

Effizienter und sicherer Betriebsablauf durch saubere Schienen

Kontaminierte Schienenoberflächen können zu signifikant reduzierten Reibwerten zwischen Rad und Schiene führen. Der davon hervorgerufene Traktionsverlust hat betriebstechnische und sicherheitsrelevante Auswirkungen auf den Betriebsablauf von Bahnen. Dieser Artikel diskutiert die Hintergründe von kontaminierten Schienenoberflächen und stellt ein neues Verfahren zur Schienenreinigung vor.



1. Reibung zwischen Rad und Schiene

Reibung bzw. der sich einstellende Reibwert ist prinzipiell immer eine Funktion von zwei kontaktierenden Körpern mit zu meist einer sehr dünnen Zwischenschicht (3rd body layer) [1]. Für die Reibung im Rad-Schiene-Kontakt gibt es einen optimalen mittleren Bereich ($\mu=0,2-0,3$), der über den vorgegebenen Grenzwerten für sicheres Bremsen und Beschleunigen liegt, aber nicht zu hoch ist, um Effekte wie Verschleiß und Rollkontaktermüdung hinauszuzögern. Diese zwischen Rad und Schiene praktisch immer vorliegende Schicht besteht aus Verschleißpartikeln, Oxiden, Sand, Staub, Wasser, Schmiermitteln etc. Im Prinzip sind das Materialien, die natürlich oder künstlich (beabsichtigt oder unbeabsichtigt) in den Rad-Schiene-Kontakt eingebracht werden. Dies bedeutet, dass die Zusammensetzung sowie das chemische und mechanische Verhalten dieser oft nur 10-100 μm dicken Schicht maßgeblich die Reibung zwischen Rad und Schiene beeinflusst. Dieses Prinzip wird z. B. bei der Schienenschmierung ausgenutzt, um den Reibwert zwischen Schienenflanke und Radkranz im engen Bogen auf ein Minimum zu reduzieren.

2. Probleme mit der Reibung

Speziell sehr geringe Reibung kann signifikante und sicherheitsrelevante Auswirkungen auf den Bahnbetrieb haben. Ist der Reibwert beim Anfahren in einer Station zu gering, kann der Zug die Station im schlimmsten Fall nicht verlassen. Traktionsverlust bei Steigungen kann dazu füh-

ren, dass der Zug diese nicht bewältigen kann und stecken bleibt. Umgekehrt kann beim Bremsen eine zu geringe Reibung dazu führen, dass ein Zug über Signale oder Bahnsteige hinausfährt, wodurch es im schlimmsten Fall zu Unfällen kommen kann. Speziell bei Straßenbahnen können auch andere Verkehrsteilnehmer zu Schaden kommen. Darüber hinaus bilden sich auf den blockierenden Rädern vermehrt Flachstellen, was den Fahrgastkomfort reduziert und den Instandhaltungsaufwand für die Räder deutlich erhöht. Für die Zugsteuerung werden je nach Eisenbahnsystem verschiedene Gleisfreimeldeanlagen eingesetzt, die über Kurzschlussströme ein Eisenbahnfahrzeug in einem Streckenblock detektieren. Ist die Schienenoberfläche entsprechend kontaminiert, können die Achsen eines Fahrzeugs diesen Kurzschluss nicht herstellen und das Fahrzeug wird nicht detektiert.

Geringe Reibung und/oder kontaminierte Schienenoberflächen können verschiedene Ursachen haben:

- Eine leicht feuchte Schienenoberfläche (z. B. Morgentau) in Kombination mit Eisenoxiden kann kurzfristig zu extrem geringen Reibwerten führen [2].
- Die Schienenschmierung kann bei Überapplizierung oder Fehlapplizierung den Reibwert ungewollt reduzieren.
- Vegetation und speziell Laubfall im Herbst kann auf Schienen eine extrem harte und stark anhaftende Schicht mit sehr geringem Reibwert bilden (Bild 1).
- Bei Straßenbahnen können andere Verkehrsteilnehmer (Autos, Radfahrer, Fußgänger) zu Kontamination der Schie-



Dipl.-Ing. Dr. mont. Richard Stock

Global Head of Rail Solutions
Plasser & Theurer, Vancouver,
Kanada
rstock@plausa.com



Javier Mateo, B.Sc.

Product Manager
RailRestore B.V., Niederlande
javier@railrestore.com

nenoberfläche (Schichtbildung) und resultierenden geringen Reibwerten führen.

- Eine Kombination einiger oder aller dieser Ursachen ist möglich oder wahrscheinlich.

Eine der ältesten und einfachsten Lösungen zur lokalen Erhöhung der Reibung ist das „Sanden“ bei angetriebenen Achsen. Dafür wird eine kleine Menge scharfkantiger Sandpartikel in den Rad-Schiene-Kontakt eingeblasen, um die Reibung zu erhöhen. Das funktioniert sehr gut bei feuchten Schienen oder bei Schienen mit Kontaminationsschichten von geringer Stärke. Bei dickeren oder stark anhaftenden Schichten müssen andere Technologien zur Anwendung kommen. Darüber hinaus wird mit dem Sand auch eine zusätzliche Kontamination in den Rad-Schiene-Kontakt eingebracht.



1: Harte Schicht mit geringer Reibung, bestehend aus Blättern auf der Schienenoberfläche

3. Technologien zur Reinigung von Schienen

Wenn einfaches „Sanden“ nicht zum erwünschten Reibwert führt, müssen andere Maßnahmen gewählt werden.

Bei lokal begrenzten Problemen kann mit entsprechenden Werkzeugen (Schaukeln, Meißeln, Kratzern, Tüchern ...) die Kontaminationsschicht manuell entfernt werden. Für diese Tätigkeit muss jedoch das Gleis betreten werden (Sicherheitsaspekt) und es sind entsprechende Personalressourcen nötig. Diese Methode eignet sich auch nicht für längere kontaminierte Abschnitte.

Ähnlich einem Hochdruck-Reiniger für Haus und Garten können Hochdruck-Reinigungssysteme auch bei Schienen gewählt werden. Solche Systeme verfügen über eine oder mehrere Düsen, die einen Hochdruck-Wasserstrahl (10-500 bar) unter einem gewissen Winkel auf die Schienenoberfläche richten, um Kontaminationen zu entfernen. Diese Systeme sind für urbane Anwendungen durch Zwei-Wege-Fahrzeuge ausgeführt und haben oft noch eine Absaugung integriert, ähnlich wie bei einer Straßenkehrmaschine. Im Vollbahnbereich setzt z.B. Network Rail [3] im Moment 67 auf Flachwagen montierte Systeme ein, um speziell im Herbst kritische Bereiche von Laubschichten freizuhalten. Neben der Hochdruck-Reinigung wird bei diesen britischen Systemen nach dem Reinigen ein Traktionsgel (Mischung aus Sand und Stahlsplitttern) auf die Schiene aufgebracht.

Ähnliche Reinigungssysteme sind auch bei anderen europäischen Bahnen im Einsatz.

Es gibt mehrere Ansätze, um mit Hilfe von Lasern die Kontaminationsschichten auf der Schienenoberfläche zu verdampfen. Dazu wurden in England, Deutschland und den Niederlanden Versuche durchgeführt [4]. Die Betreiber Long Island Rail Road und Metra North (New York, USA) verwenden solche Systeme im regulären Einsatz, um die Schienen frei von Kontamination zu halten.

Eine weitere Idee beschäftigt sich mit dem Einsatz von Plasmajets, um die Schienenoberfläche zu reinigen (Verdampfung der Kontaminationsschicht) [4].

In England wurde ein Prototyp entwickelt, der Trockeneissplittter mit Luftdruck auf die Schienenoberfläche bläst [4]. Dabei kommen mehrere physikalische Effekte (Kühlung unter den Gefrierpunkt, mechanische Zerrüttung, Expansion des Volumens durch Sublimation) zur Anwendung, um die Laubschicht zu entfernen.

In Gebieten, wo es wiederholt zu Problemen mit Laub kommt, können stationäre Anlagen installiert werden, die ein Traktionsgel auf die Schiene aufbringen. Dieses wird von den Rädern über eine gewisse Distanz (bis zu 100m) entlang der Schiene transportiert und soll den Laubfilm brechen. Ein Traktionsgel zur ortsfesten Applizierung beinhaltet verschiedene Sand- und andere Partikel sowie diverse Zusatzstoffe wie Bindemittel, Eindicker, Korrosionshemmer, Frostschutzmittel und Ähnliches.

Die Kraft des Wassers

Steter Tropfen höhlt den Stein – ein Sprichwort, das schon bei den Römern (Ovid) bekannt war und heute im übertragenen Sinn verwendet wird (Beharrlichkeit führt zum Ziel). Wörtlich betrachtet, deutet es auf die Kraft hin, die im Wasser steckt. Um die Wirkung eines „steten Tropfens“ zu beschleunigen, muss Wasser mit entsprechend hohem Druck zum Einsatz kommen – z.B. beim Wasserstrahlschneiden. Bei dieser Trenntechnologie wird ein dünner Wasserstrahl (sub-mm) mit hohem Druck (bis zu 5000 bar) und hoher Geschwindigkeit (bis zu 1000 m/s Austrittsgeschwindigkeit) zum Schneiden von verschiedensten Materialien (unter anderem Stahl bis 50 mm Dicke) verwendet. Prinzipiell gibt es zwei Verfah-



2: Speziell entwickelte Düse zur effizienten Reinigung von Schienenoberflächen



3: Zwei-Wege-Fahrzeug für die urbane Anwendung beim Einsatz in Den Haag

ren: das Reinwasserschneiden, bei dem nur Wasser zur Anwendung kommt, und das Abrasivschneiden, bei dem ein Abrasivmaterial (z.B. Sand, Korund etc.) beigefügt wird. Die wichtigsten Prozessparameter sind Pumpendruck, Düsenabstand, Düsendurchmesser, Vorschubgeschwindigkeit und – wenn vorhanden – Menge und Art des Abrasivmaterials.

Da die beschriebenen Verfahren zur Schienenreinigung nicht das von den Bahnbetreibern erwünschte Ergebnis erzielen (Wirksamkeit, Effizienz, Geschwindigkeit), begann sich vor zwölf Jahren eine Gruppe von niederländischen Technikern mit dem Problem näher zu beschäftigen. Ausgehend von der Anwendung des Wasserstrahlschneidens, ergaben sich schnell neue Szenarien für die Anwendung dieser Technologie zur Schienenreinigung. Um Expertise bezüglich Wasserstrahltechnologie einzubringen, wurde in weiterer Folge eine Partnerschaft mit der Firma Hypertherm eingegangen, einem globalen Spezialisten für Hochdruck-Wasserstrahl-Technologie und deren Anwendung zum Schneiden von Materialien aller Art. 2016 wurde die Firma RailRestore in Holland gegründet und ist seit 2021 Teil der Plasser & Theurer-Gruppe, integriert in die Digital Railways Solutions AG.

Entwicklung eines Systems für urbane Anwendungen

In enger Zusammenarbeit mit Hypertherm konnte 2019 ein erster Prototyp eines verbesserten und innovativen Reinigungssystems für urbane Anwendungen in Holland getestet werden. Das RailRestore-System unterscheidet sich in folgenden Punkten von den bisher verfügbaren Technologien:

Übliche Reinigungssysteme verwenden Wasserdrücke im Bereich von 10 bis wenigen 100 bar. Das neue System kann mit bis zu 4000 bar operieren. Damit kann bei gleicher oder geringerer Wassermenge eine höhere Reinigungsleistung erzielt werden.

Dem Wasser wird ein Abrasivmaterial beigemischt, wodurch die Reinigungsleistung erhöht und die nötige Wassermenge reduziert wird. Zusammen mit den hohen Drücken wird die Reinigungsleistung signifikant verbessert und Effizienz erzielt.

RailRestore hat zusammen mit seinen Partnern ein optimiertes Düsendesign entwickelt, das speziell für die Reinigungsanwendung mit Abrasivmaterial und hohen Drücken ausgelegt ist (Bild 2). Kommerziell verfügbare Düsen sind nicht für diese spezielle Anwendung geeignet und ihre Lebensdauer sowie Reinigungsperformance nicht ausreichend.

Nach den Tests des ersten Prototyps 2019 wurde das System kontinuierlich weiterentwickelt und mündete 2023 in einem ersten kommerziellen System.

Anwendungsfall Den Haag

Das Straßenbahnnetzwerk in Den Haag (HTM) gehört mit seinen ca. 117 km Länge, verteilt auf 13 Straßenbahnlinien, und ca. 275.000 Passagieren pro Tag zu einem der größeren Netzwerke in Europa. Die Gründe für kontaminierte Schienen in der Stadt sind vielschichtig. Durch die Nähe zum Meer werden Sand, Sedimente und andere marine Partikel durch den Wind auf den Schienen angelagert. Zusätzlich verstärkt der hohe Salzgehalt der Luft bzw. teilweise sogar direkte Salzgischt die Bildung von Korrosionsschichten. Aufgrund des hohen Anteils an eingebetteten Gleisen kommt es verstärkt zur Kontamination mit organischem Material (Blätter) und Schmiermitteln. Dies führt zu Traktionsverlusten und Bremsproblemen, erhöhter Lärmbelastung und Schwierigkeiten mit dem Signalsystem. Trotz hohem Ressourceneinsatz konnte HTM das Problem bisher nur lindern, aber nicht beseitigen.

Nach erfolgreichen Tests reinigt nun RailRestore seit 2023 erfolgreich die Schienen bei HTM. Es kommt ein Zwei-Wege-Fahrzeug (Bild 3) zum Einsatz, das mit einem Wassertank, der mehrere 1000l fasst, einem Abrasivmaterialbehälter, einer Hochdruckpumpe und je einer Sprühdüse pro Schiene ausgerüstet ist. Das System kann bis zu einer Reinigungsgeschwindigkeit von 40 km/h betrieben werden, Ein- und Ausgleisen dauert weniger als fünf Minuten. Aufgrund der Flexibilität des Systems können die Reinigungsparameter wie Druck, Abrasivmaterial, Wassermenge und Geschwindigkeit an den jeweiligen Verschmutzungsgrad angepasst werden, um eine optimale Reinigungswirkung zu erzielen. Im Moment reinigt das RailRestore-Fahrzeug die relevanten Abschnit-



4: Schienenoberfläche und Rille vor (links, kontaminiert) und nach (rechts, sauber) dem Reinigen

te des HTM-Systems jede zweite Woche. Die Firma DEKRA wurde von HTM beauftragt, die Wirksamkeit der Reinigung von unabhängiger Seite zu beurteilen. Dazu wurden Reibungsmessungen (Salient Tribometer) vor und nach dem Reinigen durchgeführt, die einen deutlichen Anstieg der gemessenen Reibung auf nominale Werte („sauberes Gleis mit guter Traktion“ gemäß HTM-Definition) nach dem Reinigen belegten. Vorher und nachher durchgeführte elektrische Widerstandsmessungen zeigten, dass die Leitfähigkeit gemäß den Anforderungen von HTM völlig wiederhergestellt werden konnte. Das RailRestore-System entfernt nicht nur Kontaminationen am Schienenkopf, sondern reinigt im selben Vorgang auch die Rille von Rillenschienen und bietet somit einen zusätzlichen Mehrwert (Bild 4). Aufgrund der positiven und reproduzierbaren Ergebnisse hat HTM die eigenen Reinigungstätigkeiten eingestellt, was zu einer deutlichen Reduzierung im nächtlichen Ressourcenaufwand führt.

4. Ausblick

Mit der Einführung des ersten kommerziellen Reinigungssystems für urbane Anwendungen ist die Entwicklung noch nicht abgeschlossen. Im Moment wird mit dem Technologiezentrum Purkersdorf von Plasser & Theurer an einem modularen Reinigungssystem für die Vollbahn gearbeitet, das flexibel auf handelsüblichen Waggons installiert und unter üblichen Geschwindigkeiten verwendet werden kann. Neben dem Reinigen beschäftigt sich RailRestore auch mit einer Alternative zu gängigen Technologien wie Schleifen oder Fräsen von Schienen. Auch dafür soll Hochdruck-Wasserstrahl-Technologie verwendet werden. Die Vorteile liegen in der „kalten“ Bearbeitung (keine Erhitzung des Materials) und im verschleißarmen Prozess (kein „Werkzeug“ im direkten Kontakt zum Werkstück). Ebenso handelt es sich um ein staubfreies und funkenfreies Verfahren (keine Brandgefahr). Aufgrund der Komplexität dieser Thematik ist noch einiges an Entwicklungsarbeit nötig. ●

Literatur

- [1] Descartes, S.; Desrayaud, C.; Niccolini, E.; Berthier, Y.: Presence and role of the third body in a wheel-rail contact, *Wear* (2005), Volume 258, Issues 7–8, Seiten 1081–1090.
- [2] Buckley-Johnstone, L. E. et al.: Full-scale testing of low adhesion effects with small amounts of water in the wheel/rail interface, *Tribology International* (2020), Volume 141, 105907.
- [3] Network Rail: Leaf-busting trains prepare for autumn, <https://www.networkrail.co.uk/stories/leaf-busting-trains-prepare-for-autumn/>, Zugriff 22/08/2024 um 14:10 Uhr Pacific Time.
- [4] Dobell M.: Cleaning the rail head, <https://www.railengineer.co.uk/cleaning-the-rail-head/>, Zugriff 22/08/2024 um 14:20 Uhr Pacific Time.

Summary

Efficient and safe operations thanks to clean rails

Contaminated rail surfaces can lead to significantly reduced coefficients of friction between wheel and rail. The resulting loss of traction has operational and safety implications for railway operations. This article discusses the background to contaminated rail surfaces and presents a new rail cleaning process.