

# Maschinelle Schienenbearbeitung nur noch mit integrierter Wirbelstromprüfung – Überblick bekannter und neuer Anforderungen zur prüftechnischen Anerkennung

Anika DEY\*, Hartmut HINTZE\*, Jürgen LÜTZNER\*  
Jürgen REINHARDT\*\*

\* DB Systemtechnik GmbH  
Bahntechnikerring 74, 14774 Brandenburg  
anika.dey@deutschebahn.com  
\*\* DB Netz AG  
Theodor Heuss Allee 7, 60486 Frankfurt am Main

**Kurzfassung.** In den letzten Jahren wurde viel über die Erfahrungen, Anforderungen und Weiterentwicklungen der zerstörungsfreien Prüfung an verlegten Eisenbahnschienen berichtet. Die verschiedensten Handprüfsysteme und Prüfzüge mit Ultraschallprüfsystemen (UT) und Wirbelstromtechnik (ET) wurden vorgestellt. Seit Januar 2013 gibt es eine neue Anforderung im Bereich der Schieneninstandhaltung. Es wird für die maschinelle Schienenbearbeitung in Deutschland der Nachweis der Head Check-Freiheit mit dem Wirbelstromverfahren gefordert. Daher werden seitdem immer mehr Schienenbearbeitungsmaschinen mit maschinenintegrierten Wirbelstromprüfsystemen ausgerüstet. Die Wirbelstromtechnik auf den Schienenbearbeitungsmaschinen dient dabei, anders als bei den Prüfzügen, nicht zur Inspektion. Mit der Prüftechnik werden nachlaufend die Schädigungsfreiheit oder die Restschädigung zur Qualitätskontrolle nachgewiesen. Die Anforderungen für die prüftechnische Anerkennung der Wirbelstromprüfsysteme auf Schienenbearbeitungsmaschinen weisen daher gegenüber dem bisherigen Ablauf für Prüfzüge einige Besonderheiten auf.

Zerstörungsfreie Prüfsysteme im Überblick:

- Manuelles Handprüfgerät ET
- Manuelles Handprüfgerät UT
- On-Board-Prüfsysteme auf Prüfzügen ET
- On-Board-Prüfsysteme auf Prüfzügen UT
- On-Board-Prüfsysteme auf Schienenbearbeitungsmaschinen ET

Dieser Vortrag geht kurz auf die Grundlagen der Wirbelstromprüfsysteme ein und soll einen knappen Überblick zur prüftechnischen Anerkennung bei der DB Systemtechnik GmbH geben. Dafür werden die On-Board-Wirbelstromprüfsysteme kurz zusammengefasst und gegenübergestellt, welche Anforderungen zu erfüllen sind, wo Gemeinsamkeiten liegen und wo das Prozedere voneinander abweicht.

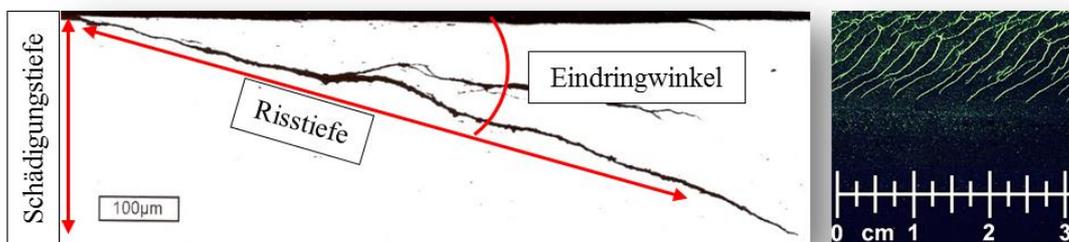
## Einführung

Die häufigsten betriebsinduzierten Schadensbilder an Eisenbahnschienen sind Verschleißerscheinungen und Materialermüdung. Um Verzögerungen im Betriebsablauf und Gefährdung des Fahrbetriebes zu vermeiden, sind regelmäßige Instandhaltungsmaßnahmen notwendig. Zur optimalen Planung und Einleitung der Instandhaltungsmaßnahmen wurden bisher regelmäßige Inspektionen mit Ultraschallprüfsystemen (UT, ultrasonic testing) und Wirbelstromprüftechnik (ET, eddy current testing) im deutschen Streckennetz durchgeführt. Seit Anfang 2013 sollen der Zustand und die Qualität der Gleise der DB Netz AG nicht nur durch Regelinspektionen festgehalten werden, sondern die Ergebnisse der Rissbeseitigung sind sofort nach der Schienenbearbeitung mit der Wirbelstromprüfung zu dokumentieren. Dieser Nachweis dient als Qualitätskontrolle und kann mit manuellen oder maschinenintegrierten Prüfsystemen erfolgen. Aufgrund des wirtschaftlichen und personellen Mehraufwandes, den die manuelle Nachprüfung mit Wirbelstrom mit sich bringt, rüsten viele Unternehmen ihre Schienenbearbeitungsmaschinen mit On-Board-Wirbelstromprüfsystemen aus. Für den Einsatz der Wirbelstromprüfeinrichtungen während der Schienenbearbeitung müssen diese von der DB Netz AG freigegeben werden. Eine Voraussetzung für die Freigabe ist die vorausgehende prüftechnische Anerkennung der DB Systemtechnik GmbH, als fachlich zuständige Stelle, die überprüft und bestätigt, dass das Prüfsystem grundsätzlich in der Lage ist die Anforderungen der DB Netz AG aus prüftechnischer Sicht zu erfüllen. Im Folgenden werden die Anwendung der Wirbelstromprüfung an Schienen und die Anerkennungsprozeduren der On-Board-Prüfsysteme kurz vorgestellt.

### 1. Grundlegendes zur Wirbelstromprüfung an Schienen

Die Wirbelstromprüfung an Eisenbahnschienen wird zur Detektion und Bewertung von Rollkontaktermüdungsrissen, die auch als Head Check bezeichnet werden, verwendet. Dabei handelt es sich um die Ausbildung feiner Oberflächenrisse, die durch Materialermüdung an der Fahrkante entstehen. Insbesondere im Gleisbogen, wo die Fahrkante der bogenäußeren Schiene großen Kontaktbeanspruchungen ausgesetzt wird, können Head Check häufig auftreten.

In welcher Form und wo die Head Check wachsen ist stark abhängig von den Rad-Schiene-Kontaktbedingungen. Diese haben Einfluss auf den Abstand der Risse, auf die Länge, die Eindringtiefe, den Eindringwinkel – grundsätzlich auf die gesamte Rissgeometrie (Abb. 1).

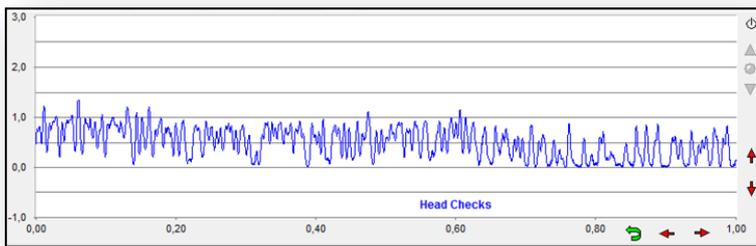


**Abbildung 1.** Head Check als Querschliff (links) und Draufsicht nach fluoreszierender Magnetpulverprüfung (rechts), (DB Systemtechnik GmbH, T.TVI 53)

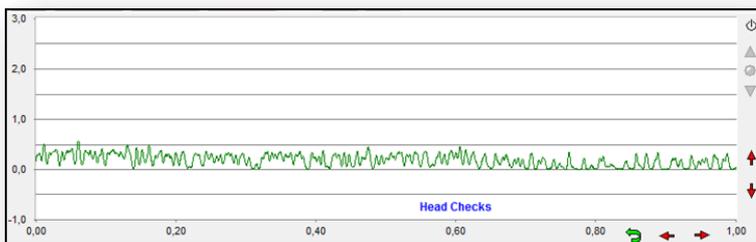
Das Ergebnis der Rissprüfung an Schienen wird unter anderem bestimmt durch das Material und die Rissgeometrie. Da der Schienenstahl ferromagnetisch ist, dringen die Wirbelströme nicht in den Werkstoff ein, sondern bewegen sich an der Oberfläche entlang. Aufgrund dieser Eigenschaft kann mit der Wirbelstromprüfung die Risstiefe bestimmt werden (Risstiefe siehe Abb.1). Zur Bestimmung der Schädigungstiefe (siehe Abb.1) werden Kenntnisse über die Rissgeometrie und den Eindringwinkel benötigt, mit dem die Risse in das Material hineinwachsen. Da es bisher keine Möglichkeit gibt diese Eigenschaften zerstörungsfrei festzustellen, wird ein statistisch ermittelter Eindringwinkel von 25° angenommen. Dieser Winkel wurde vor einigen Jahren bei der DB Systemtechnik GmbH mit Hilfe von experimentellen, zerstörenden Untersuchungen festgestellt und hat bis heute für die Standardschienenstahlsorte R260 Bestand. Im Folgenden (Abb.2) wird der Ablauf der Datenverwertung der Prüfergebnisse vereinfacht dargestellt.

Nach der Datenaufnahme (1.) werden die Rohdaten mit dem vorgegebenen Winkel und hinterlegten Kalibrierkurven für die jeweilige Sonde ausgewertet (2.). Durch die Kalibrierkurven werden störende Einflüsse, unter anderem aufgrund von schwankenden Sensorabständen, automatisch korrigiert. [ 1 ] Für die Darstellung der Ergebnisse über einen größeren Streckenabschnitt werden die maximalen Schädigungstiefen pro Meter, für den Prüfbericht, in einem Balkendiagramm wiedergegeben (3.).

1. Datenaufnahme:  
Wirbelstromrohsignale – Verlauf der Amplitude über den Weg (1 Meter):



2. Bewertung der Rohsignale:  
Berechnete Schädigungstiefen über den Weg (1 Meter):



3. Auswertung der maximalen Schädigungstiefe über mehrere Meter:

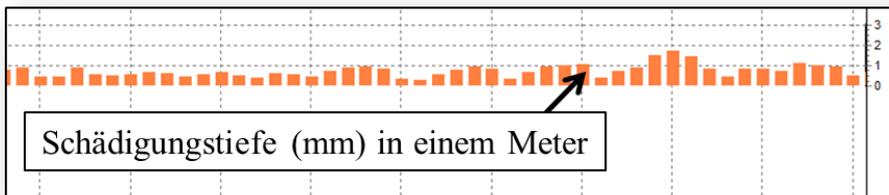


Abbildung 2. Vereinfachte Darstellung der Datenaufnahme und Auswertung

## 2. Die Prüftechnik

Für die Wirbelstromprüfsysteme werden bisher eine bis vier Sonden je Schiene eingesetzt. Der Prüfbereich der Wirbelstromsonden ist an der Fahrkante der Schiene ausgerichtet (Abb.3).

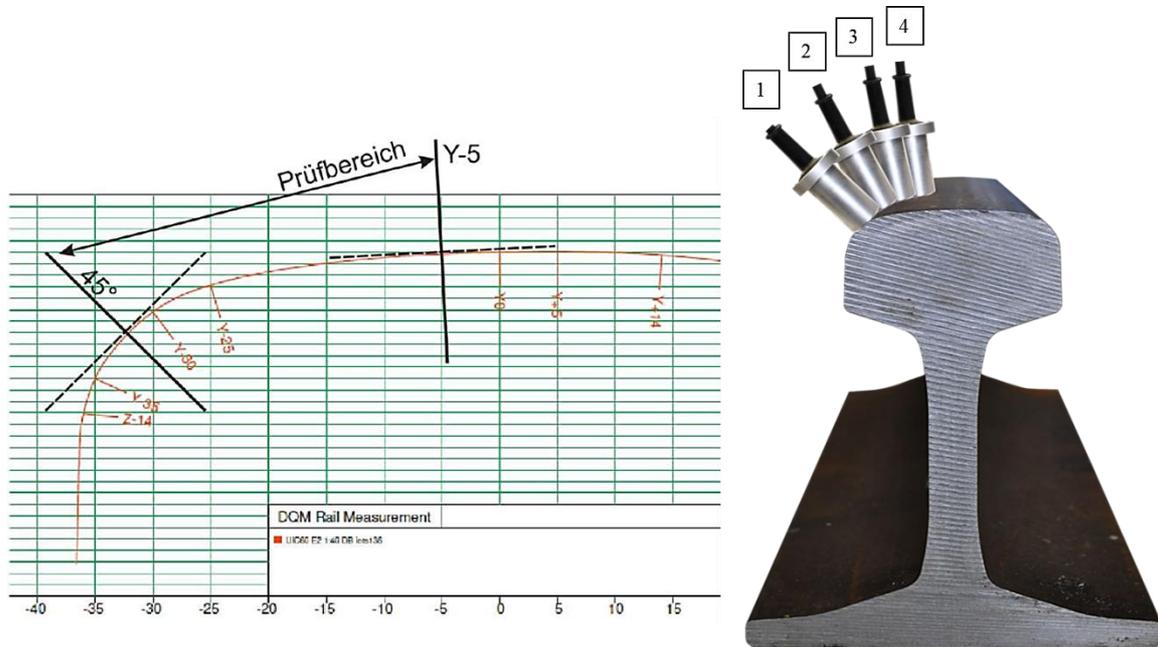


Abbildung 3. Prüfbereich der Wirbelstromsonden [ 2 ]

Grundsätzlich lässt sich zwischen manuellen Wirbelstromprüfgeräten und On-Board-Prüfsystemen auf Schienenbearbeitungsmaschinen und Prüfzügen unterscheiden. In der folgenden Tabelle ist eine kurze Übersicht zu den verschiedenen Anwendungsbereichen der Prüfsysteme dargestellt:

Tabelle 1. Überblick der Prüfsysteme und deren Anwendungsbereich

	Handprüfsysteme	Prüfzüge	Schienenbearbeitungsmaschinen
<b>Anzahl Sonden:</b>	1, 4	4	2, 4
<b>Prüfbereich</b>	eine Schiene	rechte und linke Schiene	rechte und linke Schiene
<b>Geschwindigkeit</b>	Schrittgeschwindigkeit	bis 80 km/h	entsprechend der Bearbeitungsgeschwindigkeit
<b>Aufgabe</b>	Punktuelle Nachprüfung, Weicheninspektion	Regelinspektion des Gleiszustands, Planung von Präventivmaßnahmen bzw. Feststellung von geschädigten Bereichen für die Einleitung von Instandhaltungsmaßnahmen	Qualitätsnachweis und -kontrolle nach der Schienenbearbeitung

### 3. Besonderheiten bei der Anwendung der Schienenbearbeitungsmaschinen mit ET

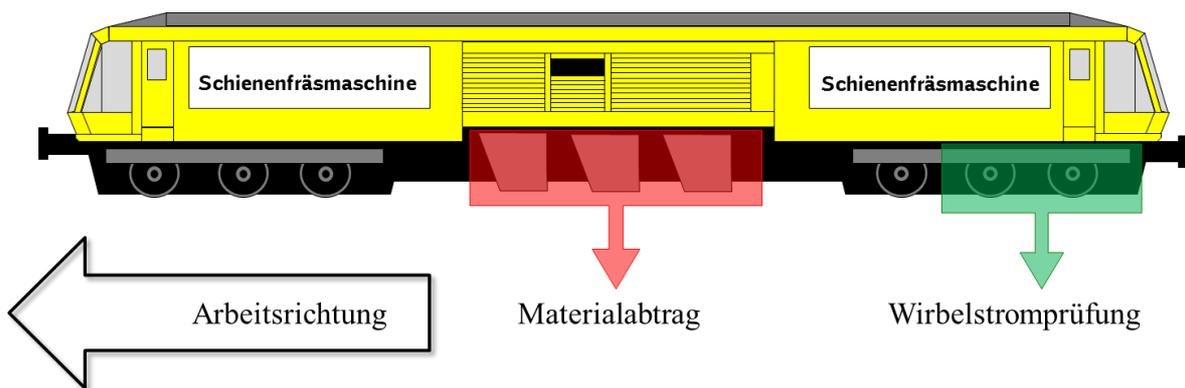
Die Prüfzüge für Regelinspektionen wurden für ihre einzusetzenden Prüfsysteme konzipiert und gebaut. Sie sind in der Lage mit höheren Geschwindigkeiten in jede Fahrtrichtung zu prüfen und die Daten automatisiert auszuwerten. Die Aufmerksamkeit des Personals konzentriert sich hauptsächlich auf die Inspektionsaufgaben.

Für die Schienenbearbeitungsmaschinen liegt die Hauptaufgabe in der Rissbeseitigung mit dem geforderten Materialabtrag und in der Wiederherstellung des Sollprofils. Das Wirbelstromprüfsystem ist nur eines von mehreren Prüf- und Messvorrichtungen, die zur Qualitätskontrolle nach dem Einsatz dienen. Aus diesem Grund bestehen meistens nicht die Personalkapazitäten das Wirbelstromprüfsystem während des Einsatzes ununterbrochen zu betreuen. Deshalb ist es auch hier notwendig, dass das System in der Lage ist, automatisiert mitzulaufen nachdem die Prüfung gestartet wurde. Dabei sind Punkte zu beachten wie: Kilometrierungseingabe, Ausheben bei Bahnübergängen und Weichen und Fehlermeldungen beim Systemausfall.

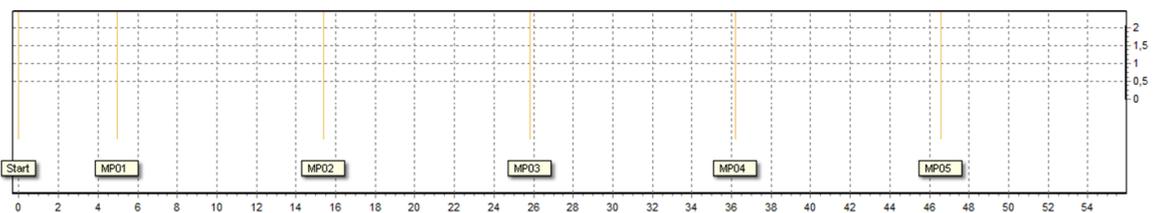
Im Folgenden ist dargestellt worin sich die Prüfsysteme untereinander, aufgrund der Schienenbearbeitungsart, noch unterscheiden können. Auch diese Eigenschaften müssen in der Auswertesoftware für die jeweiligen Maschinen berücksichtigt werden.

#### 1) Fräsmaschinen:

Anordnung des Prüfsystems und der Fräseinheiten

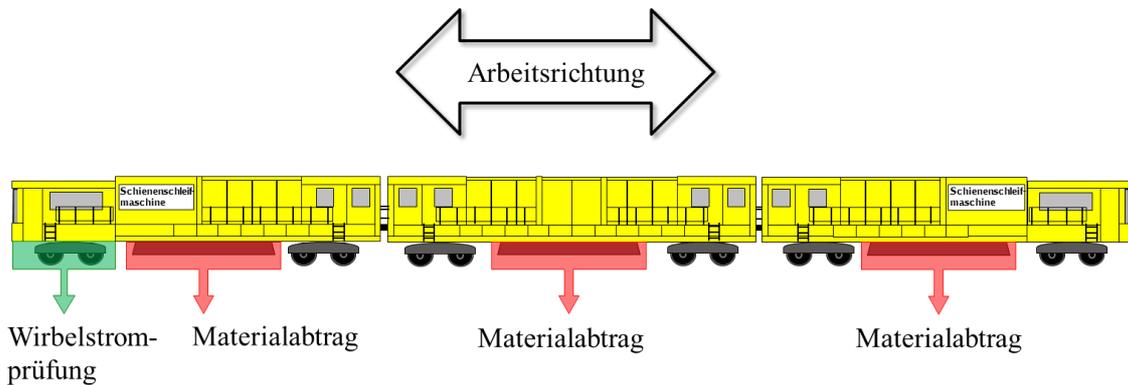


Prüfergebnis: Nullprüfung = Schlussprüfung:

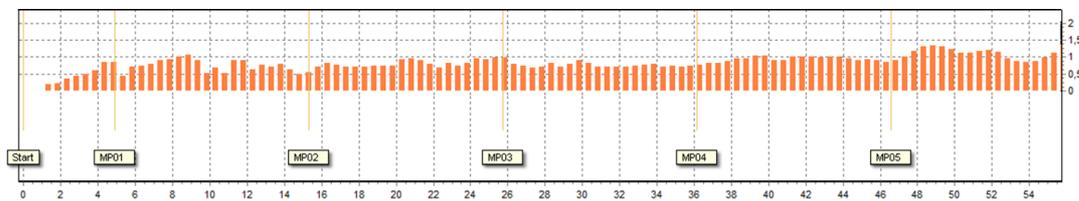


Dargestellt ist hier ein charakteristisches Ergebnis einer Schienenfräsmaschine. Das Ergebnis der Schädigungstiefen ist Null, da der Materialabtrag größer als die Schädigungstiefe war. Eine Vorprüfung für die Aussage der zu beseitigenden Schädigungstiefen ist in der Praxis im Normalbetrieb nicht umzusetzen. Die Schienenfräsmaschine arbeitet nur in eine, durch die Art der Schienenbearbeitung bedingte, vorgegebene Richtung. Die Maschine führt vorlaufend den Materialabtrag durch und kann mit Hilfe des nachlaufenden Wirbelstromprüfsystems Aussagen treffen über Restschädigungen, die im Idealfall beseitigt wurden.

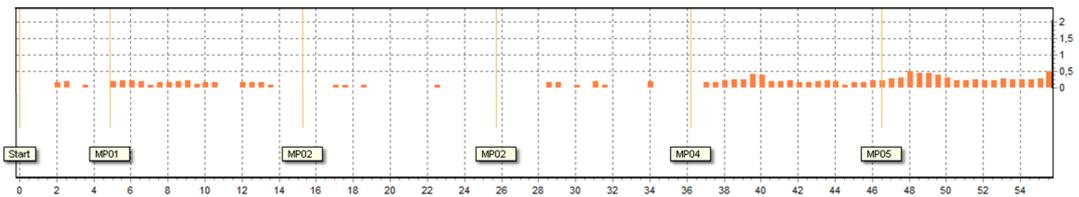
2) Schienenschleifmaschinen:  
Anordnung des Prüfsystems und der Schleifeinheiten



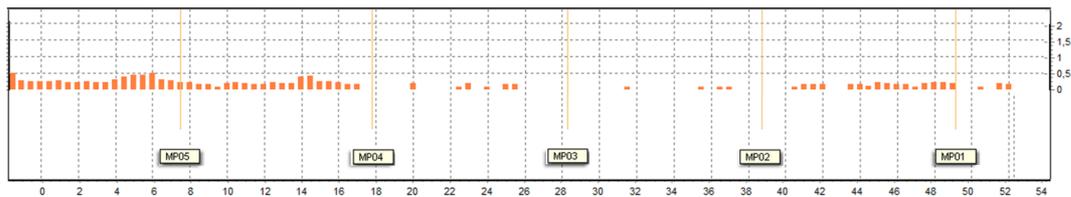
Prüfergebnis Nullprüfung: ← Arbeitsrichtung



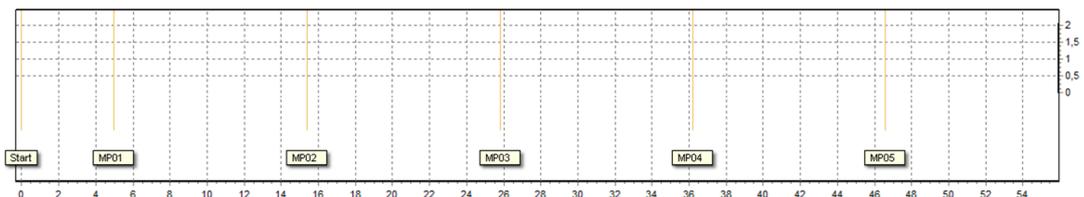
Prüfergebnis nach 8 Überfahrten: → Arbeitsrichtung



Prüfergebnis nach 9 Überfahrten: ← Arbeitsrichtung



Prüfergebnis nach 14 Überfahrten: → Arbeitsrichtung



Beim Einsatz einer Schienenschleifmaschine ist eine Nullprüfung organisatorisch möglich, da in beide Richtungen gearbeitet werden kann. Zu beachten ist für die Auswertung, wie hier nach Überfahrt 8 und Überfahrt 9 zu sehen ist, dass es immer zwei aufeinanderfolgende identische Prüfergebnisse gibt, weil das Wirbelstromprüfsystem erst nachläuft und dann vorausprüft und somit den gleichen Oberflächenzustand erfasst.

#### 4. Prüftechnische Anerkennung für Prüfzüge und Schienenbearbeitungsmaschinen

Bei dem Prozess zur prüftechnischen Anerkennung wird durch die DB Systemtechnik GmbH als fachlich zuständige Stelle überprüft, ob das Wirbelstromsystem grundsätzlich in der Lage ist die Anforderungen der DB Netz AG zu erfüllen. Insbesondere bei der erstmaligen Anerkennung ist es wichtig die grundlegende Funktionalität eines neuen Prüfsystems zu kontrollieren. Folgende Übersicht gibt einen Überblick, welche Vorgehensweise eine prüftechnische Anerkennung umfasst und zeigt Gemeinsamkeiten und Unterschiede des Prozesses bei Prüfzügen und Schienenbearbeitungsmaschinen auf.

	Prüfzüge	Schienenbearbeitungsmaschinen
<b>Ablauf der erstmaligen prüftechnischen Anerkennung:</b>		
<b>1. Anforderung:</b>	<b>Prüffahrten auf einem Testgleis</b>	
<b>Gemeinsamkeiten:</b>	<p>Auf einem speziell dafür vorgesehenen Testgleis mit Head Check werden Prüffahrten durchgeführt. Auf dem Testgleis sind sowohl in der linken, wie in der rechten Schiene Head Check vorhanden. Das Testgleis ist ca. 30 Meter lang und ermöglicht die Detektion verschiedener Schädigungsstufen.</p> <p>Das Testgleis wurde in einer wenig befahrenen Geraden eingebaut und bleibt durch den ausbleibenden Rad-Schiene-Kontakt an der Fahrkante über einen längeren Zeitraum im gleichen Schädigungsbereich, was eine optimale Vergleichbarkeit neuer und älterer Daten über Jahre gewährleistet.</p> <p>Die Ergebnisse werden mit Referenzdaten verglichen die regelmäßig mit einem Referenzprüfsystem aufgenommen werden.</p>	
<b>Unterschiede:</b>	Die Prüfzüge überfahren jeweils aus beiden Fahrtrichtungen den Streckenbereich des Testgleises im Rahmen einer Inspektionsfahrt.	Nur für 1. Anerkennung gefordert: Es werden zehn Überfahrten (vorwärts und rückwärts) durchgeführt. Vergleich der Ergebnisse mit den Referenzergebnissen und zueinander.
	Geschwindigkeit: Prüfgeschwindigkeit ca. 60 km/h	Geschwindigkeit: Entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Schienenbearbeitung
<b>2. Anforderung:</b>	<b>Prüffahrten auf einer Vergleichsstrecke</b>	
<b>Gemeinsamkeiten:</b>	<p>Auf einer dafür vorgesehenen Vergleichsstrecke mit natürlich gewachsenen Head Check werden Prüffahrten durchgeführt und mit Referenzergebnissen verglichen.</p> <p>Die beiden Gleisbögen liegen in einem normal befahrenen Streckenabschnitt. Die Head Check-Schädigung ist durch den täglichen Fahrbetrieb entstanden und wächst stetig weiter.</p>	

	<b>Prüfzüge</b>	<b>Schienenbearbeitungsmaschinen</b>
	<p>Der aktuelle Zustand ändert sich über einen längeren Zeitraum und wird regelmäßig mit Referenzprüfsystemen aufgenommen.</p> <p>Die aktuelle Vergleichsstrecke ist nur befristet nutzbar. Nach Instandhaltungsmaßnahmen muss wieder eine neue Strecke verifiziert werden.</p>	
<b>Unterschiede:</b>	<p>Die Vergleichsstrecke beinhaltet zwei Rechts- und zwei Linksbögen mit Head Check Schädigung von mehr als 200 Meter Länge und Schädigungstiefen &gt; 0,5 mm.</p> <p>Die Prüfzüge überfahren die vorgesehenen Streckenabschnitte im Rahmen einer Inspektionsfahrt über mehrere Kilometer während des normalen Fahrbetriebs.</p>	<p>Die Vergleichsstrecke beinhaltet einen Rechts- und einen Linksbogen mit Head Check Schädigung von mehr als 200 Meter Länge und Schädigungstiefen &gt; 0,5 mm.</p> <p>Das Prüfsystem überfährt jeden Bogen vorwärts und rückwärts in der höchstmöglichen Geschwindigkeit für das Prüfsystem.</p>
<b>Optional durchführbar – statt Punkt 2.:</b>	<b>Prüftechnische Abnahme während der Schienenbearbeitung</b>	
<b>Unterschiede:</b>	Keine Option	<p>Es besteht die Option, statt der Vergleichsstrecke (2.) die prüftechnische Anerkennung während der Schienenbearbeitung durchzuführen.</p> <p>Folgende Punkte müssen dafür erfüllt sein:</p> <p>Die Strecke muss aus einem Links- und Rechtsbogen bestehen, der mind. 200 Meter Head Check-Schädigung aufweist die zwischen 0,5 und 2,7 mm liegt (optimal bei 1,5 mm).</p> <p>Das Prüfsystem auf der Maschine und ein verifiziertes Referenzprüfsystem erstellen eine Nullprüfung vor der Schienenbearbeitung und eine Schlussprüfung nach der Schienenbearbeitung, welche dann verglichen werden.</p>
<b>Gültigkeit:</b>	1 Jahr	

	Prüfzüge	Schienenbearbeitungsmaschinen
<b>Ablauf der Verlängerung der prüftechnischen Anerkennungen</b>		
<b>1. Anforderung:</b>	<b>Prüffahrten auf einem Testgleis</b>	
<b>Unterschiede:</b>	Der Ablauf entspricht der erstmaligen Anerkennung.	-
<b>2. Anforderung:</b>	<b>Prüffahrten auf einer Vergleichsstrecke</b>	
<b>Unterschiede:</b>	Der Ablauf entspricht der erstmaligen Anerkennung.	<p>Die Verlängerung der prüftechnischen Anerkennung wird während der Schienenbearbeitung durchgeführt.</p> <p>Folgende Punkte müssen dafür erfüllt sein:  Die Strecke muss aus einem Links- und Rechtsbogen bestehen, der mind. 200 Meter Head Check-Schädigung aufweist, die zwischen 0,5 und 2,7 mm liegt (optimal bei 1,5 mm).</p> <p>Mit einem Referenzsystem und dem Prüfsystem der Bearbeitungsmaschine werden Nullprüfung und Schlussprüfung aufgenommen.</p>
		Es besteht die Option, dass die Bearbeitungsmaschine, wie bei der erstmaligen Anerkennung, über die Vergleichsstrecke fährt und mit den Referenzdaten verglichen wird – ohne Schienenbearbeitung.
<b>Gültigkeit:</b>	1 Jahr	
<b>Zusätzliche Anforderungen - Personalqualifikationen</b>		
<b>Gemeinsamkeiten:</b>	<p><b>Nachweis der ZfP-Prüfaufsicht:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VT 1 Oberbau</li> <li>- UT 1</li> <li>- ET 1</li> <li>- BC 3</li> </ul> <p>Sehfähigkeitsnachweis für Prüfpersonal im Eisenbahnwesen nach DB Ril 826.3000V01</p> <p><b>Nachweis des Prüfers:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- VT 1 Oberbau</li> <li>- ET 1 Oberbau</li> </ul> <p>Sehfähigkeitsnachweis für Prüfpersonal im Eisenbahnwesen nach DB Ril 826.3000V01</p>	

<b>Unterschiede:</b>		Statt ET1 – Oberbau kann auch der Lehrgang ET 1 Sektor Eisenbahn-Instandhaltung, Bereich Oberbau - Schienenbearbeitungsmaschinen absolviert werden.
<b>Mitgeltende Regelwerke</b>	DB Ril 821.2007 „Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen“ (01/2012) DB Ril 821.2007 Z40 „Prüfrichtlinie für die ZfP-Sichtprüfung an Schienen“ (04/2007) DB Ril 826.3000 „Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen, Grundlagen“ (10/2010) DB Ril 826.3050 „Freigabe von ZfP-Prüfstellen bei Ingenieurbüros und in Werkstätten“ (10/2010) DB Ril 826.100 „Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen, Prüftechnische Anforderungen“	
	DB Ril 821.2007Z61 „Prüftechnische Anerkennung (prüftechnische Eignung) der Wirbelstromprüftechnik von Schienenprüfzügen“ (01/2012)	DB Ril 821.2007Z61 „Prüftechnische Anerkennung der Wirbelstromprüftechnik auf Schienenbearbeitungsmaschinen“ (01/2012)

Nach der erfolgreichen Durchführung der prüftechnischen Anerkennung und Erfüllung der Kriterien, kann das entsprechende Unternehmen die Freigabe zur Anwendung des Prüfsystems bei der DB Netz AG beantragen.

## 5. Zusammenfassung

Mit Einführung der Forderung der Wirbelstromprüfung im Rahmen der Schienenbearbeitung in Gleisen und Weichen wird in Zukunft, neben den Ergebnissen der Regelinspektion, schon nach der Schienenbearbeitung eine Aussage über den Zustand der Head Check-Schädigung getroffen. Damit liegen sofort nach dem Bearbeitungsprozess Informationen vor, ob eine vollständige Beseitigung der Schädigungen stattgefunden hat oder nicht und ob weitere Maßnahmen notwendig werden. Gleichzeitig kann das ausführende Unternehmen die Qualität und Head Check-Freiheit nach dem Einsatz nachweisen. Diese Neuerungen bedeuten einen beträchtlichen Fortschritt für die Qualitätssicherung und Planung bei der Schieneninstandhaltung.

## Referenzen

- [1] Mögliche Fehlerquellen und deren Einflüsse bei der Risstiefenbestimmung mit Wirbelstrom  
R. Pohl, H.-M. Thomas, R. Casperson; BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
DGZfP-Jahrestagung 2009, Münster, 18.-20.05.2009
- [2] Anforderungsdokument für Wirbelstromprüfeinrichtungen auf Schienenbearbeitungsmaschinen  
DB Systemtechnik GmbH, Zerstörungsfreie Prüfung und Prüfsysteme,  
Exemplar Version 2.0 ( 2010), Dokument Nr.: 10-P-13656-T.TZ34