

Potenzial durch datengestütztes Schienenfräsen

Fallstudie zum Zustand der Schienen, den Arbeiten und Ergebnissen sowie zur Wirtschaftlichkeit des Fräsens der Schienen in zwei spezifischen Bögen in Finnland



Abb. 1: Schienenfräsmaschine „SF02W-FS Truck“ bei Fräsarbeiten in Helsinki, Finnland (mit neu profilierter Schiene im Vordergrund)

CARSTEN RASMUSSEN | WALTER KASTINGER

Im Sommer 2025 wurden die Schienen der Ringbahn in Helsinki, Finnland, mit dem flexiblen Schienenfräsfahrzeug SF02W-FS Truck gefräst (Abb. 1). Das Fräsen wurde von der finnischen Verkehrsbehörde FTIA als Testkampagne in Auftrag gegeben, um das Potenzial des Schienenfräsens festzustellen. Dabei wurden Beschädigungen und Verformungen am Schienenkopf beseitigt, um so die Restlebensdauer der Schienen zu verlängern. Die entfernten Schienenschäden bestanden aus Headchecks in verschiedenen Stadien und Tiefen sowie Riffeln. Gleichzeitig wurden die Schienen vom Schienenprofil 60E1 auf 60E2 neu profiliert. Mit dem Frästruck konnten in 20 Nachtschichten insgesamt rund 20 km Gleis saniert und neu profiliert werden, was zu einer deutlichen Verlängerung der Lebensdauer der Schienen führte.

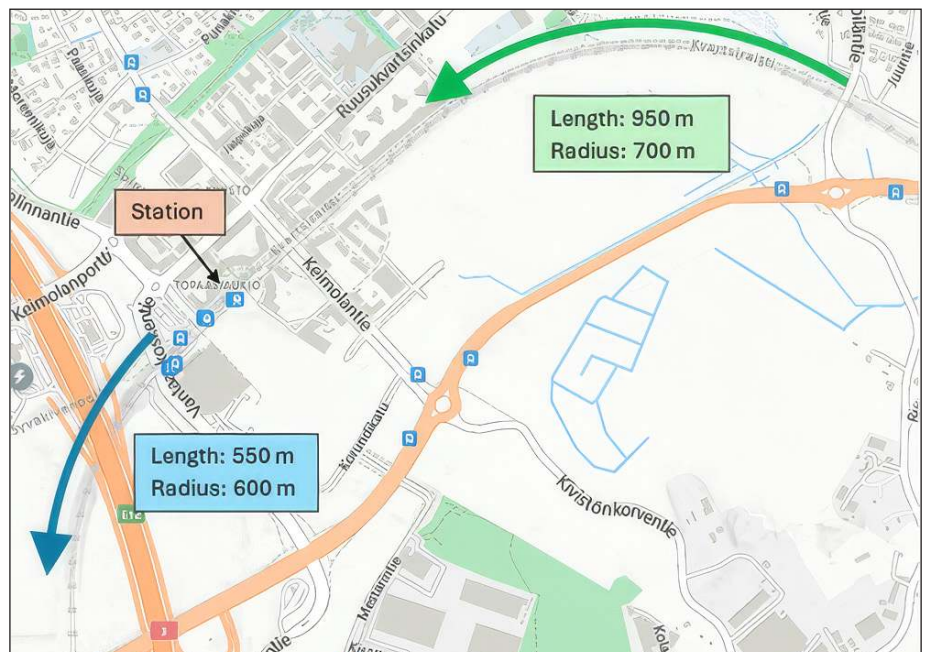


Abb. 2: Fallstudie zum Fräsen von Schienen in zwei Bögen auf der Ringbahn in Helsinki

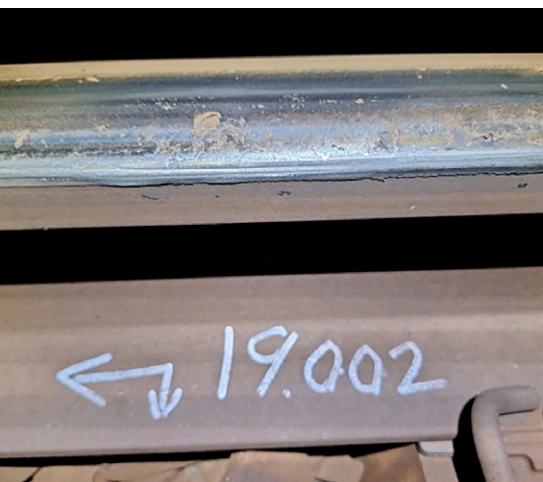


Abb. 3: Beispiel für visuell festgestellte Headchecks und Schäden an der Schienenoberfläche

Schienen in zwei Bögen

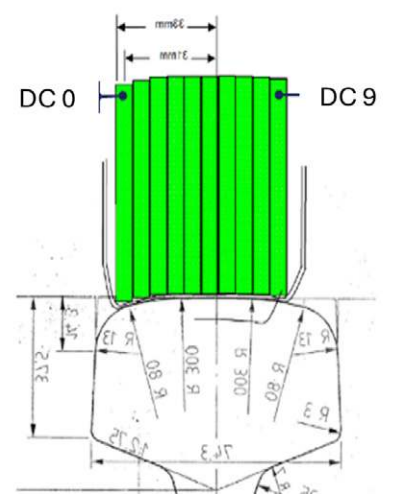
Die beiden hier als Beispiele ausgewählten Bögen befinden sich nördlich und südlich des Bahnhofs Kivistö auf der südlichen Strecke der Ringbahn (Abb. 2). Die Längen der beiden Bögen betragen 550 m (blau) bzw. 950 m (grün) – mit einem Radius von 600 m bzw. 700 m.

Der Schientyp in den beiden Bögen war Standard R260, 60E1, 1:40; die Schienen waren seit etwa zehn Jahren mit einer Gesamtverkehrsbelastung von etwa 55 MGT in Betrieb. Oberflächenschäden an den Schienen wurden zunächst durch Sichtprüfungen des derzeitigen Instandhaltungsauftragnehmers GRK festgestellt. Fahrkantenrisse in verschiedenen Stadien sowie Verformungen insbesondere der äußeren (überhöhten) Schiene in den Bögen waren auf längeren Abschnitten deutlich sichtbar (Abb. 3).

Vor Beginn der Fräsarbeiten wurde die Tiefe der Oberflächenrisse manuell mit einem Wirbelstrommessgerät (Eddy Current – im nachfolgenden Text als ET abgekürzt) gemessen. Die ET-Messungen ergaben unterschiedliche Tiefen der Headchecks zwischen 0 und 5 mm. Der Schweregrad der Schienenschäden unterschied sich zwischen den beiden Bögen, obwohl sie denselben Schientyp und dasselbe Alter, dieselbe Verkehrsbelastung und nahezu denselben Bogenradius aufwiesen: Im 550 m langen (blauen) Bogen waren die Schäden und Headchecks mit einer Tiefe von bis zu etwa 3 mm im Allgemeinen weniger schwerwiegend als jene im 950 m langen (grünen) Bogen mit bis zu etwa 5 mm tiefen Headchecks. Diese Unterschiede lassen sich durch unterschiedliche Fahrmuster der Züge in den beiden Bögen erklären, die von einer fahrplanbedingten Kombination aus Geschwindigkeit, Beschleunigung und Verzögerung in und um die Bögen abhängen. Auch das Anfahren und Anhalten am nahegelegenen Bahnhof hat höchstwahrscheinlich einen Einfluss darauf.



Abb. 4: Das linke Bild zeigt die Wirbelstrommessung mit manuellen Handmessgeräten von Sperry. Das rechte Bild zeigt die Positionen der zehn ET-Sonden auf dem Schienenkopf.



Aufgrund der unterschiedlichen Rad- und Schienenbelastungen, die durch das unbekannte, variierende Fahrverhalten in den Bögen und deren Übergängen verursacht werden, ist es unmöglich, das Entstehen und die Ausbreitung der verschiedenen Arten von Schäden an den Schienen vor-

herzusagen – zumindest ohne vorherige Messungen.

Die unterschiedliche Schienenabnutzung in den beiden vergleichbaren Bögen unterstreicht die Notwendigkeit einer häufigen Überwachung des Schienenzustands durch die Instandhaltungsorganisation, um festzu-

Made in Germany www.lenord.com

Den Radsatzzustand jederzeit im Blick

Flachstellendetektor ermöglicht intelligentes Condition Monitoring

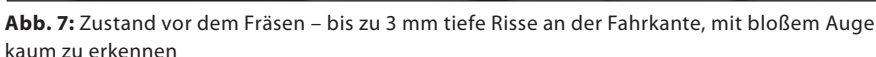
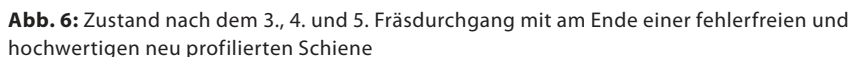
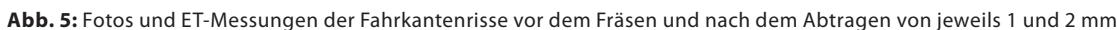
- Erkennt Flachstellen und Schienenschäden
- 1:1-Ersatz für bestehende Wegimpulsgeber
- Verschleiß und Werkstattzeiten reduzieren
- Geräuschemissionen gezielt mindern

Vertrauen Sie auf unsere Expertise bei Erstausrüstung und Retrofit-Projekten.

**LENORD
+BAIER**

*Finding solutions.
Founding trust.*

Besuchen Sie uns!
Halle 27, Stand 561



Die Bearbeitungsgeschwindigkeit mit dem Fräsfahrzeug beträgt bis zu 550 m/h. Aufgrund der Wartezeit zwischen dem Anhalten und

Starten der jeweiligen Fräsvorgänge lag die effektive Bearbeitungsgeschwindigkeit bei etwa 400 m/h. Nach der Anfahrt zu den Einsatzorten umfasste die Arbeitszeit in jeder Arbeitsschicht etwa fünf Stunden. Die bearbeitete Schienestrecke betrug somit durchschnittlich etwa 2 km gefräste Strecke pro Schicht, und die Abtragsrate wurde aus Dokumentationsgründen mit 1 mm pro Fräsvorgang festgelegt.

Schienenfräsen im 950 m langen Bogen

Im 950 m langen Bogen mit einem Radius von 700 m (grün in Abb. 2) waren schwere Fahrkantenrisse, Verformungen und Abblätterungen an den Schienen deutlich sichtbar.

Die Schienenschäden an einer bearbeiteten Stelle und die dazugehörigen Wirbelstrommessungen der Risstiefen vor dem Fräsen und nach dem Abtragen von 1 und 2 mm sind in Abb. 5 dargestellt.

Abb. 5 zeigt, wie die mit ET gemessene Tiefe der Risse nach dem Abtragen des ersten Millimeters scheinbar um bis zu 3–4 mm zunimmt (mittleres Bild). Zusammen mit der augenscheinlich starken Abblätterung könnte man meinen, dass sich der Schienenzustand nach dem Abtragen von 1 mm verschlechtert hätte.

Das ist jedoch nicht der Fall, denn die Zunahme der gemessenen Risstiefen lässt sich durch die Art der ET-Messmethode in Verbindung mit der Öffnung der Oberflächenrisse und einer stärkeren Abblätterung beim Abtragen von 1 mm im ersten Fräsdurchgang erklären. Nach dem zweiten Fräsdurchgang und dem Abtragen von insgesamt 2 mm ist zu erkennen, dass die gemessenen Risstiefen wieder um ähnliche 3–4 mm abnehmen (rechtes Bild). Trotz dieser Art von auf den ersten Blick irreführenden Messergebnissen ist es wichtig zu betonen, dass die ET-Messmethode äußerst nützlich und wertvoll ist, um die Lage und Tiefe der Oberflächenrisse anzuzeigen, was wiederum für die Festlegung, wo und wann gefräst werden muss, wichtig ist. Darüber hinaus ist sie wertvoll als Dokumentation, dass alle Risse nach dem Fräsen entfernt wurden. Dennoch ist wichtig, die Möglichkeiten und Grenzen der ET-Messmethode zu verstehen, was durch Erfahrung in der Anwendung der Methode erreicht werden kann.

Die Schienen an der betrachteten Stelle benötigten insgesamt fünf Fräsdurchgänge und einen Gesamtabtrag von 5 mm, um im Ergebnis fehlerfreie und hochwertige, neu profilier-

te Schienen mit einem 60E2-Profil zu erhalten (Abb. 6).

Schienenfräsen im 550 m langen Bogen

Im anderen 550 m langen Bogen mit einem Radius von 600 m (blau in Abb. 2) wurden zusätzlich Fahrkantenrisse festgestellt, jedoch in einem weniger schweren Stadium.

Abb. 7 zeigt die Schienenoberfläche vor dem Fräsen an einer beispielhaften Stelle. Die Risse an der Fahrkante waren an dieser Stelle – wie auch allgemein in diesem Bogen – visuell schwer zu erkennen, obwohl sie bis zu 3 mm tief waren.

Über den gesamten Bogen wurden die Risstiefen vor dem Fräsen und nach den jeweiligen Fräsdurchgängen mit ET gemessen (Abb. 8).

Der gesamte Bogen wurde zunächst mit einem Durchgang und einem Abtrag von 1 mm gefräst, um ein konformes Profil der Schienen über den gesamten Bogen zu erhalten, aber auch um die Fahrkantenrisse zu entfernen.

Nach diesem Abtrag im ersten Fräsdurchgang im gesamten Bogen zeigten die ET-Messungen, dass in etwa für 70 % des Bogens ein zweiter Fräsdurchgang erforderlich war.

Nach dem zweiten Fräsdurchgang und einem Gesamtabtrag von 2 mm in diesen ca. 70 %

ai.consult 

Nächste Umsteigemöglichkeit für kluge Bauingenieur*innen: eine Karriere bei ai Consult.

Wer bei „Bodenschumpfung“, „Stopfqualität“ und „Ortbeton“ nicht nur Bahnhof versteht und neben der Infrastruktur von morgen gleich auch eine erfolgreiche Karriere planen will, ist bei uns richtig. Denn wir sind immer auf der Suche: nach neuen Wegen, uns zu verbessern, nach neuen digitalen Tools, die unseren Job effizienter und erfüllender machen – und neuen Mitarbeitenden wie dich.



Erfahre mehr auf
ai-consult.eu

Beste Karrierechancen

Attraktives Gehalt

Hybrides Arbeiten

Betriebliche Altersvorsorge

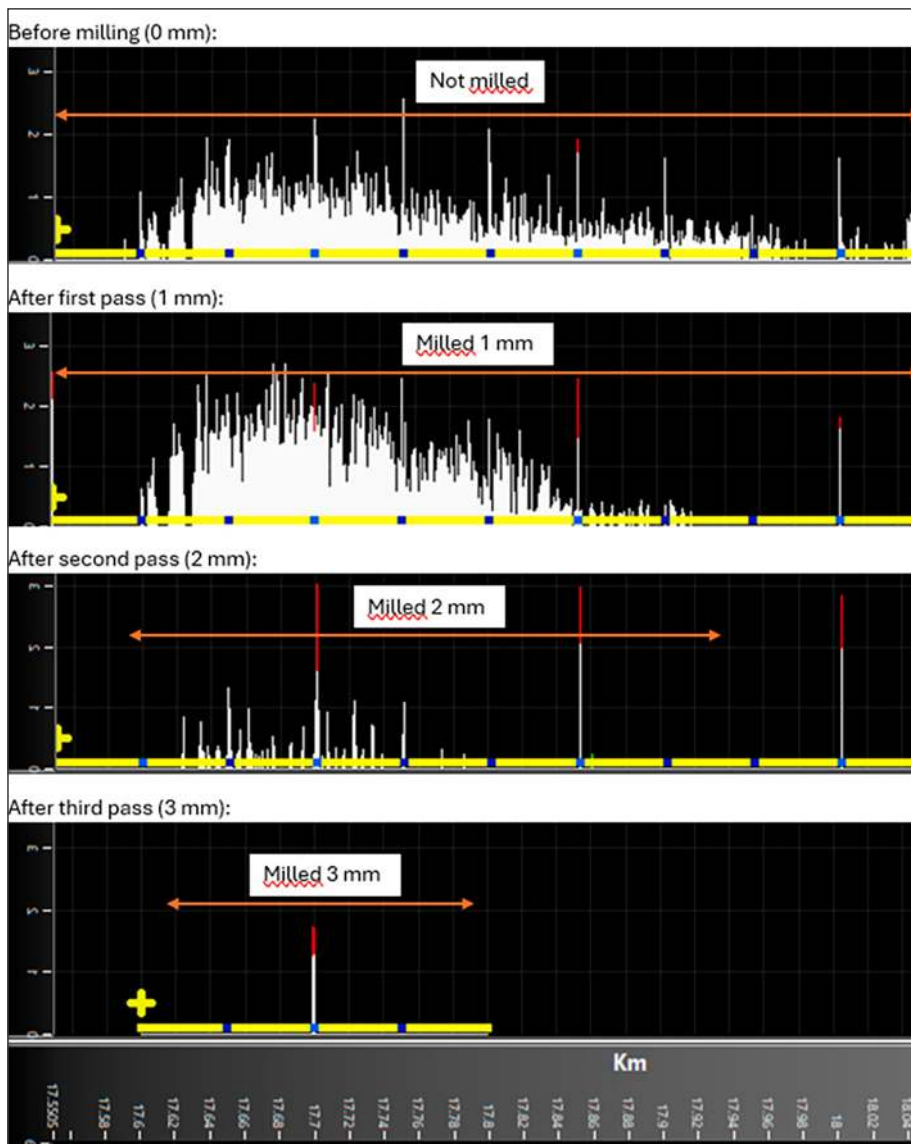


Abb. 8: Tiefe der Oberflächenrisse, gemessen mit Wirbelstrom (ET) im 550 m langen „blauen“ Bogen vor und nach der Entfernung von jeweils 1, 2 und 3 mm



Abb. 9: Zustand nach drei Fräsdurchgängen und einer Gesamtabtragung von 3 mm – fehlerfreie und neu profilierte Schienen

des Bogens zeigten die ET-Messungen, dass in etwa 30 % des Bogens ein weiterer, dritter Fräsdurchgang erforderlich war. Nach dem letzten und dritten Fräsdurchgang mit einem Gesamtabtrag von 3 mm zeigen die ET-Messungen rissfreie Schienen. Die verblie-

benen Spitzen nach dem letzten, dritten Fräsdurchgang, die in Abb. 8 (unten, km 17,7) zu sehen sind, sind nicht auf Oberflächenrisse zurückzuführen, sondern werden durch Schweißnähte mit unterschiedlicher Stahlstruktur verursacht, auf welche die ET-Methode reagiert.

Aus Abb. 8 geht hervor, dass – wie im 950 m langen Bogen – einige der Risse an der Fahrkante nach dem Abtrag von 1 mm im ersten Durchgang tiefer zu werden scheinen. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Risse physikalisch tiefer geworden sind! Vielmehr ist der gemessene Anstieg der Risttiefe – wie im 950 m langen Bogen – darauf zurückzuführen, dass sich die Risse nach dem ersten Durchgang zur Oberfläche hin geöffnet haben.

Ein Foto der fehlerfreien und neu profilierten Schienenoberfläche nach Abschluss der Fräsdurchgänge und der Entfernung von 3 mm ist in Abb. 9 zu sehen.

Nachhaltigkeit des SchienenfräSENS

Die beim Schienenfräsen anfallenden Metallspäne wurden in einen im Fräsfahrzeug integrierten Behälter abgesaugt und anschließend nach der Schicht in einen größeren stationären Behälter neben der Bahnstrecke entleert, um als Stahl wiederverwendet zu werden (Abb. 10).

Die Wiederverwendung von entferntem Schienenstahl ist sowohl für die Umwelt von Vorteil als auch zur Vermeidung einer Kontamination des Schotters. Der größte Umweltvorteil ist jedoch die verlängerte Lebensdauer der Schienen, wodurch der hohe Energieverbrauch und die hohen CO₂-Emissionen bei der Herstellung neuer Schienen reduziert werden.

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der beiden Bögen

Die Schienen in den beiden Bögen waren seit etwa zehn Jahren in Betrieb, und der betriebsbedingte vertikale Verschleiß der Schienen vor dem Fräsen wurde im Allgemeinen mit 1 bis 2 mm gemessen. Die vertikale Verschleißgrenze für diesen Schienentyp beträgt gemäß den Vorschriften der FTIA 14 mm. Daher wurde die Restlebensdauer speziell der Außenschienen trotz des Abtrags durch die Fräsarbeiten zur Beseitigung der 3 bis 5 mm tiefen Risse in beiden Bögen erheblich verlängert, denn ohne die Entfernung der Headchecks wäre die zu erwartende Restlebensdauer der Außenschienen aus Sicherheitsgründen nur noch kurz gewesen, wahrscheinlich weniger als zwei Jahre. Damit wurde durch das Fräsen der Schienen die Gesamtlebensdauer der Außenschienen um ein Mehrfaches verlängert, wodurch die vorzeitige Produktion, die Beschaffung und der Einbau von rund 1,5 km neuer Schienen eingespart werden konnte. Die Mindesteinsparungen belaufen sich unter Berücksichtigung der Kosten für das Fräsen in den beiden Bögen auf geschätzt 145 000 EUR. Es handelt sich somit um einen äußerst guten Business Case für die FTIA. Dieser wäre noch besser ausgefallen, wenn die Risse und Schäden in den Schienen durch eine häufigere und effizientere Überwachung in einem früheren Stadium entdeckt und beseitigt worden wären.

Potenzial durch Schienenfräsen in Finnland

Durch eine Strategieänderung von einer Schienenwechselstrategie hin zu einer Schieneninstandhaltungsstrategie, die eine häufigere wirksame Überwachung des Zustands der Schienoberfläche umfasst, wäre es möglich, Risse und andere Schäden durch zustandsbasiertes Schienenfräsen frühzeitig zu beseitigen. Diese neue Strategie ließe sich als „datengestütztes zustandsorientiertes Fräsen“ bezeichnen. Eine solche Strategie würde eine effiziente

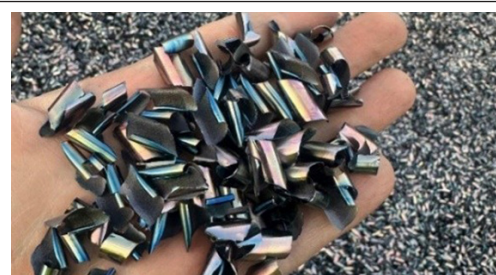


Abb. 10: Die beim Fräsen anfallenden Späne werden in einem Behälter gesammelt, um als Stahl wiederverwendet zu werden.

J. HUBERT

TRADITION | KOMPETENZ | QUALITÄT

in Gleisbau und Schweißtechnik

jhubert – Hauptsitz | Bleichstraße 15 | 90429 Nürnberg
Tel.: (0911) 92684-0 | Fax: (0911) 92684-50 | mail: info@jhubert.de | www.jhubert.de

jhubert – Niederlassung | Harpener Str. 2 a | 44791 Bochum
Tel.: (0234) 90182-0 | Fax: (0234) 90182-50 | mail: info-bochum@jhubert.de | www.jhubert.de

€/m	Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total
Present	Re-rail	180												180											180							540 €/m
Condition based milling	Monitoring	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		
	Milling						9					9					9					9										
	Re-rail	180																													222 €/m	

Abb. 11: Vergleich der Kosten (EUR/m) in zwei Instandhaltungsszenarien für Außenschienen in Bögen über einen Zeitraum von 30 Jahren

Beseitigung von Mängeln ermöglichen – zu dem Zeitpunkt und an der Stelle, wo sie auftreten, wobei weder zu viel noch zu wenig Material abgetragen wird, einschließlich der Dokumentation der damit einhergehenden Wiederherstellung der Schienenoberfläche.

Durch die Einführung einer solchen datengestützten, zustandsbasierten Strategie, die sich auf einer verstärkten Überwachung begründet, kann davon ausgegangen werden, dass die Lebensdauer der Außenschienen in den beiden Bögen von etwa zwölf Jahren auf ca. 30 Jahre verlängert werden kann – dies entspricht einer Verlängerung der Lebensdauer der Schienen auf das Zweieinhalbfache. Diese geschätzte Verlängerung der Lebensdauer basiert auf dem gemessenen natürlichen Verschleiß von etwa 1 bis 2 mm nach zehn Jahren im Zugbetrieb und einem geschätzten Bedarf an zustandsabhängigem Fräsen von etwa 2 mm alle fünf Jahre in Kombination mit einer vertikalen Verschleißgrenze von 14 mm.

In Abb. 11 werden die Kosten pro Meter für Außenschienen in Bögen über einen Zeitraum von 30 Jahren, einerseits für die derzeit angewandte Strategie und andererseits für die Anwendung einer zustandsbasierten, datengestützten Frässtrategie, verglichen: Nach 30 Jahren beträgt der Schienenverschleiß in den voraussichtlich am stärksten beanspruchten Abschnitten $0,2 \times 30 + 4 \times 2 = 14$ mm. Dies ist die Verschleißgrenze für eine Gleiserneuerung.

Aus Abb. 11 geht hervor, dass durch eine verstärkte Überwachung (Monitoring) und eine zustandsbasierte Frässtrategie (Milling) die Instandhaltungskosten im Vergleich zur derzeitigen Strategie (Re-Rail: Reprofilierung) gesenkt werden können. Die Einsparungen werden auf $540 - 222 = 318$ EUR/m über einen Zeitraum von 30 Jahren geschätzt. Dies entspricht einer Reduzierung der jährlichen Kosten für Schieneninstandhaltung um ca. 59 %.

Das gesamte Schienennetz in Finnland umfasst etwa 6000 km Gleise, und es ist sehr wahrscheinlich, dass ähnliche Einsparungspotenziale auch für andere Bögen und Gleisabschnitte gelten. Wenn beispielsweise die Szenarien in Abb. 11 für 2000 km Außenschienen im finnischen Netz angesetzt werden, würden sich die Gesamteinsparungen über einen Zeitraum von 30 Jahren auf ca. 600 Mio. EUR belaufen, was jährlichen Einsparungen von ca. 20 Mio. EUR entspricht. Diese Wirtschaftlichkeitsanalyse basiert auf dem Außenstrang in Bögen. Durch das Fräsen können jedoch beide Schienen bearbeitet und instandgesetzt werden, was bedeutet, dass zusätzlich

die Lebensdauer der Innenschienen in Bögen verlängert wird. Das bedeutet mithin, dass die Wirtschaftlichkeitsanalyse noch besser ausfallen würde.

Neben den erheblichen Kosteneinsparungen würde eine dauerhaft höhere Schienenqualität zu einer Reihe weiterer bedeutender Vorteile führen, wie z.B.:

- Verbesserte Sicherheit
- Verbesserte Nachhaltigkeit
- Verbesserte Pünktlichkeit
- Weniger Lärm und Vibrationen
- Geringerer Ressourcenbedarf
- Geringerer Bedarf an Gleissperrungen
- Verbesserter Reisekomfort
- Geringere Abnutzung von Rädern
- Geringere Fahrzeugbeanspruchung.

Die potenziellen Einsparungen und Vorteile durch die Umsetzung einer datengestützten zustandsbasierten Frässtrategie in Finnland dürften mit hoher Wahrscheinlichkeit zu deutlich verbesserten Gesamtlebenszykluskosten mit erheblichen Einsparungen und darüber hinaus zu einer attraktiveren Eisenbahn führen. ■



Carsten Rasmussen

Linsinger Maschinenbau GmbH,
AT-Steyrermühl
c.rasmussen@linsinger.com



Dipl.-Ing. (FH) Walter Kastinger

Linsinger Maschinenbau GmbH,
AT-Steyrermühl
w.kastinger@linsinger.com

ZÖLLNER
signal system technologies



**NEUES
FÜR DIE SICHERHEIT
DER MENSCHEN AM GLEIS**

Schauen Sie vorbei!
atws@zoellner.de // zoellner.de

InnoTrans

Halle 25 // Stand 570

