

Effiziente Implementierung moderner Schieneninstandhaltungstechnologien

Richard Stock, Michael Seeleithner

Die flexible Auswahl und Anwendung der jeweils geeigneten Schieneninstandhaltungstechnologie ist die Grundvoraussetzung für ein sicheres und nachhaltiges Eisenbahnsystem mit optimierter Lebensdauer des Fahrweges und der Schienen.

1 Ein Blick in die Vergangenheit

Schon seit den frühesten Tagen der Eisenbahn im 19. Jahrhundert kämpfen Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) mit den Auswirkungen der hohen Kräfte zwischen Rad und Schiene, die zu Schädigung der zentralen Systemkomponente Schiene führen. Als die ersten Dampflokomotiven die Pferdeisenbahnen abzulösen begannen, versagten die verbauten Schienen oft innerhalb kürzester Zeit aufgrund der sprunghaft angestiegenen Achslasten und Traktionskräfte. Die Materialentwicklung der letzten rund 165 Jahre (in Deutschland und Österreich gingen die ersten Bahnlinien für den öffentlichen Personenverkehr zwischen 1830

und 1840 in Betrieb) hat natürlich maßgeblich dazu beigetragen, dass heute Schienen mit Hilfe modernster Schienenstähle eine Liegedauer von mehreren Jahrzehnten erreichen und akkumulierte Belastungen von bis zu 2 Millionen Lasttonnen ertragen können. Nichts desto trotz kämpfen auch moderne Stahlschienen mit denselben Problemen, die auch schon ihre „Urahnen“ beschäftigten: Plastische Verformung der Mikrostruktur, Verschleiß und Rissbildung (Abb. 1).

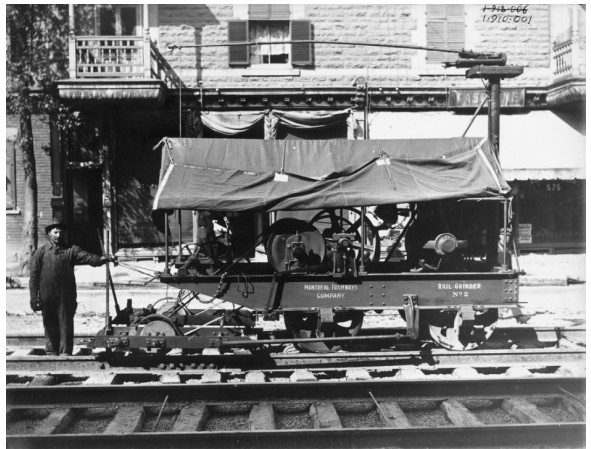


Abb. 1: Schleifmaschine zur Schienenbearbeitung aus dem Jahre 1912 in Montreal/Kanada

Quelle: wikimedia

2 Optimierung der System-Lebensdauer

Um nun die oben erwähnten langen Liegedauern und akkumulierte Belastungsstabilität zu erreichen, stehen dem Infrastrukturbetreiber eine Reihe von Werkzeugen zur Verfügung, die in Kombination und Wechselwirkung untereinander betrachtet werden sollten. Eine isolierte Betrachtung dieser Komponenten bringt die Gefahr mit sich, dass nicht der beabsichtigte Erfolg erzielt wird und die Lebensdauer des Systems sich sogar reduziert. Nur wenn die Optimierung gesamtheitlich auf Systemebene erfolgt, kann eine signifikante Verlängerung der System-Lebensdauer erreicht werden. Diese Werkzeuge oder Komponenten des Rad/Schiene Systems sind in Abb. 2 zusammengefasst und werden im weiteren genauer diskutiert.

Eine Auswahl des geeigneten Schienenwerkstoffes je nach Anforderungs- und Belastungsprofil sorgt für die nötige Grundlebensdauer der Schienen. Moderneste Schienenwerkstoffe haben auf der einen Seite einen hohen Verschleißwiderstand und verzögern auf der anderen Seite eine potentielle Rissbildung (Rollkontaktermüdung kurz RCF) signifikant. Aktuelle Forschungstätigkeiten beschäftigen sich mit Materialien, die keine Anfälligkeit zu RCF mehr zeigen, jedoch sind diese Materialkonzepte bisher (noch) nicht großtechnisch verfügbar.

Eine Profilvereinigung zwischen Rad und Schienen verteilt die wirkenden Kräfte auf eine optimierte Fläche, reduziert so die Spannungen zwischen Rad und Schiene und folglich die auftretende Schädigung. In Europa werden im Normalfall ein bis zwei Schienenprofile je Eisenbahn verwendet, ein Standardprofil (z.B. 60E1) und ein so genanntes Anti-Head Check Profil. Ein Anti Head Check (AHC) Profil basiert auf einem Standardprofil, wobei an der Fahrkante das Profil um bis zu 1 mm unterschritten wird, was die Bildung von RCF an der Fahrkante hinauszögert.

Dynamische Kräfte aufgrund von singulären oder periodischen Gleislagefehlern führen zu lokaler Erhöhung der Kräfte zwischen Rad und Schiene, wodurch es an solchen Stellen zu vorzeitiger Entwicklung von Schienenschäden kommen kann. Eine hochqualitative Gleislage reduziert maßgeblich die dynamischen Kräfte zwischen Rad und Schiene und wirkt sich so positiv auf die Liegedauer der Schienen aus.

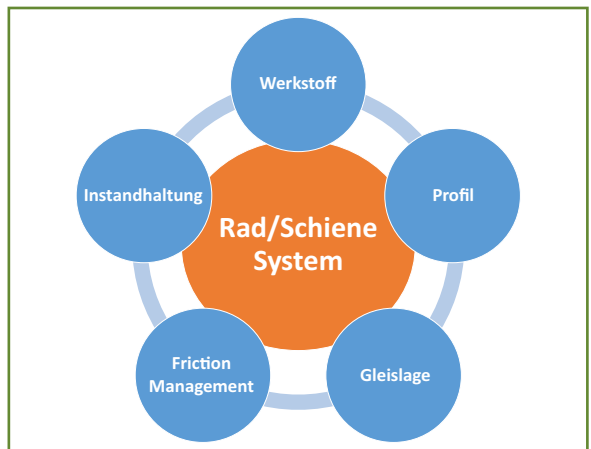


Abb. 2: Kernkomponenten des Rad/Schiene Systems

Quelle: Richard Stock

Eine weitere Möglichkeit, die Schienenliegedauer positiv zu beeinflussen, stellt die Schienenkonditionierung dar, im englischen Sprachraum als Friction Management bezeichnet. Dabei wird der Reibwert zwischen Rad und Schiene gezielt manipuliert bzw. eingestellt. Die am weitesten verbreitete Form der Schienenkonditionierung ist die Schienenflankenschmierung zur Reduzierung des Seitenverschleißes der Schienen. Dabei wird ein Schmiermittel (Öl, Fett, Schmierstifte etc.) über eine ortsfeste Anlage auf die Fahrkante der Schiene oder durch ein fahrzeuggebundenes System auf die Flanke des Radkranzes aufgebracht, was den Reibwert zwischen Rad und Schiene in diesem Bereich auf ein Minimum reduziert. Die zweite in Europa weniger gebräuchliche Art ist die Konditionierung der Lauffläche der Schiene mit einem sogenannten Laufflächenkonditioniermittel (englisch Friction Modifier). Dies reduziert hohe Reibwerte zwischen Rad und Schiene gezielt auf einen mittleren Wert, wobei das Traktionsverhalten (Bremsen, Anfahren) der Fahrzeuge nicht beeinflusst wird [1]. Beide Maßnahmen wirken sich positiv auf die Schienenliegedauer aus, da die übertragenen Tangentialkräfte und resultierenden Schubspannungen reduziert werden und somit Verschleiß und Schädigung verzögert wird.

Das finale Werkzeug im Werkzeugkasten ist die Schieneninstandhaltung. Damit können vorhandene Schäden entfernt und das Zielprofil der Schienen gemäß den Vorgaben wiederhergestellt bzw. eingestellt werden. Dieser Artikel geht im Weiteren auf diesen Aspekt des komplexen Systems näher ein.

3 Die Notwendigkeit zur Schienenbearbeitung

Von den zuvor erwähnten Komponenten (Werkzeugen) des Rad/Schiene-Systems hebt sich die Schienenbearbeitung insofern ab, da sie nicht nur der Bildung von Schienenschädigung entgegen wirkt, sondern auch schon vorhandene Schädigung entfernt oder korrigiert. Die anderen Komponenten verzögern die Schädigungsbildung, entfernen aber vorhandene Schäden nicht. Daraus ergibt sich in den meisten Fällen eine klare Notwendigkeit zur Schienenbearbeitung, auch wenn die anderen Komponenten des Systems bereits voll optimiert und abgestimmt sind.

3.1 Strategien zur Verlängerung der Schienenliegedauer

Dem EIU stehen eine Reihe von Strategien zur Verfügung, um entsprechende Schienenbearbeitungstechnologien erfolgreich zur Verlängerung der Liegedauer der Schienen einzusetzen. Darüber wurde bereits im EIK 2020 [2] ausführlich berichtet. Dieses Kapitel bietet eine kurze Auffrischung dieser wichtigen Thematik.

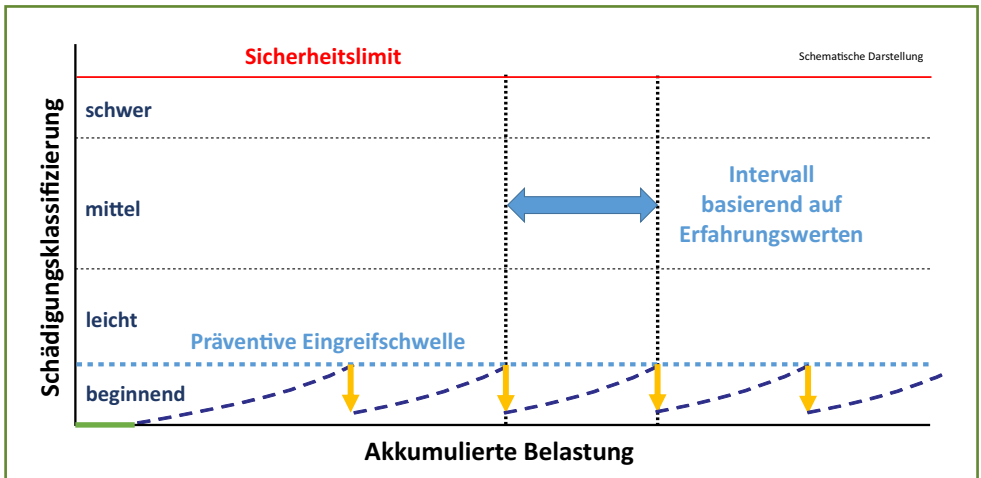


Abb. 3: Präventive Instandhaltungsstrategie zur Maximierung der Schienenlebensdauer

Quelle: Richard Stock

Umfangreiche Erfahrungen der letzten 40 Jahre zeigen, dass die präventive Instandhaltung die effektivste Bearbeitungsstrategie bezogen auf den wirtschaftlichen Nutzen sowie bezogen auf die Liegedauer der Schienen darstellt. Dabei wird durch regelmäßige Bearbeitung mit geringem Materialabtrag die Schienenoberfläche in einem (nahezu) schädigungsfreien Zustand gehalten (Abb. 3, Schädigungsklassifizierung „beginnend“).

Etwaige Schäden, die zwischen den Bearbeitungsintervallen entstehen, werden beim nächsten geplanten Bearbeitungsschritt wieder entfernt oder auf ein ungefährliches Maß reduziert.

Das Intervall für die präventive Instandhaltung kann zeitbasiert oder belastungsbasiert sein. Die Festlegung der optimalen Bearbeitungsintervalle basiert auf Erfahrungswerten (Beobachtungen, Messungen) des Schädigungsverhaltens der Schienen unter den bekannten Belastungsverhältnissen. Es ist dabei wichtig, den Zustand der Schienen nach der Bearbeitung zu erfassen (Messtechnik) sowie auch die Belastungsbedingungen über die Zeit zu dokumentieren. Eine spezielle Form der präventiven Instandhaltung ist die vorausschauende Instandhaltung (englisch „predictive maintenance“). Für die Schieneninstandhaltung hat die vorausschauende Strategie aufgrund der Komplexität und „Offenheit“ des Systems bisher geringe bis keine Anwendung gefunden. Nichts desto trotz liegt sehr viel Fokus in der Eisenbahnindustrie auf dieser zukunftssträchtigen Thematik.

Auch wenn eine präventive Instandhaltungsstrategie den besten Ansatz darstellt, können verschiedenste interne wie externe Umstände dazu führen, dass die Schädigung eine

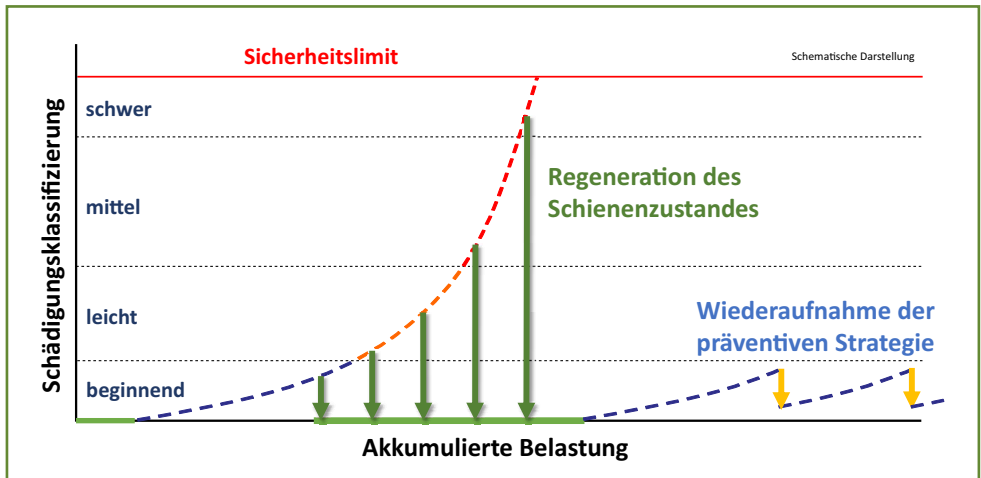


Abb. 4: Regenerative Instandhaltungsstrategie als Voraussetzung zur Wiederaufnahme einer präventiven Strategie

Quelle: Richard Stock

Größenordnung annimmt, die in einem präventiven Regime nicht mehr behandelbar ist. Ein vorzeitiger Schienentausch droht. Für diesen Fall braucht es eine Strategie, die es dem EIU ermöglicht, effizient und schnell in das präventive Regime zurückzukehren und somit einen vorzeitigen Schienentausch zu vermeiden. Der effizienteste Ansatz dafür ist eine regenerative Instandhaltungsstrategie (Abb. 4).

Bei einer regenerativen Strategie wird, beinahe unabhängig vom Ausgangszustand, der Schädigungszustand der Schiene nicht nur korrigiert, sondern ein fehlerfreier Schienenzustand mit exaktem Längs- und Querprofil wiederhergestellt (die Schiene wird regeneriert/erneuert). Nach diesem regenerativen Eingriff kann die Schieneninstandhaltung wieder mit einer präventiven Strategie fortgesetzt werden.

4 Schienenbearbeitungstechnologien

Für die Implementierung der nötigen Schieneninstandhaltungsstrategie ist auch die Wahl der geeigneten Instandhaltungstechnologie erforderlich. Dem EIU stehen dafür eine Reihe von Technologien zur Verfügung.

4.1 Konventionelles Schienenschleifen

Beim konventionellen Schienenschleifen werden topfförmige Schleifscheiben, die um ihre vertikale Achse senkrecht zur Schienenoberfläche rotieren, in unterschiedlichen Winkeln mit einem gewissen Anpressdruck auf die Schienenoberfläche gedrückt, während sich das Trägerfahrzeug entlang der Schienen bewegt. Dabei entsteht durch abrasiven Materialabtrag

eine Längsfacette entlang der Schiene. Durch eine entsprechende Winkelanordnung mehrerer Schleifscheiben hintereinander und Überlappung benachbarter Facetten kann so der gesamte relevante Bereich des Querprofils bearbeitet werden. Das flexibel einstellbare Querprofil entspricht dann einem Polygonzug. Neben der typischen Facettenbildung erzeugt das konventionelle Schleifen eine charakteristische Oberflächenstruktur in Querrichtung zur Schienenlängsachse. Diese Schleifriefen entstehen aufgrund der Rotation der Steine und der Vorwärtsbewegung der Schleifmaschine. Typische Schleifmaschinen verfügen über mindestens 4 und maximal bis zu 120 Schleifsteine und können als Zweibegefahrzeug oder als schienengebundenes Fahrzeug ausgeführt sein. Die Ausrichtung der Schleifsteine zueinander, um das gewünschte Zielprofil einzustellen, erfolgt bei modernen Maschinen computergesteuert und teilweise in Echtzeit. Je nach gewünschtem Materialabtrag und Maschinengröße müssen multiple Überfahrten durchgeführt werden. Die Bearbeitung mit Schleifmaschinen ist nicht richtungsgebunden. Für die Bearbeitung von Weichen kommen Weichenschleifmaschinen zum Einsatz, die aufgrund spezieller Schleifsteingeometrie und erweiterter Winkel-Einstellung der Schleifeinheiten an die Anforderungen von Weichen und Bahnübergängen angepasst sind. Aufgrund des niedrigen Materialabtrages pro Überfahrt (abhängig von Maschinengröße bis zu 0,2 mm) und Überfahrtgeschwindigkeiten von bis zu 20 km/h eignet sich die Schleiftechnologie für eine präventive Bearbeitung. Natürlich ist es auch möglich, korrektiv mit dieser Technologie zu arbeiten, wodurch sich aber die erzielbare Stundenleistung an fertig bearbeiteten Gleismetern aufgrund der Notwendigkeit von multiplen Überfahrten stark reduziert. Aufgrund des abrasiven Materialabtrages entstehen beim Schleifen Staub (Schiene material, Schleifstein-Abrieb) und Funkenflug. Der Staub führt einerseits zur Verschmutzung der Maschine und Umgebung des Gleises und kann andererseits bei Einsätzen in Tunnel auch ein Gesundheitsrisiko darstellen. Speziell Eisenbahnweichen müssen nach dem Schienenschleifen aus Sicherheitsgründen gesondert gereinigt werden. Der Funkenflug verursacht in Tunnel, Brücken und generell trockenen und somit leicht entzündlichen Umgebungen eine nicht zu unterschätzende Feuergefahr. Aus diesem Grund sind Schleifzüge immer mit Wassertanks und Wasserkanonen bzw. Sprinklersystemen ausgerüstet.

4.2 Umfangsschleifen

Beim Umfangsschleifen rotieren Schleifsteine um die horizontale Achse. Üblicherweise ist die Schleifscheibe auch um einen kleinen Anstellwinkel gegen die Längsrichtung der Schienen angestellt (Offset Winkel). Die Schleifsteine können angetrieben sein oder sind frei rotationsbeweglich gelagert. Die angetriebene Variante wird zumeist als Nachbearbeitungsschritt beim Schienenfräsen eingesetzt (siehe entsprechendes Kapitel unten). Die nicht angetriebene Variante kann nur für präventive Schienenbearbeitung mit Geschwindigkeiten bis 80 km/h verwendet werden. Mit diesem Verfahren wird nur der Schienenkopf bearbeitet, die Fahrkante bleibt unberührt. Es ist nicht möglich, die Schienen zu reprofiliert oder Schienenschäden zu entfernen, sondern es wird das bereits vorhandene Profil erhalten. Der Materialabtrag

dieser Schleiftechnologie ist sehr gering und liegt deutlich unter 0,1 mm pro Überfahrt. Das Verfahren erzeugt keine Facetten und resultiert in einer diagonal angeordneten Oberflächenstruktur (Kreuzschliff). Der Funkenflug beim Umfangsschleifen ist im Vergleich zum konventionellen Schleifen reduziert und aufgrund des überaus geringen Materialabtrages kommt es auch nur zu minimaler Staubeentwicklung.

4.3 Bandschleifen

In geringem Ausmaß kommt auch Bandschleiftechnologie zum Einsatz. Hier wird ein „endloses“ Schleifband über zwei Umlenkrollen und einen Anpressschuh auf die Schienenoberfläche gedrückt, der Anpressdruck regelt den Materialabtrag. Auch hier kann nur die Lauffläche am Schienenkopf mit sehr geringem Materialabtrag bearbeitet werden. Das Verfahren wird hauptsächlich zur Nachbearbeitung nach dem Schienenfräsen eingesetzt und resultiert in einem gerichteten Funkenflug (Abb. 5).



Abb. 5: Bandschleifer zur Nachbearbeitung nach dem Schienenfräsen

Quelle: Schwebbau International

4.4 Schleifen mit Rutschersteinen

Als Rutschersteine bezeichnet man quader- oder prismenförmige Schleifsteine die senkrecht auf die Schienenlaufläche gepresst werden. Die Steine sind entweder starr aufgehängt oder führen eine begrenzte Oszillationsbewegung in Schienenlängsrichtung durch. Auch dieses Verfahren findet seinen Einsatz primär für die präventive Instandhaltung, da nur der Schienenkopf mit geringem Materialabtrag gepflegt werden kann. Korrektive Maßnahmen sind mit dieser Technologie nicht möglich (Abb. 6).

Es entsteht eine sehr glatte Oberflächenstruktur, die in Schienenlängsrichtung ausgerichtet ist. Diese spezielle Oberflächenstruktur weist gegenüber den anderen Schleifverfahren akustische Vorteile auf. Das Verfahren mit den oszillierenden Steinen ist auf Geschwindigkeiten bis 2 km/h begrenzt und wird auch zur Nachbearbeitung nach dem Schienenfräsen verwendet. Die Variante mit den starr geführten Steinen kann bis 30 km/h eingesetzt werden und benötigt prozessbedingt eine Wasserkühlung. Beide Varianten bearbeiten die Schienenoberfläche funkenfrei und nahezu staubfrei.



Abb. 6: Rutscherstein-Technologie zur Erzeugung einer lärmoptimierten Schienenoberfläche

Quelle: Plasser & Theurer

4.5 Schienenfräsen

Beim Schienenfräsen handelt es sich um einen Rotations-Umfangsschneidprozess, bei dem das Schienenmaterial in Form von Spänen aus der Schienenoberfläche geschnitten wird. Der Schneidprozess erfolgt trocken und die Prozesswärme wird vom Werkzeug (Messerkopf) und dem Span aufgenommen (Abb. 7).

Die Schiene selbst erfährt nur eine geringe Erwärmung. Fräsen ist ein völlig staub- und funkenfreier Prozess. Die Späne werden mittels einer hocheffizienten Absaugung aufgesammelt und auf der Maschine gelagert, um dann in weiterer Folge dem Recyclingprozess zugeführt zu werden. Das gewünschte Zielprofil der Schiene wird über die Form des Messerkopfes und der darin enthaltenen Hartmetallplättchen mit höchster Präzision in Längs- und Querrichtung eingestellt. Folglich ist für jedes unterschiedliche Zielprofil ein eigener Messerkopf-Satz nötig. Die Messerköpfe sind in Durchmessern zwischen 400 mm und 1445 mm verfügbar, abhängig vom angestrebten Einsatzspektrum der Fräsmaschine. Eine einzelne Fräseinheit erlaubt einen Materialabtrag zwischen 0,1 mm bis 0,3 mm und bis zu 3 mm in einer Überfahrt. Durch Integration mehrerer Fräseinheiten pro Maschine lässt sich der maximale Materialabtrag pro Überfahrt entsprechend hochskalieren. Da das Fräsen ein richtungsabhängiger Prozess ist, kann nur in eine Richtung bearbeitet werden. Für eine weitere Überfahrt muss das Fahrzeug

zuerst zurücksetzen. Abhängig von angestrebtem Materialabtrag und verwendeter Frästechnologie werden Bearbeitungsgeschwindigkeiten von bis zu 3 km/h erreicht.

Das Schienenfräsen erzeugt eine charakteristische Oberflächenstruktur in Form von regelmäßigen Schuppen oder „Schalen“ mit einer Tiefe von wenigen μm . Aufgrund der Regelmäßigkeit dieser Struktur kann es direkt nach dem Fräsen zu unerwünschten Lärmeffekten („Singen“ der Schienen) kommen, bis diese Struktur durch den Zugverkehr geglättet und/oder verschliffen wurde. Je nach Achslasten und Zugfrequenzen kann das jedoch einige Zeit benötigen. Um

diesen störenden Lärmeffekt speziell in urbanen Gebieten von Anfang an zu vermeiden, sind Fräsmaschinen mit entsprechenden Endbearbeitungs-Technologien (Finishing) ausgestattet, die diese Restwelligkeit glätten bzw. polieren. Für diesen Zweck wird entweder das Umfangschleifen mit Antrieb, das Bandschleifen oder das oszillierende Schleifen mit Rutschsteinen verwendet. Charakteristisch für alle diese Technologien ist, dass keine Reprofilierung erfolgt, sondern nur mehr die Oberfläche geglättet wird. Manche Fräsmaschinen sind auch bei diesem Bearbeitungsschritt mit einer hocheffizienten Funken- und Staubabsaugung ausgestattet, so dass ein Großteil der entstehenden Begleitprodukte aufgefangen wird.

Aufgrund des hohen Materialabtrages eignet sich die Frästechnologie ausgezeichnet zur regenerativen Behandlung von stark geschädigten Schienen, die sonst ausgetauscht werden müssten. Fräsen kommt zudem für die zyklisch-präventive Bearbeitung vor allem dort zum Einsatz, wo Faktoren wie Oberflächenqualität, Feuergefahr und Staubfreiheit eine wichtige Rolle spielen. Schienenfräsen können als schienenengebundene Fahrzeuge oder als Zweibegefahrzeug ausgeführt sein und eignen sich auch zur Bearbeitung von Weichen und Bahnübergängen – eine zusätzliche „Weichenfräsmaschine“ ist somit nicht nötig.



Abb. 7: Schienenfrästechnologie: Präzise Reprofilierung der Schiene über die Form des Messerkopfes

Quelle: Schwebbau International

4.6 Schienenhobel

Beim Schienenhobeln wird das Material mittels starr fixierter Schneidplatten während der Vorwärtsbewegung der Maschine von der Schiene abgehoben. Anstatt vieler kleiner Späne wie beim Fräsen entsteht so ein langer, eingerollter Span, der magnetisch aufgesammelt wird. Das Profil der Schiene wird über die entsprechende Anordnung von geraden und Radius-Schneidplatten eingestellt. Mit einem Schienenhobel ist es möglich, beide Seiten der Schiene bis zu einem Winkel von 80° zu bearbeiten. Durch den Prozess entsteht eine sehr glatte Oberfläche mit hoher Quer- und Längsprofil-Genauigkeit. Der Prozess ist staub- und funkenfrei und benötigt eine Wasserkühlung. Diese Technologie realisiert sehr hohe Materialabträge (inklusive Spurberichtigung) und es sind mehrere Überfahrten nötig um das gesamte Querprofil zu bearbeiten. Diverse gleisgebundene Installationen wie Radlenker, Achszähler, Schmiereinrichtungen etc. müssen vor dem Bearbeiten entfernt werden. In Bezug auf die Anwendung stellt das Schienenhobeln ein Nischenprodukt dar, dass heute kaum noch zur Anwendung kommt.

4.7 Drehhobel

Eine Kombination der Technologien Fräsen und Hobeln stellt die sogenannte Drehhobel-Technologie dar. Dabei wurden die Vorteile der beiden Technologien kombiniert und eine Einschränkung des Fräsens, das fixe Zielprofil, eliminiert. Die Schienenbearbeitung mit dieser Technologie erfolgt zerspanend, ohne Funken und Staubentwicklung. Die Späne haben eine ähnliche Größe wie beim Fräsen und lassen sich somit wesentlich einfacher aufsammeln, als es beim reinen Hobeln der Fall ist. Die einzeln positionierbaren Schneidwerkzeuge vollführen eine Drehbewegung und werden, wenn sie in Kontakt mit der Schiene kommen, für die Dauer dieses Kontaktes gleichförmig parallel zur Schienenoberfläche geführt. Dadurch entsteht eine glatte Schienenoberfläche ohne die übliche Oberflächenstruktur nach dem Fräsen, sodass der Finishing-Prozessschritt weniger Aufwand erfordert. Zusätzlich kann durch Ausblenden einzelner Schneidspuren das Zielprofil für beide Schienenstränge unabhängig voneinander während der Bearbeitung kontinuierlich verändert werden. Die Schneidwerkzeuge, auch Schneidplatten genannt, sind an Stößeln auf einem Drehhobelaggregat mit 1445 mm Durchmesser angeordnet. Aufgrund der flexiblen Profilanpassung während der Bearbeitung ist es mit dieser Technologie möglich, eine Weiche inklusive Herzstück und Zungenschienen zu bearbeiten. Wie auch beim Fräsen verbleiben Gleisschaltmittel im Gleis und auch Radlenker können installiert bleiben. Die Drehhobeltechnologie erlaubt Materialabträge zwischen 0,2 und 2 mm in einer Überfahrt bei einer Bearbeitungsgeschwindigkeit von 300 bis 1500 m/h.

5 Qual der Wahl: Der Weg zum optimalen Rad-Schiene Kontakt

Dem EIU stehen folglich eine Reihe an Strategien in Kombination mit verschiedensten Technologien zur Verfügung. Für die Auswahl der jeweils passenden Kombination sind folgende Kriterien ausschlaggebend:

- Ausgangssituation: Aus welcher Motivation wird die Schienenbearbeitung angestrebt und was wurde bisher unternommen (Vorgeschichte).
- Technische Kriterien: Der Zustand der Schienen sowie die technischen Daten des EIU (Achslasten, Zugfrequenzen, Art des Verkehrs und Zugfrequenz, Gleistyp, Schientyp, Schädigungszustand, Weichenbearbeitung, Streckenbearbeitung, Länge der Bearbeitungsfenster etc.). Welche technische Auswirkung hat die Instandhaltung (z. B. Verlängerung der Schienenliegedauer).
- Technologie-Verfügbarkeit: Ist die gewünschte Technologie zur gewünschten Zeit sinnvoll verfügbar und anwendbar.
- Organisatorische Kriterien: Ist das EIU in der Lage, die gewünschte Strategie/Technologie Kombination logistisch und personaltechnisch zu unterstützen. Speziell bei der Einführung neuer Technologien gibt es oft zusätzliche interne Hürden, Blockaden und Vorbehalte zu überwinden.
- Legislative Kriterien: Gibt es Gesetze und Vorgaben, die den Einsatz einer bestimmten Technologie ausschließen oder favorisieren.
- Wirtschaftliche Kriterien: Welche Kosten entstehen dem EIU durch den Einsatz einer bestimmten Technologie/Strategie Kombination und welche Kosteneinsparung lässt sich dadurch erzielen. Hier ergibt sich das Spannungsfeld, dass Kosten meistens sofort anfallen und Einsparungen erst über einen zumindest mittelfristigen Zeitraum erzielt werden können.
- Sonstige externe Kriterien: Umwelteinflüsse und Jahreszeiten können einen oft sehr kurzfristigen Einfluss auf die Technologieanwendbarkeit haben. Wie wir alle in 2020 und 2021 schmerzhaft erlebt haben, zählen auch Pandemien zu unberechenbaren externen Einflüssen.

Obwohl diese Liste bei weiten nicht komplett ist, sollte sie doch einen Großteil der möglichen und/oder nötigen Kriterien umfassen. Ziel des EIU ist es natürlich, einen optimalen Rad-Schiene Kontakt zu erhalten, eine fehlerfreie Schiene mit höchster Profilqualität vorliegen zu haben und somit die Liegedauer der Schienen zu maximieren.

6 Anwendungsbeispiele aus der Praxis

Über das Schienenschleifen und die verschiedenen Anwendungen für präventive oder korrektive Strategien wurde in der Vergangenheit schon hinreichend berichtet. Dazu sei auf entsprechende Schlüsselliteratur verwiesen [3,4,5]. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf

die Frästechnologie, die auch schon seit gut 25 Jahren ihre erfolgreiche Anwendung findet. Bezogen auf die typischen Lebenszyklen des Eisenbahnsystems ist die Frästechnologie trotzdem noch als neue Technologie zu betrachten.

6.1 Anwendungsfall in Japan

In Japan wurde die systematische Schieneninstandhaltung mittels Schleifen erst relativ spät in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts implementiert. Dies ist vermutlich einerseits auf die geringen Achslasten in Japan (Personenverkehr, max. 16 t Achslast, durchschnittlich 10 t Achslast) und auf die frühe Anwendung (ab den 1950-er Jahren) von hochfesten, wärmebehandelten Schienen zurückzuführen. Japanische EIU zählen jedoch auch zu den ersten außer-europäischen Bahnen, die sich mit der Frästechnologie befassten. Trotz diverser technischer und logistischer Probleme mit der ersten Schienenfräse in Japan konnten die Vorteile der Frästechnologie von den japanischen EIU klar identifiziert werden:

- Schienenschleifen erzeugt große Mengen an Schleifstaub, die das Umfeld der Gleise aber auch die Schleifmaschine selber verschmutzen. Daher sind nach einem Einsatz umfangreiche Reinigungsarbeiten nötig. Aufgrund der Zusammensetzung und Größe dieser Partikel wird Schleifstaub in Japan mittlerweile als gesundheitsschädlich eingestuft und diese Reinigungsarbeiten müssen mit entsprechender Schutzausrüstung durchgeführt werden.
- Zusätzlich verursacht der Funkenflug beim Schleifen trotz diverser Eindämmungsmaßnahmen immer wieder Brände in der näheren Umgebung des Gleiskörpers.
- Schienenschleifen kann aufgrund des Temperatureintrages in die Schienen zu unerwünschten Materialumwandlungen an der Schienenoberfläche führen. Die resultierende Oberflächenrauheit nach dem Schienenschleifen (Schleifriefen) führt nicht selten zu unerwünschten Lärmeffekten und daraus resultierenden Anwohnerbeschwerden.
- In Japan werden die Schienen zumeist mit sechs bis zwölf Überfahrten einer Schleifmaschine bearbeitet. Speziell bei den typisch kurzen Bearbeitungsfenstern von ungefähr einer Stunde ist oft nur ein Teil dieser notwendigen Überfahrten möglich. Zurück bleiben Abschnitte mit nur teilweise bearbeitetem Querprofil, welches nicht den Spezifikationen entspricht. Beim Fräsen wird schon nach einer Überfahrt das Zielprofil zu 100% wiederhergestellt und eine Teilbearbeitung des Querprofils, auch bei kurzen Zeitfenstern, somit gänzlich vermieden.

6.2 Maßgeschneidertes Schienenbearbeitungssystem

Basierend auf dieser Ausgangssituation entwickelten der Gleisbaumaschinenhersteller Robel und Schwebbau International (SBI) in Zusammenarbeit mit japanischen Kunden ein speziell



Abb. 8: ROBEL Schienenfräszug für Japan mit Fräs-, Polier- und Messaggregaten

Quelle: ROBEL

auf die lokalen Gegebenheiten zugeschnittenes Fahrzeugkonzept zur Schienenbearbeitung. SBI beschäftigt sich seit über 15 Jahren mit der Weiterentwicklung der Frästechnologie sowie mit dem Bau von hocheffizienten Schienenfräsen und greift dazu auf jahrzehntelange Anwendererfahrung aus dem Gleisbau zurück. SBI Frästechnologie kommt in ganz Europa im urbanen Bereich sowie bei Vollbahnen zum Einsatz.

Das Kernstück des zweiteiligen Fahrzeugkonzeptes Romill (Abb. 8) für den japanischen Markt ist die high speed milling Technologie (HSM). Im Unterschied zur herkömmlichen Frästechnologien arbeitet hier ein Messerkopf mit großem Durchmesser und spezieller Anordnung der Wendeschneidplatten. Durch die größere Anzahl der Wendeschneidplatten in Kombination mit der optimierten Plattenanordnung erhöht sich der Standweg der einzelnen Platten signifikant und ein Werkzeugwechsel während einer (Nacht-) Schicht ist nicht mehr nötig. Darüber hinaus können pro Schneidplatte bis zu 8 Schneidkanten verwendet werden, bevor die gesamte Schneidplatte ausgewechselt werden muss.

Als besonderes Alleinstellungsmerkmal erlaubt diese neuartige Frästechnologie ein von der Gleislage unabhängiges Bearbeiten der Schienen, was mit der konventionellen Frästechnologie bisher nicht geleistet werden kann. Der Messerkopf ist am äußeren Umfang in multiple Segmente (Kassetten) unterteilt. Für einen Austausch oder Indizierung der Wendeschneidplatten wird also nur das Segment und nicht mehr der ganze Messerkopf getauscht.

Zusätzlich erfolgt dieser Segmentwechsel nun komplett im Inneren der Maschine und das Gleis muss nicht betreten werden. Daraus lässt sich direkt ein maßgeblicher Sicherheitsgewinn für das Bedienpersonal auf der Maschine und für den Zugverkehr auf benachbarten Gleisen ableiten. Die Indizierung (Lösen und Festziehen) und der Tausch der Wendeschneidplatten in den Kassetten findet mit Roboter-Unterstützung ebenso auf der Maschine statt (Abb. 9).

Die Teilautomatisierung des Kassettenwechsels erhöht die Sicherheit, Ergonomie und Qualität des Wechselprozesses signifikant. Das Hantieren mit schweren Lasten (kompletter Messerkopf) entfällt gänzlich. Des Weiteren wird die Notwendigkeit einer externen Werkstatt oder eines Werkstattcontainers eliminiert und die Flexibilität des Fräszuges bezüglich des Einsatzortes deutlich erweitert.

Der Werkstattbereich befindet sich im ersten Teil des Fahrzeuges. Im zweiten Teil der Maschine ist unter anderem der Spänebunker und die Poliereinheit untergebracht, die auf der Technologie mit oszillierenden Rutschersteinen beruht. Diese Finishing-Technologie erzeugt eine Oberfläche mit geringster Rauheit, die sämtliche Normen bezüglich Oberflächenwelligkeit und Lärmentwicklung erfüllt (Abb. 10).

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die installierte Messtechnik, einerseits um einen Qualitätsnachweis zu liefern aber auch um einen definierten und dokumentierten Schienenzustand bereitzustellen, der eine Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung einer präventiven Instandhaltungsstrategie darstellt. Im Fall der japanischen Maschinen wurde Messtechnologie von Vogel & Plötscher implementiert, um das Querprofil und Längsprofil mit höchster Präzision



Abb. 9: Roboter-Unterstützung beim Tausch der Wendeschneidplatten auf der Schienenfräse des Types Romill.

Quelle: ROBEL

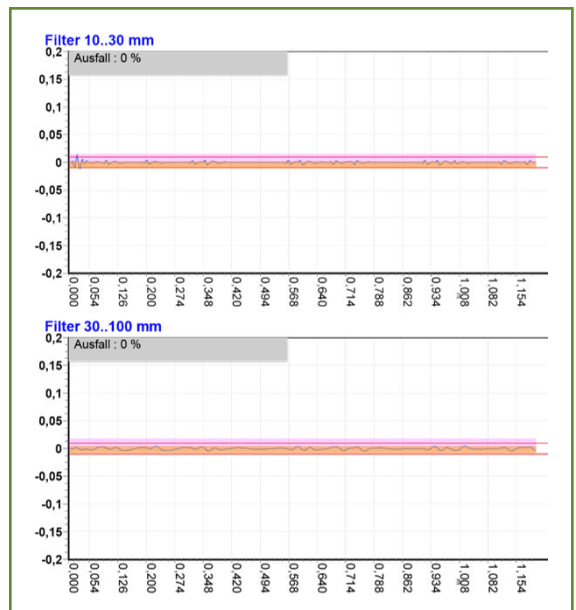


Abb. 10: Resultierende Oberfläche mit geringster Rauigkeit nach der Bearbeitung mit oszillierenden Rutschersteinen.

Quelle: ROBEL

zu erfassen. Eine wie in Europa vorgeschrieben Wirbelstromprüfung war von den Kunden nicht gefordert, lässt sich aber in das Maschinenkonzept integrieren.

Insgesamt wurden von den japanischen Kunden drei Schienenbearbeitungssysteme vom Typ Romill in Auftrag gegeben, die zunächst auf Mischverkehr-Strecken zum Einsatz kommen werden. Da diese Strecken bisher noch nie bearbeitet wurden (auch nicht mit Schleiftechnologie), wird am Anfang eine regenerative Strategie angewendet, bevor zu einer präventiven Strategie übergegangen werden kann. Auch für Prävention soll die Frästechnologie eingesetzt werden. Eine Erweiterung des Fräsprogrammes auf Ballungszentren und auf Hochgeschwindigkeitsstrecken ist geplant. Die erste der drei Maschinen befindet sich bereits in Japan für die Inbetriebnahme und Zulassungstests und wird gegen Ende 2021 die Arbeit aufnehmen. Romill 2 und 3 kommen im Sommer bzw. Dezember 2021 zur Auslieferung.

6.3 Urbanes Fräsen mit alternativem Antrieb

Neben dem Schienenbearbeitungssystem für Vollbahnen arbeitet Robel mit seinen Partnern auch an einem neuen Technologiekonzept für den urbanen Bereich (S-Bahn, U-Bahn und Straßenbahn). Die Romill CMS3 Schienenfräse basiert auf der bewährten SF04U Fräse von SBI und verfügt über ein sehr kleines Lichttraumprofil, mit dem sie sogar in die Tunnel der London Underground passt. Das dreiteilige Fahrzeugkonzept erlaubt die Bearbeitung von engsten Bogenradien, eine Skalierung um ein viertes Fahrzeug ist nach Kundenanforderung möglich. Durch dieses vierte Fahrzeug kann einerseits der Materialabtrag pro Überfahrt erhöht werden und/oder ein Schienenprofilwechsel ohne Bearbeitungsunterbrechung durchgeführt werden (Abb. 11).

Die Maschine ist mit neuester, rein elektrischer Frästechnologie ausgestattet, die das bewährte Kassetten-Design und optimierte Wendeschneidplattenanordnung in einen Messerkopf mit üblichem Durchmesser integriert. Auch hier steht die Ergonomie und Sicherheit für den Bediener beim Profilwechsel im Vordergrund. Zusätzlich sind die Fräseinheiten mit einer adaptiven und balanzierten Vertikalführung ausgestattet, die erstmals eine Bearbeitung von Gleisen mit geringer Gleislagequalität ermöglicht. Dies ist mit konventioneller Frästechnologie bisher nicht umsetzbar.

Einer der größten Innovationsschritte ist die Implementierung des weltweit ersten Hybrid-Antriebskonzeptes für Schienenfräsen. Die Maschine kann einerseits herkömmlich Diesel-elektrisch betrieben werden. Darüber hinaus ist das Fahrzeug mit Batterietechnologie ausgestattet, die eine rein elektrische Schienenbearbeitung von bis zu 3 h Dauer erlaubt. Somit ist es möglich, in Tunneln und geschlossenen Umgebungen völlig emissionsfrei zu arbeiten. Das Laden der Batterien erfolgt mittels externer Stromquelle oder über den integrierten Dieselgenerator. Durch dieses komplett elektrische Antriebskonzept ist die Implementierung einer alternativen Stromversorgung wie z. B einer Brennstoffzelle in das CMS3 Fahrzeugkonzept mit geringem Aufwand möglich.



Abb. 11: Schienenfräszug Romill CMS3 mit Hybridantrieb bei der Fertigung

Quelle: Schwebbau International

Auch in Bezug auf die Nachbearbeitung setzt die CMS3 neue Maßstäbe. Zur Erzeugung einer hochqualitativen und lärmoptimierten Schienenlauffläche wird erstmals der High Performance Polishing Prozess (HPP) zur Anwendung kommen. HPP kombiniert die hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit des rotierenden Schleifens mit der exzellenten Oberflächenqualität, die durch die Bearbeitung mit oszillierenden Rutschersteinen erzielt wird. Ebenfalls in Entwicklung befindet sich eine neue und völlig funkenfreie Nachbearbeitungstechnologie. Die erste CMS3 wird Anfang 2022 ausgeliefert werden und soll in Nordamerika zum Einsatz kommen.

7 Die richtige Technologie zur passenden Strategie

Um das Ziel der maximalen Liegedauer der Schienen zu erreichen, stehen dem EIU eine Reihe von Maßnahmen zur Verfügung, von denen der Schieneninstandhaltung eine zentrale Rolle zukommt. Um eine fehlerfreie Schiene mit höchster Profiltgenauigkeit und akustisch optimiertem Oberflächenfinish herzustellen, kann das EIU auf verschiedene erprobte Stra-

tegien und Instandhaltungstechnologien zurückgreifen. Strategisch hat sich die präventive Instandhaltung bewährt, in Kombination mit regenerativen Eingriffen dort, wo der Zustand der Schiene außerhalb der präventiven Möglichkeiten liegt. Die Frästechnologie etabliert sich zunehmend als Ergänzung zum aber auch teilweise als Ersatz für das konventionelle Schienenschleifen. Durch die optimale Kombination von Strategie und Technologie ist es möglich, den Einsatzzeitraum der System-Komponente Schiene zu maximieren und gleichzeitige die Lebenszykluskosten auf ein Minimum zu reduzieren.

Quellen:

- [1] Stock, R.; Beck, M.: Reibwertoptimierung zwischen Rad und Schiene – ein nachhaltiger Lösungsansatz für das Schlupfwellenproblem, ZEV Rail, 2014, Jahrgang 138, Ausgabe 11/12, S. 470-476
- [2] Stock, R.: Fräsen als zentraler Teil der Schieneninstandhaltungsstrategie, Eisenbahn Ingenieur Kompendium (EIK) 2020, S. 49-65
- [3] Schoech, W.: Strategic Monitoring of rail grinding – a new era of rail maintenance. In: Proceedings of Permanent Way Institution (PWI) NSW 2012 Annual Convention: the Next Generation. Sydney, Australia, 2012, 11 Seiten.
- [4] Schoech, W.: Preventative rail maintenance by grinding – exploring the limits. In: Proceedings of the 11th International Heavy Haul Conference (IHHA), September 2017 S. 121 - 128
- [5] Hampton, D.; Magel, E.; Harris, R.; 2017. Moving towards predictive grinding. In: Proceedings of the 11th International Heavy Haul Conference (IHHA), September 2017, S. 86-94



Dr. Richard Stock
Global Head of Rail Solutions
Plasser American Corporation
rstock@plausa.com



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Michael Seeleithner
Vertriebsleiter
ROBEL Systeme & Fahrzeuge
Michael.Seeleithner@robel.com