

Quantitative Risstiefenbestimmung an Eisenbahnschienen mit Ultraschall

Patrik LAIBLE, Thomas HECKEL
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Fachgruppe VIII.4, Akustische und Elektromagnetische Verfahren
Arbeitsgruppe VIII.43, Ultraschallsonderprüftechniken
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin
Tel.: +49 30 8104 4608
Fax: +49 30 8104 1846
patrik.laible@bam.de

Kurzfassung. Die Detektion von Rissen in Eisenbahnschienen erfolgt mit Hilfe von Ultraschall- und Wirbelstromprüftechniken. Zur Verbesserung der Aussage der Tiefenbestimmung von zur Fahrfläche hin geöffneten tiefen Rissen wurde von der BAM ein entsprechender Lösungsansatz erarbeitet und im Labormaßstab erprobt. Eine spezielle Sender-Empfänger-Anordnung ermöglicht in Verbindung mit einer auf der TOFD-Technik basierenden Datenerfassung mit anschließender Laufzeitanalyse des Signals die Bestimmung von Risstiefen bis 30 mm.

Einleitung

Aufgrund der in den letzten Jahren beständig wachsenden Belastungen des Schienennetzes durch Erhöhung von Geschwindigkeiten und Achslasten sowie der Optimierung der Zugfolge, treten vermehrt betriebsbedingte Schädigungen an Schienen auf. Dies betrifft im Wesentlichen die Zonen des Rollkontaktes und davon ausgehend zur Fahrfläche geöffnete Risse. Die Detektion von betriebsbedingten Materialfehlern in Eisenbahnschienen erfolgt mit Hilfe von Ultraschall- und Wirbelstromprüftechniken. Speziell für Schädigungen vom Typ Head-Check sind in den letzten Jahren zur Detektion von Rollkontakt-ermüdungsschäden Wirbelstromsensoren und entsprechende Gerätetechnik für den Einsatz in mechanisierten Prüfeinrichtungen, z.B. in Schienenprüfzügen, entwickelt worden. Die Bestimmung der Tiefe von Head-Checks kann bis in eine Schädigungstiefe von zirka drei Millimetern mit dem Wirbelstromprüfverfahren durchgeführt werden. Die Bestimmung der Schädigungstiefe von deutlich tieferen oberflächenverbundenen Rissen ist im Gegensatz zu ihrer Detektion mit der aktuell in den Prüfzügen eingesetzten Prüftechnik nicht direkt und nur eingeschränkt möglich. Zur Verbesserung der Aussage der Tiefenbestimmung mittels Ultraschall von zur Fahrfläche hin geöffneten Rissen wurde von der BAM ein entsprechender Lösungsansatz erarbeitet.

Prüftechnik

Um die Schiene in Ihrem Volumen mit Ultraschall zu prüfen, werden bis zu zehn Ultraschallprüfköpfe je Schiene eingesetzt. Bei diesem Konzept werden zumeist 0° , 35° , 55° und 70° -Prüfköpfe verwendet, um unterschiedliche Fehlerorientierungen abzudecken. Die zur Schienenoberfläche geöffneten Risse werden in dieser Anordnung überwiegend mit den 70° -Prüfköpfen zur Anzeige gebracht. Hierbei entsteht das Echosignal über die flächenhafte Reflexion des Schalls an einer Fehlerflanke. Mit dieser Technik können derartige Fehler gut detektiert werden, jedoch ist die Möglichkeit der Fehlertiefenbestimmung begrenzt. Die Tiefenausdehnung lässt sich nur über die Anzeigendynamik ermitteln, die ihrerseits stark von dem tatsächlichen Neigungswinkel des Fehlers abhängt. Somit kann mit dieser Bestimmungsmethode eine Tiefe nur grob abgeschätzt werden.

Für eine Bestimmung der Fehlertiefe oberflächenoffener Risse bietet sich eine Anordnung wie sie bei der Time-of-Flight-Diffraction (TOFD) Technik eingesetzt wird, an. Hierbei wird mit Hilfe einer SE-Prüfkopfanzordnung die an der unteren Risspitze durch Beugung erzeugte Welle detektiert. Eine schematische Darstellung zeigt Bild 1.

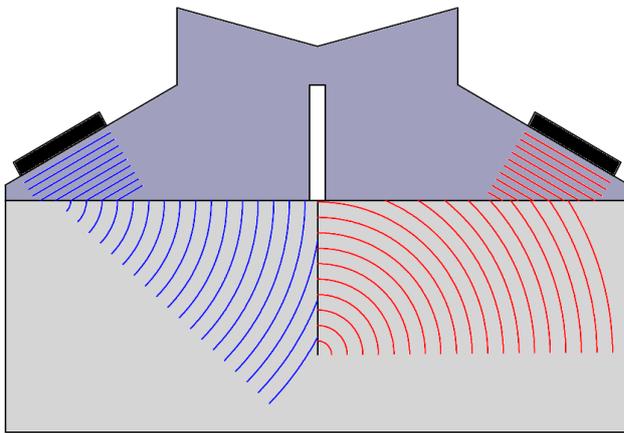


Bild 1: Schematische Darstellung des Prüfkopfes

Die Laufzeit der gebeugten Welle ist ein Maß für die Tiefe des Risses. Bei einem zur Oberfläche hin geöffnetem Riss wird die Amplitude der Lateralwelle minimal und ein Beugungssignal an der unteren Risspitze entsteht. Somit kann mit dieser Prüfkopfanzordnung zum einen die Öffnung des Risses zur Oberfläche, zum anderen die Tiefe des Risses bestimmt werden. Man erhält mit dieser zusätzlichen Sensoranzordnung zwei Informationen, die die Information der anderen Prüfköpfe des Prüf-

systems verifiziert und ergänzt. Im Gegensatz zur klassischen TOFD-Technik wird die Prüfkopfanzordnung bei der Schienenprüfung nicht 90° quer zur Scan-Richtung (klassische Schweißnahtprüfung), sondern in Scan-Richtung bewegt.

Prüfkopf

Die Sensoranzordnung die für diese Prüfaufgabe entwickelt wurde, besteht aus einem Sender-Empfängersystem. Der Sender und der Empfänger stehen sich in einem definierten Abstand mit einem vorgegebenen Keil- bzw. Einschallwinkel gegenüber, somit handelt es sich um eine fest eingestellte TOFD-Anordnung. Der Keil ist so ausgeführt, dass es im Prüfkopf kein direktes Überkoppeln zwischen Sender und Empfänger gibt. Der Keilwinkel wurde so gewählt, dass die Einschallwinkel ca. 85° betragen. Die Compositeschwinger arbeiten mit vier Megahertz und haben einen Durchmesser von zehn Millimetern. Der Prüfkopf wird in Kontakttechnik angekoppelt. Der Prüfkopfprototyp ist so ausgeführt, dass er den extremen Belastungen der mechanisierten Prüfung im Schienenprüfzug standhalten kann.

technische Grenze hinsichtlich Steigung und Dynamik, sodass nicht alle Anzeigen optimiert abgebildet werden konnten.

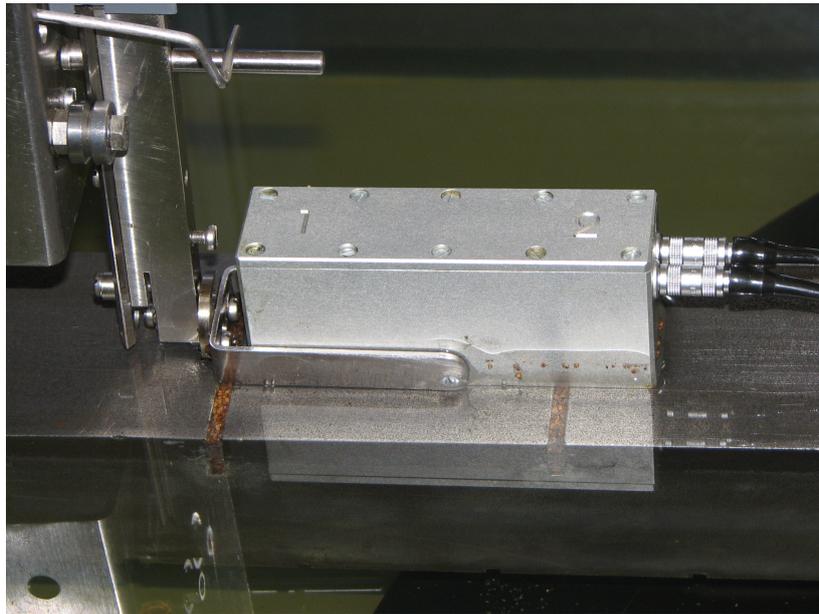


Bild 3: Prüfanordnung der mechanisierten Prüfung am SK1

Messdatenaufbereitung

Die Messdaten wurden zunächst als TOFD-Scan aufgenommen. Die aufgenommenen HF-Amplitudendaten wurden farbcodiert in einem Datenfeld aufgespannt aus Wegkoordinate und Laufzeit dargestellt (siehe Bild 4).

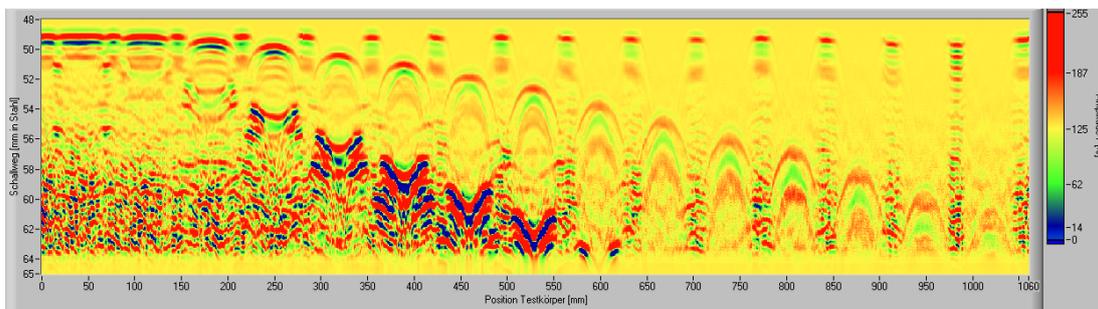


Bild 4: TOFD-Scan an Testkörper SK1

In Bild 4 sind die Prüfdaten am SK1 abgebildet. Man erkennt Bereiche mit kurzer Laufzeit, hierbei handelt es sich um die ungestörte Lateralwelle. Im Bereich einer Nut verschwindet für einen bestimmten Bereich die Lateralwelle und es bildet sich eine parabelförmig verlaufende Anzeige ab, deren Form von der Tiefe der Nut abhängig ist.

Anschließend wurde mit Hilfe eines adaptiven Algorithmus in jedem HF-Datensatz die Laufzeit des ersten Echos ermittelt, um entweder im ungestörten Materialbereich die Lateralwelle oder im gestörten Bereich die parabelförmig verlaufende Nutanzeige in ihrer Laufzeit zu bestimmen (siehe Bild 5).

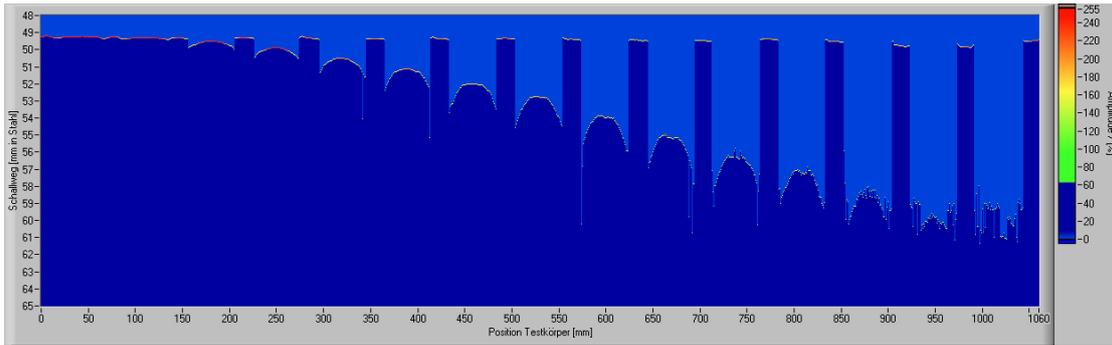


Bild 5: Ergebnis des Adaptiven Maximalwertalgorithmus

Im Gegensatz zur klassischen TOFD-Prüfanordnung, bei der sich die Prüfköpfe parallel zur Schweißnaht bzw. zum Fehler bewegen, wird hier der Prüfkopf über den Fehler hinweg geführt. Dies führt zu einer völlig anderen Art der Ergebnisdarstellung und Signalbewertung als die, die man bei TOFD klassischerweise verwendet.

Die Form der Parabel ist in dieser Anordnung nur vom Prüfkopfdesign und der Nuttiefe abhängig. Somit kann die Nuttiefe analytisch bestimmt werden. Zur Optimierung der Funktion aus den Kalibrierdaten am Testkörper wurden Regressionsalgorithmen verwendet.

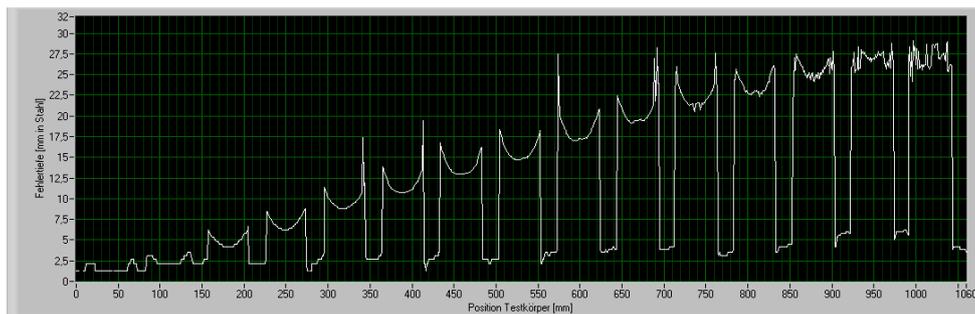


Bild 6: Abschnittsweise definierte Funktion (analytischer Ansatz)

In Bild 6 ist die aus den Messdaten abgeleitete Nuttiefe über dem Ort dargestellt. Das jeweilige Minimum der Kurve ist die ermittelte Nuttiefe.

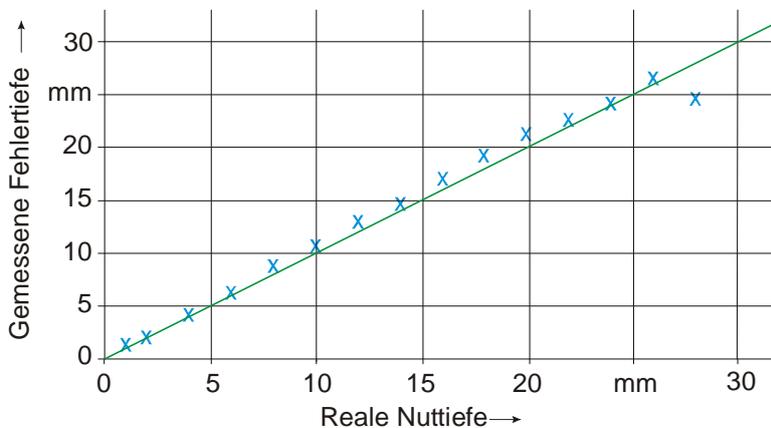


Bild 7: Grafische Auftragung der ermittelten Nuttiefe über die reale Nuttiefe

Da die Form der Parabel bekannt ist, genügen wenige Messpunkte, um die Parabel und ihren Scheitelpunkt zu berechnen. Dies bedeutet, dass man auch bei großen Messpunktabständen, was gleichbedeutend ist mit hohen Prüfgeschwindigkeiten, die Risstiefe sicher bestimmen kann.

In Bild 7 sind die realen Nuttiefen den gemessenen Nuttiefen gegenübergestellt. Man erkennt eine gute Linea-

rität bis hin zu großen Nut-tiefen. Bei 28 mm Nuttiefe war der erreichte Signal-Rausch-Abstand aufgrund der fehlenden Dynamikreserve der DAC zu gering, so dass hier ein falscher Wert ermittelt wurde.

Anschließend wurden mit dieser Einstellung die drei Testfehler am Schienentestkörper Q52 vermessen. Die Werte wurden entsprechend Tabelle 1 ermittelt (siehe Bild 8).

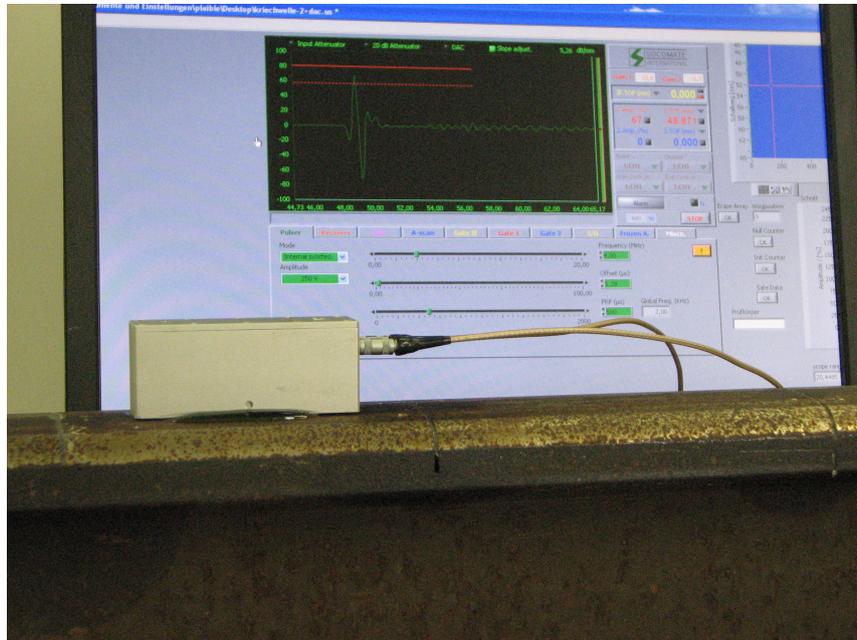


Bild 8: Vermessung der Nuten am Testkörper Q52

Tabelle 1: Nuttiefen am Q52

	Nut 1	Nut 2	Nut 3
Reale Nuttiefe	10,0 mm	20,0 mm	30,0 mm
Gemessene Nuttiefe	12,1 mm	20,8 mm	28,9 mm

Zusammenfassung

Es wurde ein Ultraschallprüfkopf entwickelt, aufgebaut und im Labormaßstab erprobt, der bei der mechanisierten Eisenbahnschienenprüfung zur Fahrfläche geöffnete Risse detektieren und deren Tiefe bis zirka 30 mm bestimmen kann. Das charakteristische Anzeigenverhalten des Prüfkopfes erlaubt mit entsprechender Signalverarbeitung eine sichere Bestimmung der Risttiefe auch bei hohen Prüfgeschwindigkeiten, wie sie bei der mechanisierten Prüfung mit dem Schienenprüfzug auftreten.