

# Smarte Schieneninstandhaltung in der Metro Barcelona

Mobiles Schienenfräsen und -monitoring kombiniert zu einem einzigartigen Konzept für effiziente Schieneninstandhaltung in Gleisen und Weichen

HUBERT OBERHUBER | JOHANNES NEUHOLD | JORDI ORTA | DANIEL BRANDL | BENEDIKT SCHÖNHUBER

voestalpine Railway Systems und PJ Messtechnik haben gemeinsam einen innovativen und gesamtheitlichen Ansatz zur Schieneninstandhaltung entwickelt. Das Konzept beinhaltet die netzweite Erfassung des Schienenzustandes mithilfe modernster Sensortechnologie. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden im Anschluss Schienenfräsarbeiten in Gleisen und Weichen durchgeführt. Dabei können Schienenfehler nahezu vollständig beseitigt und ein quasi neuwertiger Schienenzustand wiederhergestellt werden. Das Gesamtkonzept kommt nun erstmals in der Metro Barcelona zum Einsatz.

## Einleitung

Durch die ständig wachsenden Bevölkerungszahlen in städtischen Ballungsräumen werden auch die Anforderungen an urbane Verkehrsmittel immer größer. Dies betrifft insbesondere Metrosysteme, deren Herausforderungen durch steigende Zugfrequenzen bei gleichzeitig sinkenden Zeitfenstern für Instandhaltung stetig zunehmen. In der Regel beginnt der Metrobetrieb früh morgens gegen 05.00 Uhr und endet gegen Mitternacht. Manche Städte überlegen jedoch, an Wochenenden einen 24-Stunden-Betrieb einzuführen oder sogar einen 24/7-Betrieb bzw. haben dies schon getan. Für die Inspektion und Instandhaltung der Gleisanlagen bedeutet das, dass essenzielle Tätigkeiten in immer kürzeren Zeitfenstern ausgeführt werden müssen. Im Zuge dessen kommt der Instandhaltung der Schiene, die als direkter Kontaktpartner zum Fahrzeug fungiert, eine wesentliche Bedeutung zu. Die wichtigsten Mechanismen, die Schieneninstandhaltung in Metrosystemen notwendig machen, sind der Verschleiß durch die Betriebsbelastung, Schlupfwellen sowie Rollkontaktermüdung (Head Checks). Zudem treten systembedingte Fehlerbilder wie Squats auf [1]. Die erreichbare Nutzungsdauer von Schienen sowie der Instandhaltungsaufwand während des Lebenszyklus sind im Wesentlichen von der Anfangsqualität sowie der gewählten Instandhaltungsstrategie abhängig. Eine hohe Anfangsqualität ist dabei Grundvoraussetzung

für eine lange Lebensdauer der Schiene. Diese kann insbesondere durch den Einsatz von wärmebehandelten Premium-Schienengütern in kritischen Gleisabschnitten wie Bögen oder Stationen gewährleistet werden [2]. Zusätzlich ist jedoch auch eine adäquate Instandhaltung der Schiene während des Lebenszyklus essenziell, damit eine möglichst lange Nutzungsdauer erreicht werden kann [1]. voestalpine Railway Systems und PJ Messtechnik haben daher in einer Partnerschaft einen optimierten und ganzheitlichen Ansatz für Schieneninstandhaltung in Metrosystemen entwickelt. Das Konzept beinhaltet das Monitoring sowie das Fräsen der Schienen in Gleisen und Weichen. Dieses gesamtheitliche Konzept kommt nun erstmals bei der Metro Barcelona zum Einsatz.

## Metro Barcelona

Aufgrund der langen, erfolgreichen Historie – die erste Linie wurde bereits 1924 eröffnet – und der hohen Servicequalität dient die Metro in Barcelona in vielerlei Hinsicht als Vorbild für andere Metros auf der Iberischen Halbinsel und in Südamerika. Aktuell besteht das Netz aus acht zweigleisigen Linien, die sich vorwiegend in Tunnelbereichen befinden. Betreiber des Netzes ist die Transports Metropolitans de Barcelona (TMB). Die verschiedenen Linien gewähren einen Einblick in die Entwicklung der Metroplanung und des -baus während des letzten Jahrhunderts. Diese führt von der iberischen Spurweite von 1668 mm auf der historischen Linie 1 zu den engen Tunneln in Linie 5 bis hin zu vollautomatischem Zugbetrieb auf den Linien 9 und 10. Die Energieversorgung der Züge findet generell über ein Oberleitungssystem statt, was die Gleisinstandhaltung und den Tausch von Oberbaukomponenten erleichtert. Besondere Herausforderungen für die TMB stellen sich oft ändernde Bodenverhältnisse, Grundwasser sowie die unterschiedlichen Vorgaben von verschiedenen lokalen Behörden dar. Zudem kommt es immer wieder zu Beschwerden von Anrainern, die eine erhöhte Belastung durch Lärm und Vibrationen beklagen.

Aufgrund der ständig steigenden Passagierzahlen – dies betrifft sowohl Bewohner, Pendler als auch Touristen – besteht die Notwendigkeit, immer dichtere Taktfrequenzen anzubieten. Dieses erhöhte Zugaufkommen führt in weiterer Folge zu einem erhöhten Verschleiß an Schienen und weiteren Gleiskomponenten. Dieser Effekt verschärft sich durch die COVID 19-Pandemie zu-

sätzlich, da ausreichend Sicherheitsabstand für die Passagiere zur Verfügung gestellt werden muss und es somit zu einer weiteren Erhöhung der Zugzahlen kommt.

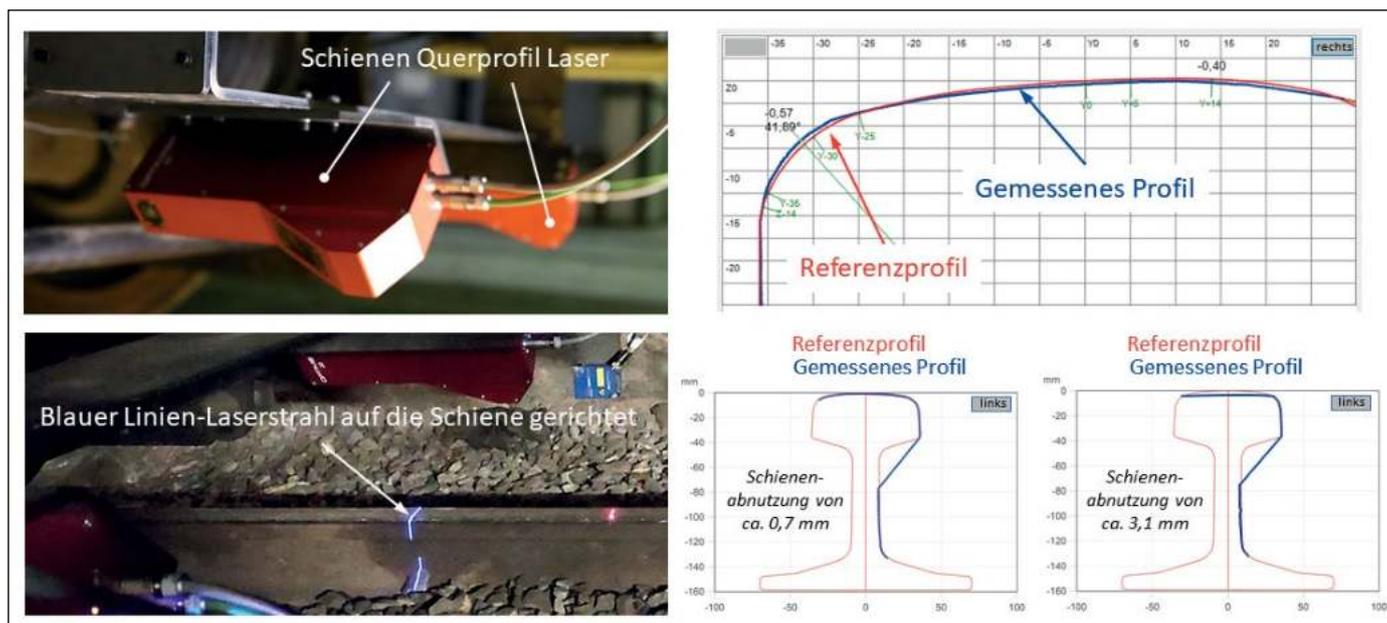
Da bisher eingesetzte Schieneninstandhaltungsmethoden (unter anderem eine Schienenschleifmaschine) die beschriebenen Herausforderungen nicht mehr bewältigen konnten, wurde seitens TMB die Entscheidung getroffen, auf neue, innovative Technologien zu setzen. Dabei ist es das Hauptziel, die Schiene zu reprofiliert, da ein verschlissenes Schienenprofil zu ungünstigen Rad-Schiene-Kontaktbedingungen führt. Dadurch kommt es einerseits zu erhöhtem Radverschleiß, und andererseits müssen im fortgeschrittenen Stadium Geschwindigkeitsbeschränkungen verhängt werden, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten. Ein weiteres Ziel der Schieneninstandhaltung ist die Beseitigung von Schlupfwellen, da diese maßgeblich zur Entstehung von Lärm und Vibrationen beitragen. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen wurden seitens TMB Schieneninstandhaltungsmaßnahmen für 50 km Gleis und mehrere Weichen ausgeschrieben. Diese sollen durch netzweite Messkampagnen zur Analyse des Schienenzustandes vor und nach den Instandhaltungstätigkeiten begleitet werden.

## Schienenmonitoring

Zur Analyse des Schienenzustandes hinsichtlich Verschleiß und Schlupfwellen wurde ein speziell angepasstes Sensorkonzept entwickelt. Die Besonderheit dieses Konzepts besteht darin, dass das Messsystem sehr einfach und in kurzer Zeit direkt an Fahrzeugen des Betreibers montiert werden kann. Seine Bestandteile werden im Folgenden beschrieben.

## Schienenprofil- und Spurweitenmessung

Zur Messung von Schienenprofil und Spurweite wird ein präzises Linien-Laser-Messsystem verwendet, das einfach an der Unterseite eines Fahrzeugs des Metrobetreibers angebracht werden kann (linke Bilder in Abb. 1). Die Messparameter werden dabei gemäß der Europäischen Norm EN 13231-3 [3] mit einer Abtastrate von 25 cm oder größer erfasst. Damit eine zufriedenstellende Kontaktgeometrie zwischen Rad und Schiene sichergestellt ist, müssen sich das Querprofil der Schiene und die Spurweite – bezogen auf den Sollzustand – innerhalb bestimmter Grenzwerte befinden. Das obere Diagramm auf der rechten Seite von Abb. 1 zeigt ein Beispiel für ein gemess-



**Abb. 1:** Fotos eines Linien-Lasersystems, befestigt am Fahrzeugrahmen eines Metrowartungswaggons (links). Beispiel für die Auswertung des gemessenen Schienenquerprofils (rechts oben) sowie zwei Beispiele für die Ermittlung des Schienenhöhenverschleißes (rechts unten) *Quelle: PJ sstechnik*

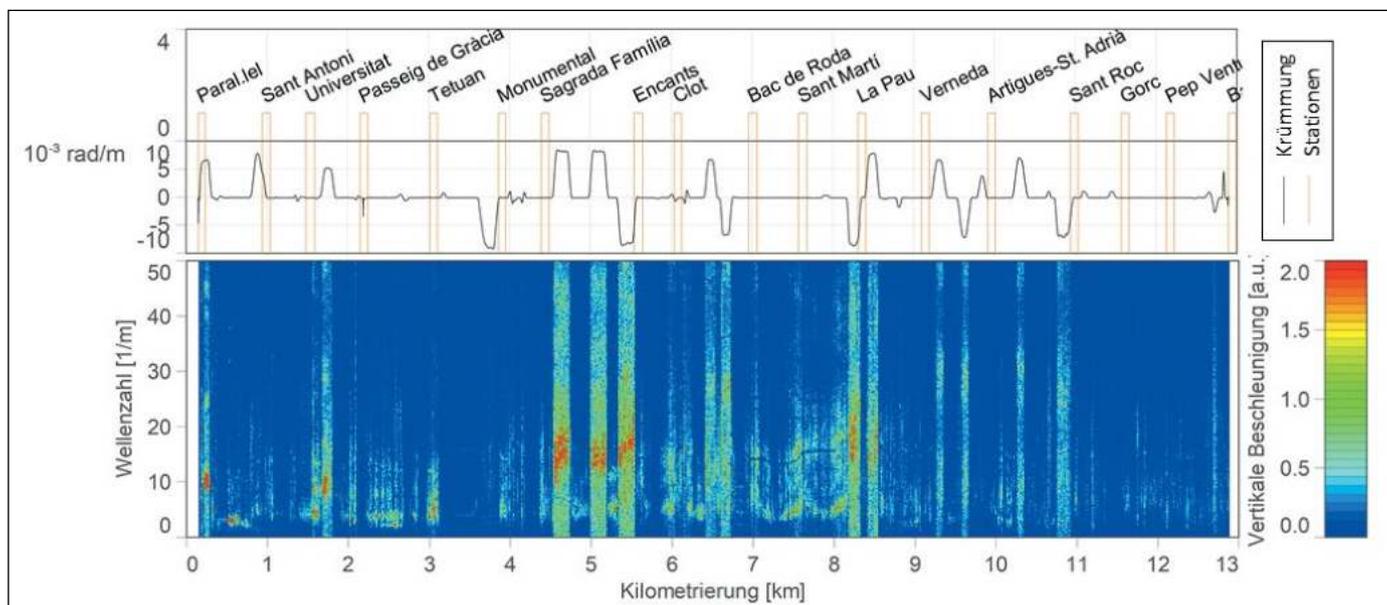
senes Schienenprofil (blau) im Vergleich zum Sollprofil (rot). Neben den beschriebenen Parametern kann aus den erhobenen Daten auch der Höhenverschleiß der Schiene errechnet werden. Diese Information ist von zentraler Bedeutung, um zu entscheiden, ob eine verschlissene Schiene noch reprofiliert werden kann oder ob bereits ein Schienentausch durchzuführen ist. Beispielhaft ist die Bestimmung des Höhenverschleißes in den beiden Diagrammen rechts unten in Abb. 1 dargestellt.

#### Schlupfwellenmessung

Schlupfwellen führen neben der Entstehung von Lärm und Vibrationen zu einer nennenswerten Reduktion des Fahrkomforts. Aus diesen

Gründen ist es von großer Bedeutung, Bereiche mit Schlupfwellenbildung zu erkennen und anschließend im Rahmen entsprechender Instandhaltungsmaßnahmen zu behandeln. Im hier vorgestellten Konzept werden Schlupfwellen mithilfe von Beschleunigungssensoren detektiert, die an den Achslagern eines Fahrzeuges montiert werden. Schlupfwellen führen zu messbaren Vibrationen am Fahrzeug, die dann durch die Sensoren aufgenommen werden. Dabei ist diese Sensorik Teil eines umfangreichen Messsystems, das von PJ Messtechnik entwickelt wurde. Diese Art der Schlupfwellenmessung zeichnet sich durch eine hohe Effizienz aus, da sie eine hohe Messrate aufweist, dabei allerdings eine vergleichsweise geringe Datenmenge produ-

ziert. Die Ergebnisse der Messungen werden in sogenannten Campbell-Diagrammen visualisiert. Abb. 2 zeigt solch eine Darstellung beispielhaft für eine gesamte Metrolinie. Die Verortung der Daten erfolgt dabei über Hall-Effekt-Sensoren in Kombination mit einem Polrad. Kurzwellige Schienenfehler wie Schlupfwellen treten typischerweise in einem Wellenlängenbereich zwischen 25 mm und 80 mm mit einer Amplitude von bis zu 100  $\mu\text{m}$  auf [4]. Bereiche mit starken Vibrationen und somit Abschnitte, die auf Schlupfwellenbildung hindeuten, werden im Campbell-Diagramm rot dargestellt. Auf der analysierten Linie in Abb. 2 wird dies besonders in den Bögen zwischen km 4 und km 6 klar ersichtlich.



**Abb. 2:** Campbell-Diagramm zur Identifizierung von Streckenabschnitten mit Schlupfwellen für eine gesamte Metrolinie

*Quelle: PJ Messtechnik*

Wird die Sensorik zur Schlupfwellendetektion gemeinsam mit dem Schienenprofilmesssystem auf einem Fahrzeug installiert, können noch zahlreiche weitere Parameter erhoben werden. Dazu zählt beispielsweise die Verwindung oder die Überhöhung, was für zukünftige Anwendung großes Potenzial bietet.

In der Metro Barcelona wird das Messkonzept zweimal über das ganze Netz hinweg angewendet. Eine Messkampagne findet vor den Fräseinsätzen statt, um den Schienenzustand netzweit zu erfassen und Bereiche zu definieren, wo Instandhaltungstätigkeiten erfolgen sollen. Zudem liefern die Daten wichtige Informationen für die optimale Ausführung der Instandhaltungsarbeit selbst. Die zweite Messkampagne wird nach den Frästätigkeiten durchgeführt, um die Wirksamkeit der Maßnahmen zu überprüfen.

### Regenerative Schieneninstandhaltung mittels Frästechnologie

Damit auf die eingangs erwähnten, speziellen Herausforderungen in Metros adäquat eingegangen werden kann, werden dort auch für die Schieneninstandhaltung maßgeschneiderte Konzepte benötigt. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen bietet die Schienenfrästechnologie einen optimalen Lösungsansatz. Im Gegensatz zum konventionellen Schienenschleifen erfolgt beim Fräsprozess ein deutlich geringerer Energieeintrag in das Schienenmaterial, und die Schiene erwärmt sich nur geringfügig. Damit werden Materialumformungsprozesse im Schienenoberflächenbereich vermieden [5]. Während des Arbeitsprozesses erfolgt keine Staubbildung, und somit kommt es auch zu keiner Verschmutzung der umliegenden Bereiche. Zudem wird Funkenflug vermieden, was die Brandgefahr während eines Einsatzes auf ein Minimum reduziert. Dieser Aspekt ist insbesondere in Tunnelbereichen von großer Relevanz. Für die Fräsarbeiten in Barcelona wird von der voestalpine die Maschine MG11 (Abb. 3) eingesetzt, die von Linsinger gebaut wurde.

Diese Maschine ist speziell für Arbeiten in Metros geeignet, da sie durch ihr kompaktes Design auch in den engsten Tunneln eingesetzt werden kann. Während einer Überfahrt ist es möglich, zwischen 0,3 mm und 1,0 mm Material abzutragen, und es können Fräsgeschwindigkeiten von bis zu 600 m/h erreicht werden. Das Abfallprodukt des Fräsprozesses sind Späne, die in einem speziellen Bunker auf der Maschine gesammelt und in späterer Folge recycelt werden können. Der Transport der Maschine zum Kunden erfolgt entweder per Lkw oder in einem 40'-Container. Im Netz des Kunden kann die Maschine selbstfahrend mit einer Geschwindigkeit von bis zu 50 km/h überstellt werden. Die Spurweite der Maschine kann zwischen 1000 mm und 1668 mm variiert werden, womit höchste Flexibilität gegeben ist. Die MG11 verfügt über eine Querspielbegrenzung, womit das Fräsen auch in überhöhten Gleisabschnitten problemlos möglich ist. Zusätzlich kann durch die Verwendung eines speziellen Moduls die Fräsarbeit auch in



Abb. 3: Schienenfräsen in der Metro mittels MG11

Quelle: voestalpine



Abb. 4: Weichenfräsen in der Metro

Quelle: voestalpine

Weichen ausgeführt werden [6], was in Abb. 4 dargestellt ist.

Während des Einsatzes in Barcelona wurden Schienenfräsarbeiten auf ca. 50 km Gleis und in mehreren Weichen durchgeführt. Der positive Effekt der frästechnischen Bearbeitung kann anhand von Abb. 5 und 6 nachvollzogen werden, die das Schienenquer- und Schienenlängsprofil vor und nach dem Einsatz darstellen.

Die Bilder zeigen, dass es durch die Fräsmäßnahme zu einer nahezu kompletten Entfernung der Schienenfehler in Quer- und Längsrichtung kommt und ein quasi neuwertiger Schienenzustand wiederhergestellt werden kann. Dieses Herstellen eines genau definierten Zielzustandes, nahezu unabhängig von der Ausgangsqualität, wird als regenerative Instandhaltung bezeichnet [7]. Dieses Konzept unterscheidet sich deutlich vom klassischen Ansatz der korrekativen Instandhaltung, wo die Ausgangsqualität vor der Maßnahme eine entscheidende Rolle spielt und eine gewisse Restschädigung meist bestehen bleibt. Eine fehlerfreie Schiene ist auch die Basis für die erfolgreiche Anwendung eines zyklisch-präventiven Instandhaltungsregimes. Dieser Ansatz verfolgt das Ziel, einen möglichst guten Zustand so lange wie möglich zu erhalten, um die Nutzungsdauer der Schiene zu maximieren (Abb. 7). Auch für die Umsetzung dieser Strategie ist die Frästechnologie hervorragend geeignet.

### Zusammenfassung

Durch die ständig wachsenden Bevölkerungszahlen in urbanen Ballungsräumen werden auch die Anforderungen an Metrosysteme immer größer. Diese äußern sich insbesondere durch steigende Zugfrequenzen bei gleichzeitig sinkenden Zeitfenstern für Instandhaltung. Diese Umstände bedeuten auch eine große Herausforderung für eine zeitgemäße Schieneninstandhaltung, welche essenziell für einen sicheren und komfortablen Bahnbetrieb bei optimalen Kosten ist. Aus diesem Grund haben voestalpine Rail-way Systems und PJ Messtechnik in einer Partnerschaft einen optimierten und ganzheitlichen Ansatz für die Schieneninstandhaltung in Metrosystemen entwickelt. Ein Teil des Konzepts umfasst ein smartes Schienenmonitoringkonzept, bei dem Messsensoren direkt auf Standardfahrzeugen des Kunden appliziert werden. Damit ist es möglich, den Schienenzustand in kurzer Zeit und mit vergleichsweise geringem Aufwand netzweit zu erfassen. Die Ergebnisse bilden eine optimale Grundlage für die Planung von Instandhaltungstätigkeiten sowie die Kontrolle der Effektivität der ausgeführten Maßnahmen. Der zweite Teil des Konzepts umfasst die Durchführung von Schienenfräsarbeiten in Gleisen und Weichen. Diese Tätigkeit garantiert eine besonders sorgfältige Bearbeitung der Schiene. Durch den Fräsprozess können – nahezu unabhängig

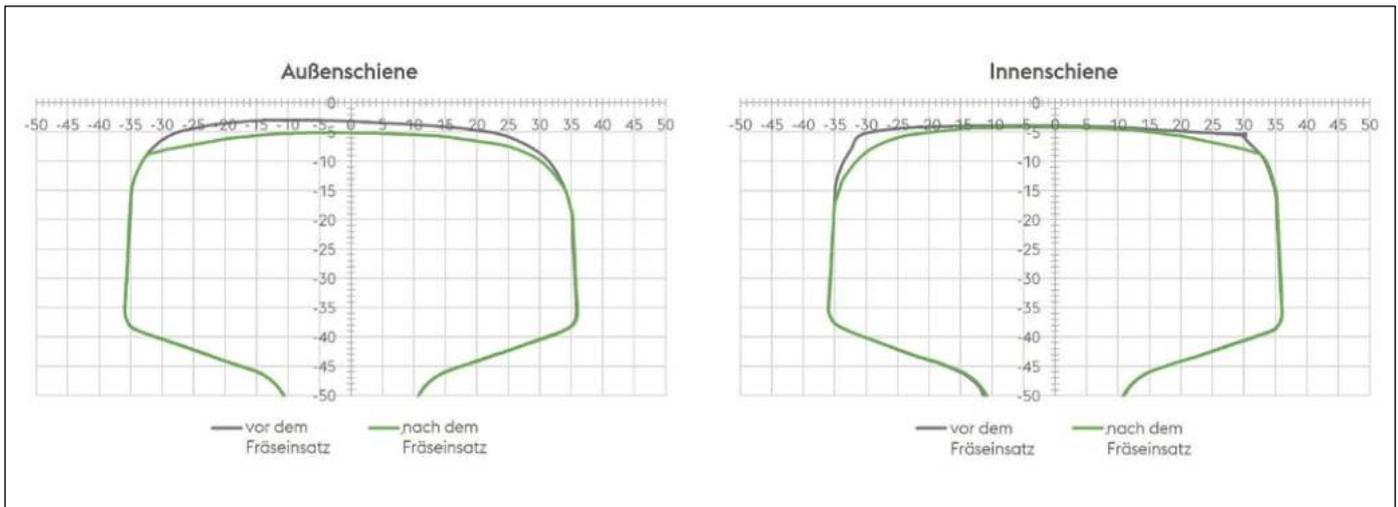


Abb. 5: Schienenquerprofil vor und nach dem Fräsen

Quelle: voestalpine

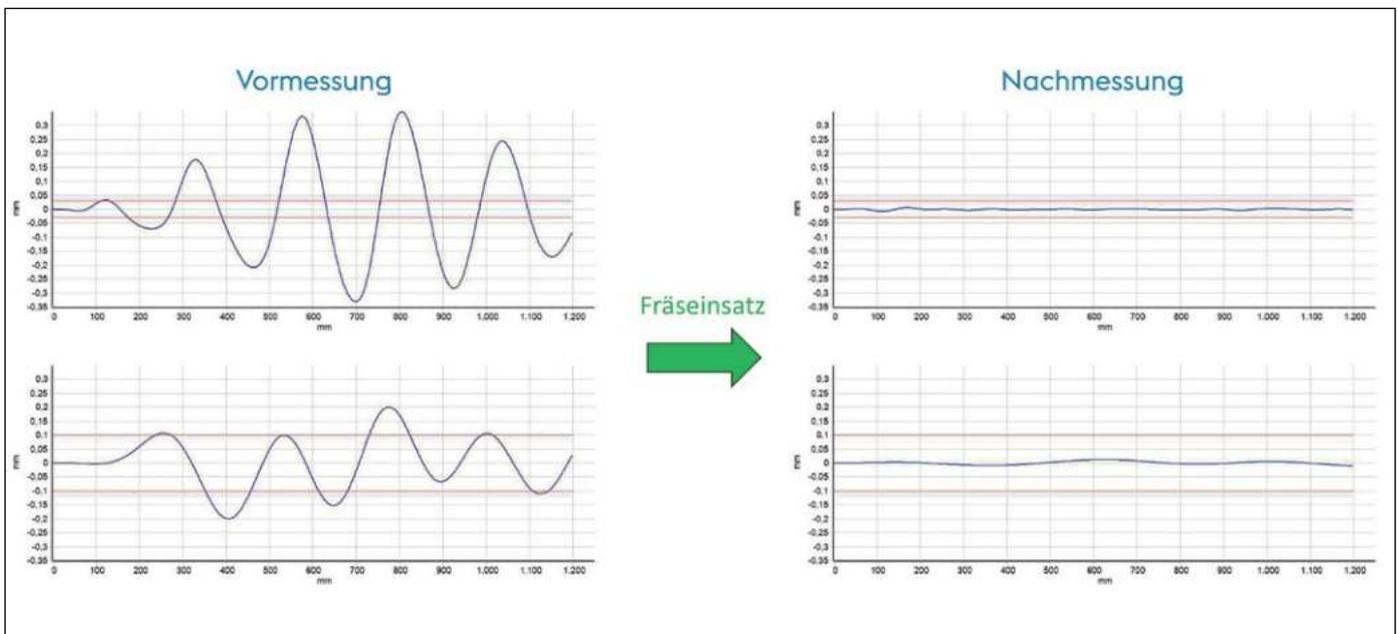


Abb. 6: Schienenlängsprofil vor und nach dem Fräsen

Quelle: voestalpine

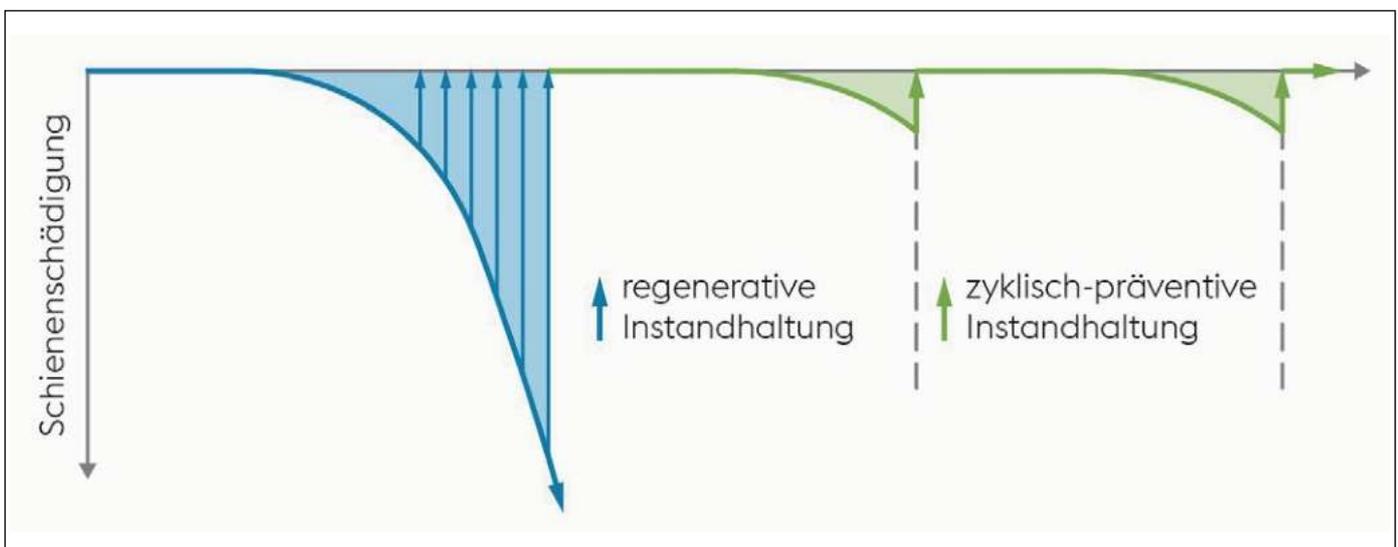


Abb. 7: Regeneratives und darauf folgend zyklisch-präventives Instandhaltungsregime

Quelle: voestalpine

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für PJ Messtechnik GmbH, Transports Metropolitan de Barcelona, voestalpine /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

von der Ausgangsqualität – Schienenfehler komplett entfernt und kann ein quasi neuwertiger Schienenzustand hergestellt werden. Dieses regenerative Instandhaltungsregime bildet eine essenzielle Voraussetzung zur Verringerung von Lärm und Vibrationen, zur Verlängerung der Nutzungsdauer der Schiene und somit zur Optimierung von Verfügbarkeit und Lebenszykluskosten sowie zur Reduktion der Umweltbelastung. Dieses gesamtheitliche Mess- und Instandhaltungskonzept wird bei der Metro Barcelona mit großem Erfolg eingesetzt. ■

#### QUELLEN

- [1] Wundersamer, J.: Rail performance monitoring: paving the way for advance track solutions, Global Railway Review, Volume 25, Issue 03, S. 56-58  
 [2] Girsch, G.; Jörg, A.: Heat-treated rails – technology and economic benefits, Rail Technology Review, 01/2012, S. 38-40  
 [3] EN 13231-3, Bahnanwendungen – Oberbau – Abnahme von Arbeiten – Teil 3: Abnahme von reprofilierten Schienen im Gleis, Version: 2012-03-15  
 [4] Grassie, S.; Kalousek, J.: Rail corrugation: characteristics, causes and treatments, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, June 1993  
 [5] Stock, R.: Schienenfrästechnik im innerstädtischen Bereich, EI 07/2020, S. 42-45  
 [6] Moser, P.; Stock, R.: High Performance Milling: Mobiles Schienenfräsen der nächsten Generation, EI 05/2019, S. 61-64  
 [7] Stock, R.; Rupp, T.; Wundersamer, J.: Regenerative Schienenpflege bei Stadtbahnen, EI 03/2021, S. 16-19



#### Mag. Hubert Oberhuber

Projektmanager Schienenfräsen  
 voestalpine Track Solutions  
 Germany GmbH, Weyhe  
 hubert.oberhuber@voestalpine.com



#### Prof. Eng. Jordi Orta

Verantwortlicher im Bereich  
 Oberbauprojekte  
 Transports Metropolitans  
 de Barcelona, ES-Barcelona  
 jorta@tmb.cat



#### DDI Dr. Johannes Neuhold

Solution Consulting  
 voestalpine Railway Systems GmbH,  
 AT-Leoben  
 j.neuhold@voestalpine.com



#### DI Dr. Daniel Brandl

Messungen und Datenanalyse  
 PJ Messtechnik GmbH, AT-Graz  
 brandl@pjm.co.at



#### DI Benedikt Schönhuber

Messungen und Datenanalyse  
 PJ Messtechnik GmbH, AT-Graz  
 schoenhuber@pjm.co.at

# RAILWAY DIAGNOSTIC AND MONITORING CONFERENCE 2022

06. + 07. APRIL 2022

EMPIRE RIVERSIDE HOTEL, HAMBURG

JETZT  
 ANMELDEN



JETZT ANMELDEN UNTER:  
[WWW.EURAILPRESS.DE/VERANSTALTUNGEN](http://WWW.EURAILPRESS.DE/VERANSTALTUNGEN)

