

Vom Wettbewerb zur Synergie – Schienenschleifen und Schienenfräsen

Detaillierte technische Analyse der beiden Instandhaltungstechnologien

RICHARD STOCK

Die Schieneninstandhaltung ist ein strategischer Prozess, um die Lebensdauer von Schienen zu erhöhen. Dabei können mehrere Strategien mit zwei Haupttechnologien – Schienenschleifen und Schienenfräsen – kombiniert werden. Oft werden sie als konkurrierende Technologien dargestellt; analysiert man aber die jeweiligen spezifischen Eigenschaften, so zeigt sich, dass sie sich eigentlich gegenseitig ergänzen können.

Schienenschleifen

Das Schienenschleifen ist ein abrasiver Prozess und kommt seit den Anfängen der Eisenbahn zum Einsatz. Schleifzüge verwenden rotierende Topfscheiben, die mit der flachen Seite auf die Schienenoberfläche gepresst werden (Stirnschleifen), während sich der Schleifzug vorwärts bewegt (Abb. 1). Ein Schleifstein entfernt Schienenmaterial entlang einer Facette (Schleifspur). Der Materialabtrag hängt vom Anpressdruck, von der Vorschubgeschwindigkeit und der Art des Schleifsteines ab. Durch die serielle Anordnung mehrerer Schleifsteine in verschiedenen Winkellagen (von +20° auf der Außenseite bis -70° auf der Innenseite der Schiene) kann das ganze Schienenprofil abgedeckt werden. Schleifzüge können die Winkellagen der Schleifsteine gezielt (elektronisch) einstellen. Verfügbar sind sie in verschiedenen Größen, von kleinen 4-Steine-Schleiffahrzeugen (zwei pro Schiene, auch als Zweibegefahrzeuge) bis hin zu Großmaschinen mit 120 Steinen. Das Schienenschleifen ist ein bidirektionaler Prozess, d. h., es kann in beide Fahrrichtungen geschliffen werden. Neben dem klassischen Schleifen haben sich auch Nischentechnologien entwickelt (Umfangsschleifen, oszillierendes Blockschleifen), auf die in diesem Beitrag nicht näher eingegangen wird.

Schienenfräsen

Das Schienenfräsen ist eine relativ junge Technologie, die sich über die Jahre von einer Nischenanwendung zu einer zweiten Haupttechnologie für die Schienenbearbeitung entwickelt hat. Bei diesem zerspanenden Prozess entfernen rotierende Messerköpfe (Umfangsfräsen), bestückt mit



Abb. 1: Links: Topfschleifscheibe, rechts: Facettenbildung durch Schleifscheibe auf Schiene

Wendeschneidplatten, das Material von der Schienenoberfläche (Abb. 2). Der Messerkopf hat die negative Form des herzustellenden Schienenprofils und deckt denselben Querprofilbereich wie das Schienenschleifen ab (+20° bis -70°). Schienenfräsmaschinen sind typischerweise mit ein bis drei Messerköpfen pro Schiene ausgerüstet und können als Zweibegefahrzeug oder schienengebunden ausgeführt sein. Schienenfräsen ist ein unidirektionaler Prozess.

Technologieanalyse

Seit der Einführung der Schienenfrästechnologie Ende der 1990er Jahre wurden Fräsen und Schleifen immer als zwei konkurrierende Technologien dargestellt. Um diese vermeintliche Konkurrenzsituation aufzulösen, werden

im Folgenden die Eigenschaften und Charakteristika beider Technologien nach neutralen Gesichtspunkten beschrieben. Dieser Beitrag beschäftigt sich nur mit der Streckenbearbeitung, nicht mit der Weichenbearbeitung oder anderen Spezialanwendungen.

Messtechnik

Ohne den Zustand der Schiene erfassen zu können und zu quantifizieren, ist es nicht möglich, gezielte Maßnahmen zur Verlängerung ihrer Lebensdauer anzuwenden. Das Querprofil als Qualitätskenngröße wird nach der Bearbeitung mittels nacheilendem maschinenintegriertem Lasermesssystem gemessen. Abhängig von der anwendbaren Norm oder Spezifikation muss das Querprofil eine gewisse Genauigkeitstoleranz

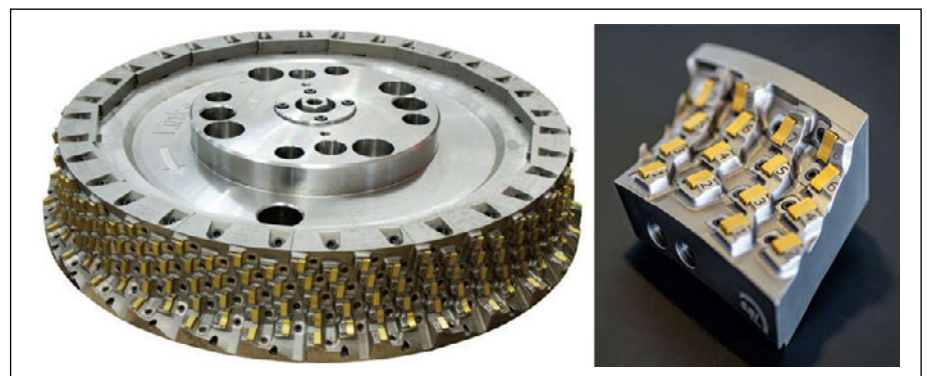


Abb. 2: Messerkopf mit Kassetten und Wendeschneidplatten und Detailaufnahme einer Kassette mit Wendeschneidplatten. Die Anzahl der Wendeschneidplatten pro Kassette hängt vom Zielprofil ab.

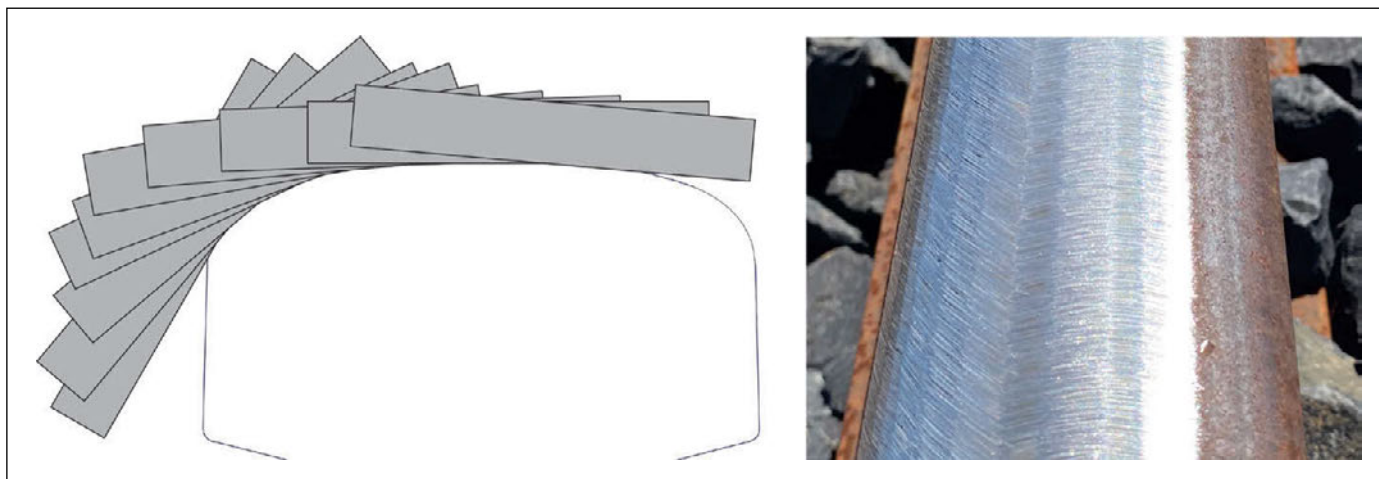


Abb. 3: Links: Beispielhafte Winkelanordnung von Schleifsteinen, rechts: Schleiffacetten auf Schienenoberfläche, Draufsicht

(z. B. $\pm 0,3$ mm) erfüllen. Manche Bearbeitungsmaschinen messen auch voreilend das Querprofil und können diese Daten mit der nachteiligen Messung vergleichen und so den tatsächlichen Materialabtrag bestimmen. Ebenso wird das Längsprofil nacheilend zur Qualitätskontrolle gemessen. Abhängig vom Messsystem wird es auf bis zu vier Längsspuren erfasst und in verschiedenen Wellenlängenbereichen ausgewertet.

Elektromagnetische Messsysteme werden zur Erfassung und Bewertung von Oberflächenrissen herangezogen. Diese Systeme beruhen entweder auf Wirbelstromtechnologie oder magnetischer Streuflussprüfung [1]. Generell ist das Ziel der Bearbeitung eine fehlerfreie Schienenoberfläche.

Querprofil

Beim Schleifen wird das Querprofil über eine serielle und überlappende Winkelanordnung einer ausreichenden Menge an Schleifsteinen erzielt (Abb. 3). Zusammen mit den entsprechenden Anpressdrücken wird diese Anordnung als Schleif-Pattern bezeichnet. Ausgewählt wird es abhängig von Ausgangsprofil und Zielprofil. Dies erfolgt entweder über einen erfahrenen Maschinenbediener oder kann bei modernen Maschinen auch in Echtzeit, basierend auf der voreilenden Querprofilmessung, vom Computer errechnet und implementiert werden. Abhängig von der Größe der Schleifmaschine können mehrere Überfahrten notwendig sein, um den erwünschten Materialabtrag und das Zielprofil zu erreichen. Durch die flexible Winkelanordnung der Schleifsteine

kann jedes beliebige Zielprofil und somit auch ein fließender Übergang zwischen zwei Profilen erzeugt werden. Das resultierende Querprofil hat die Form eines Polygonzuges.

Beim Schienenfräsen ist das Querprofil über die negative Form des Messerkopfes (inklusive Wendeschneidplatten) definiert (Abb. 4). In Kombination mit geraden und Radius-Schneidplatten kann ein facettenfreies Zielprofil erzeugt werden. Als Prozessgröße muss die vertikale Schnitttiefe (in Bezug auf den höchsten Punkt der Schienenlauffläche) angegeben werden. Die laterale Ausrichtung des Messerkopfes erfolgt über maschinenintegrierte Sensoren (Kopierfinger). Um auf ein anderes Profil umzustellen, muss auch ein Messerkopfwechsel durchgeführt werden.

Oberflächenqualität und Längsprofil

Schienenschleifen erzeugt transversal angeordnete Schleifriefen, die direkten Einfluss auf die erzeugte Rauigkeit der Schiene in Längsrichtung haben (Abb. 5 rechts). Die Ausprägung der Schleifriefen lässt sich über Zusammensetzung des Schleifsteines, Anpressdruck und Vorschubgeschwindigkeit steuern. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass maximaler Materialabtrag (pro Überfahrt) tendenziell höhere Rauigkeit erzeugt. Mit fortschreitendem Verschleiß des Schleifsteines können sich Schleifpartikel temporär in dessen Oberfläche einbetten, was über eine gewisse Zeit zu ungewollten periodischen Erscheinungen in Form von markanten Schleifriefen auf der Schienenoberfläche führen kann.

Das Schienenfräsen erzeugt eine charakteristische Waben- oder Grübchen-Struktur auf der Schienenoberfläche, was in Folge zu ungewollten, temporären Lärmemissionen führen kann. Daher wird diese Struktur mithilfe einer maschinenintegrierten Poliereinheit bei minimalem Materialabtrag auf der Lauffläche der Schienen geglättet. In der Regel kommt Schleiftechnologie (Bandschleifen, Umgangsschleifen, oszillierende Blöcke, Stirnschleifen ...) zur Anwendung, die eine längsgerichtete Oberflächenstruktur mit geringer Rauigkeit erzeugt (Abb. 5 links). Einzelne beschädigte Wendeschneidplatten können unerwünschte periodische Strukturen verursachen, die nicht durch die Poliereinheit korrigiert werden können.

Prozessproduktivität

Produktivität bei der Schienenbearbeitung ist allgemein definiert als Vorschubgeschwindigkeit pro Überfahrt, erzielbarer Materialabtrag bei dieser Überfahrt und Anzahl der nötigen Überfahrten, um das Zielprofil zu erzeugen und die Schädigung zu entfernen.

Im Schwerlastbereich wird mit bis zu 32 km/h pro Überfahrt geschliffen [2]. Da der maximal erzielbare Materialabtrag pro Überfahrt ein inverses Verhalten bezüglich der Vorschubgeschwindigkeit aufweist, werden durchschnittlich ca. 15 km/h erreicht. Bei Mischverkehr wie in Europa sind höhere Qualitätsansprüche (Quer- und Längsprofil) nach der Schienenbearbeitung gefordert; durchschnittliche Vorschubraten in diesem Bereich liegen bei ca. 5–10 km/h pro Überfahrt. Pro Überfahrt ist, abhängig von Steinanzahl und Vorschubgeschwindigkeit, ein

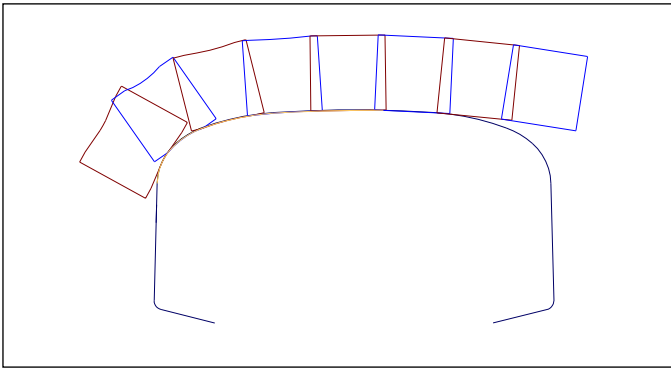


Abb. 4: Erzeugung des Beispiel-Querprofils durch überlappende Anordnung von Wendeschneidplatten

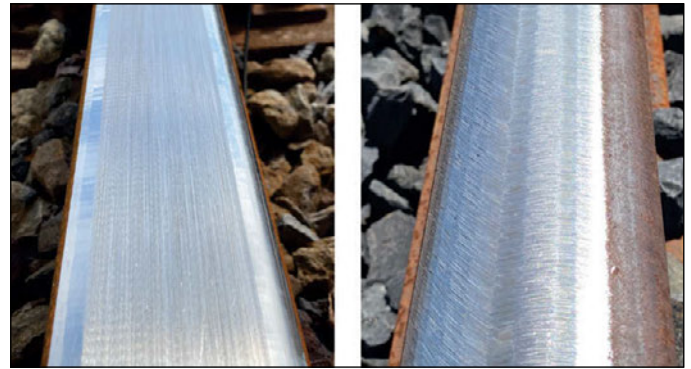


Abb. 5: Links: Oberflächenzustand nach dem Fräsen und Polieren, rechts: Oberflächenzustand nach dem Schleifen

Materialabtrag von 0,1 bis 0,8 mm erzielbar, bezogen auf gleichförmigen Materialabtrag entlang des Querprofils. Abhängig von Schleif-Pattern und Ausgangsprofil kann lokal auch mehr Material pro Überfahrt abgetragen werden. Ebenso beeinflusst die Lebensdauer der Schleifsteine die Produktivität einer Schleifmaschine. Ein Steinwechsel wird (zumeist) außerhalb der Schichtzeit durchgeführt, da ein Wechsel während einer Schicht die Produktivität negativ beeinflusst. Für das Schienenfräsen sind relativ wenig Performance-Daten öffentlich zugänglich. Marketing-Informationen nennen maximale Vorschubgeschwindigkeiten von 600 m/h bis 3 km/h. Auch beim Fräsen gibt es einen inversen Zusammenhang zwischen Vorschubgeschwindigkeit und maximal erzielbarem Materialabtrag pro Überfahrt. Ebenso sinkt die Lebensdauer der Wendeschneidplatten mit zunehmendem Vorschub und mehr Abtragtiefe. Basierend auf Gesprächen mit Maschinenbedienern liegen die typischen Vorschubraten für kleinere Fräsmaschinen für urbane Anwendungen bei 400 bis 700 m/h bei einem maximalen Materialabtrag von bis zu 1,5 mm pro Überfahrt. Beim Fräsen wird der Materialabtrag immer in Bezug auf den höchsten Punkt der Lauffläche angegeben. Abhängig vom Ausgangsschienenprofil kann der tatsächliche Materialabtrag im Fahrkantenbereich wesentlich höher ausfallen. Bei großen Fräsmaschinen werden durchschnittliche Vorschubgeschwindigkeiten zwischen 800 und 2000 m/h erzielt, bei einem Materialabtrag von bis zu 6 mm pro Überfahrt und drei Fräseinheiten pro Schiene. Ganz allgemein hängt der maximale Materialabtrag pro Überfahrt von der Anzahl der Fräseinheiten pro Schiene ab. Eine typische Fräseinheit mit 600 mm Messerkopfdurchmesser erzielt dabei maximal 1,5 bis 2 mm Materialabtrag, abhängig von Größe und Gewicht der Maschine. Der minimal erzielbare Materialabtrag liegt bei ca. 0,3 mm. Theoretisch sind auch 0,1 mm denkbar, jedoch müssen dafür eine nahezu perfekte Gleislage und Stabilität vorliegen, was praktisch nie der Fall ist.

Die Produktivität einer Fräsmaschine hängt auch von der Standzeit der Wendeschneidplatten ab. Ist eine Schneidkante verschlissen oder beschädigt, kann die Platte gewendet und weiterverwendet werden (quaderförmige Platten, Abb. 2). Gerade Schneidplatten haben acht Schneidkanten, Radiusplatten vier. Die erzielbare Standzeit einer neu installierten Schneidkante hängt vom Vorschub, vom erwünschten Materialabtrag, von der Schienengüte, der Gleisqualität, dem Ausgangsprofil und dem Ausmaß der Schädigung ab. Bei starker Schädigung und stark abweichendem Ausgangsprofil können Wendeschneidplatten nach bereits 100 m verschlissen oder beschädigt sein, während bei guten Gleis- und Schienenzuständen Standzeiten von bis zu 2000 m erzielt werden können. Aufgrund der Komplexität der Thematik ist es nahezu unmöglich, genaue Aussagen zu treffen. Die Produktivität wird auch von der Anzahl der Zielprofile pro Schicht beeinflusst. Jeder Profilwechsel während einer Schicht verbraucht entsprechend Produktivzeit. Der Fräsprozess benötigt grundsätzlich ein fest eingespanntes Werkstück (Schiene). Aus diesem Grund ist dafür eine gewisse Mindestgleisqualität (Gleislage und Gleisstabilität) sowie eine Mindestschnitttiefe (Mindestmaterialabtrag) nötig, um die Stabilität des Werkstückes Schiene unter der Fräse zu gewährleisten.

Begleit- und Nebenprodukte

Typische Nebenprodukte des Schienenschleifens sind Schleifstaub, Funken, Schlacken und verbrauchte Schleifsteine. Letztere werden entweder entsorgt oder dem Recycling zugeführt. Schleifstaub besteht aus dem Abrieb des Schleifsteines und Metallpartikeln. Moderne Schleifzüge verfügen über effiziente Absauganlagen, die einen Großteil des Schleifstaubes auffangen und die Kontamination der unmittelbaren Umgebung des Gleises minimieren. Der gesammelte Schleifstaub wird entsprechend der jeweiligen gesetzlichen Bestimmungen entsorgt. Schlackenbildung im Bereich der Schleifsteine ist unbedingt zu vermeiden (Prozessparameter, Steinzusammensetzung, Absaugung), da herunterbrechende heiße Schlackenstücke feuergefährlich sind. Schienenschleifen erzeugt einen omnidirektionalen Funkenflug. Moderne Maschinen können durch die Ausrichtung der Schleifsteine den Funkenflug auf den Bereich zwischen den Schienen konzentrieren und sind an der Außenseite mit mehrlagigen Funken Schilden ausgestattet (Abb. 6). Zusätzliche Sprinklersysteme und Wasserkanonen minimieren ebenfalls die Feuergefahr. Diese Systeme werden auch zur Reinigung von Gleiskomponenten nach der Bearbeitung verwendet. Die beim Schleifen entstehende Hitze wird von den Funken, den Schleifsteinen und

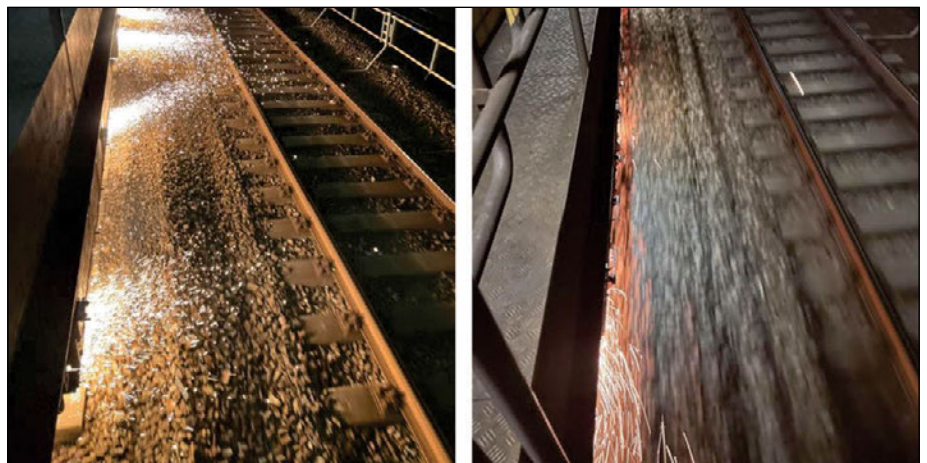


Abb. 6: Beispiel für Funkenflug ohne Abschirmung (links) und mit Abschirmung (rechts)

den Schienen aufgenommen. Dabei können sogenannte weiße Schichten (WEL – White Etching Layer) entstehen. Bei entsprechend eingestellten Schleifparametern wird deren Bildung verhindert oder reduziert, und es entstehen nur dünne und fragmentierte WEL, die schnell abgetragen werden [3]. Eine Hauptursache für WEL auf Schienenoberflächen ist jedoch die Fahrzeug-Traktion (Bremsen, Beschleunigen) im regulären Betrieb und nicht die Schieneninstandhaltung [3]. Beim Schienenfräsen entstehen als Begleitprodukt des funkenfreien Schneidprozesses Frässpäne, die über eine Absaugung aufgefangen, auf der Maschine im Spänebunker gelagert und dann recycelt werden (Abb. 7). Auch beschädigte oder verschlissene Wendschneidplatten werden recycelt. Die meisten Poliersysteme erzeugen einen gerichteten und limitierten Funkenstrom, der abgesaugt und dessen Staub auf der Maschine in einem Staubbehälter gesammelt und später entsorgt wird. Ebenso müssen verbrauchte Schleifsteine der Poliersysteme entsorgt oder recycelt werden. Die vom Fräsprozess erzeugte Wärme wird hauptsächlich von den Messerköpfen und Spänen aufgenommen. Die Schienenoberfläche



Abb. 7: Beispiel für Frässpäne

wird nur gering erwärmt und bleibt weit unter der Umwandlungstemperatur, die für die Bildung von WEL nötig ist [4]. Der Polierprozess kann je nach verwendeter Schleiftechnologie dünne und fragmentierte WEL verursachen.

Wartungsprozesse

Maschinen zur Schienenbearbeitung benötigen generelle Wartungsprozesse, damit ihre Funktion gewährleistet ist. Dieser Beitrag geht nicht auf diese allgemeinen Anforderungen ein, sondern analysiert nur technologiespezifische Prozesse.

Für das Schienenschleifen müssen in regelmäßigen Abständen die verschlissenen Schleifsteine gewechselt werden. Bei älteren Maschinentypen sind sie über Schraubverbindungen befestigt, wodurch ein Tausch zeitaufwendig und arbeitsintensiv ist. Bei modernen Maschinen kommen Schnellspanneinrichtungen zum Einsatz, die einen effizienten Steintausch ermöglichen. Ebenso müssen die Wassertanks regelmäßig aufgefüllt und die Staubbehälter entleert werden. Beim Schienenfräsen betreffen die spezifischen Wartungsprozesse die Messerköpfe und Poliereinheiten. Sind die Schneidkanten der Wendeschneidplatten stumpf oder soll auf ein anderes Profil gewechselt werden, dann müssen die Messerköpfe gewechselt werden. Hier gibt es zwei Ansätze: Ein Austausch des ganzen Messerkopfes kann je nach Größe und Gewicht u.U. nicht von einer Person durchgeführt werden, und es ist auch die entsprechende Ausstattung auf der Maschine nötig (Hilfskran, Lagerplatz). Sind Kassetten (Abb. 2) entlang des Umfangs eines Messerkopfes montiert, die auch weniger Lagerplatz benötigen, müssen nur diese gewechselt werden, was von einer Person ohne spezielle Hilfsmittel durchgeführt werden kann. Ist ein Tausch direkt auf der Maschine möglich, muss dafür keine Person das Gleis betreten. Das Wenden oder

Austauschen der Wendeschneidplatten erfolgt in einer Werkstatt im Depot oder in einer maschinenintegrierten Werkstatt, entweder manuell oder semi-automatisch mit Roboterunterstützung. Einzelne beschädigte Wendeschneidplatten können bei Bedarf auch während der Schicht gewechselt werden (Gleisbetretung nötig), ohne den Messerkopf oder die Kassetten zu demontieren. Die Schleifsteine des Polierprozesses werden außerhalb einer Bearbeitungsschicht gewechselt. Der Spänebunker muss in regelmäßigen Abständen (abhängig von der Größe) entleert werden.

Technologieauswahl

Die intensive Technologieanalyse zeigt, dass Fräsen und Schleifen aufgrund ihrer charakteristischen Eigenschaften größtenteils komplementäre Anwendungsszenarien haben. Fräsen eignet sich besonders für hohe Materialabtragerfordernisse (korrektive Instandhaltung) und Schleifen für geringe Materialabträge (zyklisch-präventive Instandhaltung). Eine Überschneidung besteht im Bereich von mittlerem Materialabtrag. Neben den technischen Eigenschaften und Anforderungen des Kunden spielen auch andere Kriterien wie die Kosten pro Schicht,

Umweltaspekte oder legislative Vorgaben eine signifikante Rolle bei der Entscheidung, welche Technologie zum Einsatz kommt. Aufgrund der Komplexität dieses Themas ist geplant, den Aspekt der Technologieauswahl in einem separaten Beitrag genauer zu betrachten. ■

QUELLEN

- [1] Stock, R.; Herter, R.: Neue Messtechnologie zur Bestimmung rissartiger Oberflächenfehler, EI 9/2022, S. 98-101
- [2] Athukoralalage, A.; Baltzewitsch, A.: Optimise Rail Service Life and Manage Rail Defects Through Multi-faceted Rail Grinding Approach in Australian Heavy Haul Networks. In Proceedings of 12th International Heavy Haul Association (IHHA) Conference. 2023; Rio de Janeiro, Brasilien, S. 383-391
- [3] Athukoralalage, A.; Baltzewitsch, A.: Comparison of white-etching layer induced by rail grinding vs rail traffic. In Proceedings of Conference on Railway Excellence (CORE). 2023; Melbourne, Australien, 14 S.
- [4] Stock, R.; Kubin, W.; Daves, W.; Six, K.: Advanced maintenance strategies for improved squat mitigation. *Wear* 2019; Volumes 436-437, 8 S.



Dipl.-Ing. Dr. mont. Richard Stock

Global Head of Rail Solutions
Plasser American / Plasser & Theurer,
CA-Vancouver
rstock@plausa.com