überprüfen.

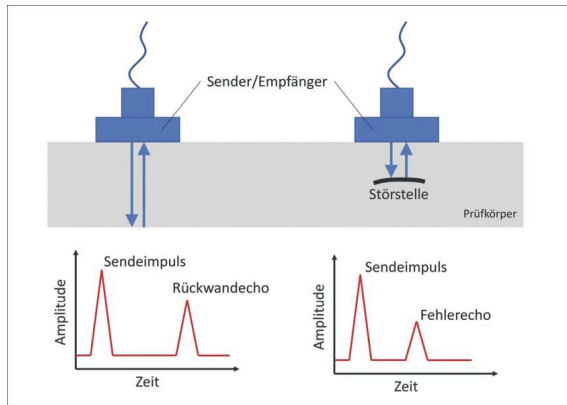


Bild 11: Schematische Darstellung der Funktionsweise der Ultraschallprüfung von Werkstücken

Bild 12: Radbasiertes Ultraschallmesssystem mit drei Prüfrädern (Nordamerikanisches System)



Bild 13: Beispiel B-Scan und Stripchart einer Ultraschallprüfung

## 6 Ausblick: Verortung, Verknüpfung und Darstellung der Messdaten

Während der Erfassung aller Messdaten muss sichergestellt werden, dass die Verortung reproduzierbar ist und in ausreichender Genauigkeit im Schienenbereich erfolgt. Diese Anforderung gilt besonders, wenn die Messungen von verschiedenen Fahrzeug-Messsystem-Kombinationen durchgeführt wurden. Über diese einheitliche Vorgangsweise ist es möglich, alle Messergebnisse zu verknüpfen. Mit Hilfe von Algorithmen oder durch Benutzer-Intervention können Fehler, die von einem Messsystem gefunden wurden, über andere Messdaten an demselben Ort angereichert und verifiziert werden. Ein Beispiel dazu wäre ein voll ausgebildeter Squatdefekt, der auf der Streuflussmessung, auf der Ultraschallmessung, auf dem Längsprofil (eventuell auch auf dem Querprofil) und auf dem Video eine eindeutige „Signatur“ hinterlässt. Aufgrund dieser kombinierten Messsignatur können die nötigen Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet werden. In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig, dass der Benutzer eine übersichtliche Darstellung der Messdaten erhält, auch für identifizierte Problemstellen. Aufgrund der Wichtigkeit und des Umfangs dieser Thematik wird darauf in einem Folgeartikel genauer eingegangen.

---

### Literatur

- [1] EN 13231-2:2020: Railway applications. Track. Acceptance of works. Acceptance of reprofiling rails in plain line, switches, crossings and expansion devices / Bahnanwendungen – Oberbau – Abnahme von Arbeiten – Teil 2: Abnahme von reprofilierten Schienen im Gleis, Weichen, Kreuzungen und Schienenauszügen. Englische Version: 2020, Deutsche Version: 2021
- [2] Richtlinie 824.8310:2021: Schienen Bearbeiten, Schienenbearbeitung abnehmen. DB Netz AG, 2021
- [3] DIN EN 16729-2:2020: Bahnanwendungen – Infrastruktur – Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen im Gleis – Teil 2: Wirbelstromprüfung an Schienen im Gleis. Beuth Verlag GmbH, Berlin Mai 2020
- [4] DIN EN 13231-5:2018: Bahnanwendungen - Oberbau – Abnahme von Arbeiten – Teil 5: Prozedere zur Schienen-Reprofilierung in Gleisen, Weichen, Kreuzungen und Schienenauszügen. Beuth Verlag GmbH, Berlin August 2018
- [5] UIC – International Union of Railways: IRS 70712 – Schienenfehler (Deutsche Version). 2018
- [6] DIN EN 16729-1:2016: Bahnanwendungen - Infrastruktur – Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen im Gleis – Teil 1: Anforderungen an Ultraschallprüfungen und Bewertungsgrundlagen. Beuth Verlag GmbH, Berlin November 2016