

# Entwicklung eines Prototyps zur Oberflächenbearbeitung von Schienen im urbanen Raum

Straßenbahn- und Light-Rail-Systeme erleben eine Renaissance. Der Erfolg stellt die Infrastrukturbetreiber allerdings vor neue Herausforderungen. Gerade in dicht besiedelten Bereichen ist der Lärmschutz essenziell. Die Schienenpflege zum Lärmschutz gewinnt zunehmend an Bedeutung. Immer längere Betriebszeiten erfordern ein Umdenken bei der Instandhaltung. Neue Technologien müssen entwickelt und auf den Markt gebracht werden.



Das Bedürfnis nach Mobilität ist in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen und aktuelle Studien zeigen das kontinuierliche Wachstum der Städte. 2050 sollen bereits zwei von drei Menschen in Städten leben. Das stellt die Verkehrsplanung von urbanen Bereichen vor große Herausforderungen. Eine Antwort darauf ist die Errichtung von schienengebundenen Nahverkehrsmitteln. Sie lassen sich durch ihre Systemeigenschaften perfekt dazu nutzen, große Verkehrsaufkommen abzuwickeln.

Neben dem verstärkten Aus- und Neubau von U-Bahnen erleben auch Straßenbahnnetze und Light-Rail-Systeme (LRT) in den letzten Jahren einen neuen

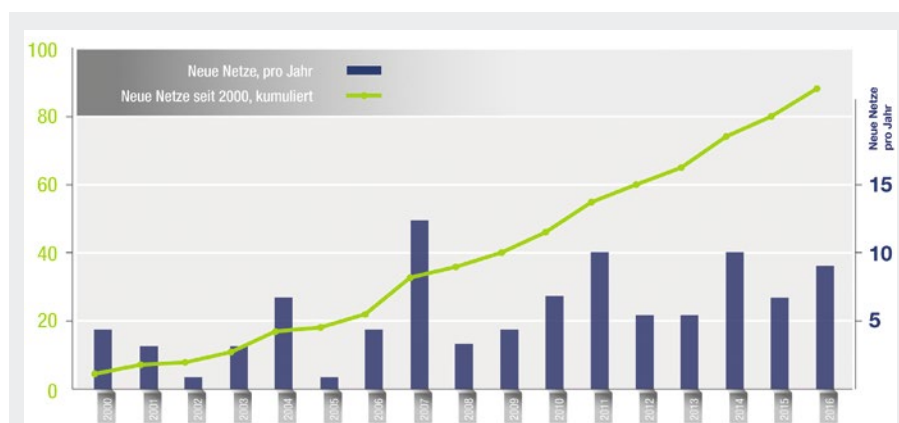
Aufschwung. Die Shift2Rail-Studie zum Thema „Worldwide evolution of light rail transit (LRT) networks“ [1] bestätigt die positive Entwicklung. Seit dem Jahr 2000 konnte ein überproportionales Wachstum neuer Straßenbahn- und LRT-Systeme beobachtet werden. Zudem konnte herausgefunden werden, dass zu Beginn eher LRT-Systeme errichtet wurden. Mittlerweile hat sich der Trend jedoch zugunsten der niveaugleichen Straßenbahnsysteme verschoben. Die Studie prognostiziert darüber hinaus ein beträchtliches Wachstum für die Erweiterung bereits bestehender Systeme. Bild 1 zeigt die im Rahmen der Studie erstellte Entwicklung der Straßenbahn- und LRT-Systeme. [2]



**Dipl.-Ing. Bernhard Antony**  
 Head of Technology  
 Centre Purkersdorf,  
 Plasser & Theurer, Wien  
 bernhard.antony  
 @plassertheurer.com



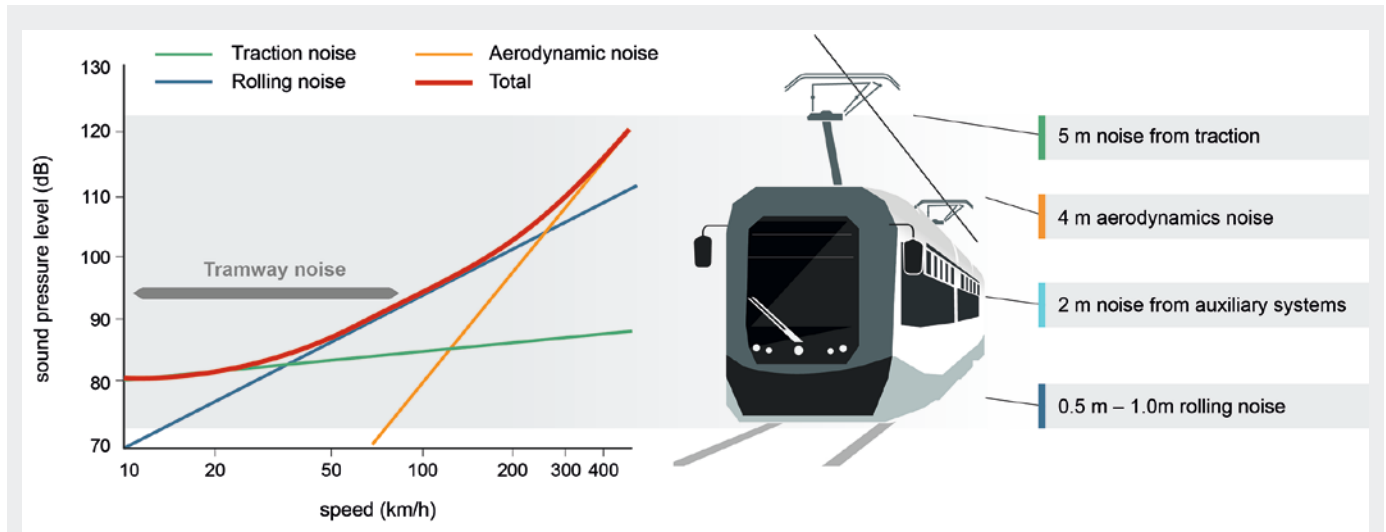
**Dipl.-Ing. Dr. Fabian Hansmann**  
 Senior Expert Track Technology  
 Plasser & Theurer, Wien  
 fabian.hansmann  
 @plassertheurer.com



1: Entwicklung weltweiter Straßenbahn- und LRT-Systeme von 2000 bis 2016 [1]

Mit der Schaffung neuer Straßenbahn- und LRT-Systeme kommen auch zusätzliche Herausforderungen auf die Planer und Betreiber zu. Gerade in dicht besiedelten Bereichen nimmt der Lärmschutz einen immer größeren Stellenwert ein. Maßnahmen, wie sie allerdings bei der Vollbahn eingesetzt werden (z.B. Lärmschutzwände), sind jedoch aufgrund der innerstädtischen Rahmenbedingungen nur schwer umzusetzen. Oberstes Gebot bleibt der Schutz der Menschen, denn in der Europäischen Union sind mindestens 100 Millionen Menschen direkt vom Straßenlärm betroffen. [3]

In der Umgebungslärmrichtlinie der Europäischen Union sind die Beurteilungsschwellen für die Bewertung der



2: Quelle der Lärmemissionen bei Schienenfahrzeugen in Abhängigkeit zur Fahrgeschwindigkeit [4]

gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen festgelegt. Schädigender Umgebungslärm kann unter anderem zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hörschäden und Tinnitus sowie Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit führen. Auch Schlafstörungen sind eine häufige Erscheinung. [3]

Bei Straßenbahn- und LRT-Systemen entsteht bei der Überfahrt durch den Kontakt des Stahlrades mit der Schiene Körper- und Luftschall. Die Schallausbreitung wird wesentlich durch die „Glattheit“ der Schiene und Räder beeinflusst. Je rauer Räder und Schienen sind, desto mehr werden sie zur Schwingung und in weiterer Folge zur Schallausbreitung angeregt. So entstehen bei fehlerfreien Schienen geringere Schallemissionen. Die Radreifen können durch regelmäßiges Abdrehen glatt gehalten werden. Dies ist insbesondere im Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h von Bedeutung, da hier das Rollgeräusch maßgebend ist (siehe Bild 2). [4]

**Wie entstehen Schienenfehler?**

Durch das Befahren der Schienen in Verbindung mit der statischen und dynamischen Beanspruchung kommt es zum Verschleiß der Schiene. Bemerkbar macht sich dieser unter anderem in Form von Veränderungen der Gefügestruktur, mechanischen Spannungen und Verfestigungen, die beispielsweise die Rissbildung fördern. Die im Light-Rail-Sektor am häufigsten auftretenden Schienenfehler unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Ausprägung von jenen

an Vignolschienen im Vollbahnbereich. Zu den bekanntesten Schienenfehlern im Light-Rail-Sektor zählen [2]:

- **Schleuderstellen** – Diese entstehen beim Übergang von der Haft- zur Gleisreibung der angetriebenen Achsen. Dabei kommt es zum Durchdrehen der Räder. Aufgrund der vergleichsweise großen Beschleunigungen beim Anfahren und Bremsen von Straßenbahnen sind Schleuderstellen häufig anzutreffende Schäden.
- **Riffel** – Darunter versteht man periodische Fahrbahnebenheiten mit einer Wellenlänge von 3 bis 30 cm. Bei Rillenschienen im urbanen Bereich herrschen Wellenlängen von etwa 5 cm vor. Diese Schienenfehler wirken sich besonders markant auf die Schallemissionen und die Lebensdauer der Schienen aus.
- **Schienenbrüche** – Schienenbrüche treten in urbanen Netzen relativ häufig auf. Einfluss darauf haben die Temperatur- und Lagerungsbedingungen sowie die Belastungsgeschichte, die Schienenform und Schienenbeschaffenheit. Auch mangelhaftes Verschweißen von Schienensegmenten kann zu Schienenbruch führen.

Durch die Schienenfehler kommt es zu einer erhöhten dynamischen Beanspruchung des Fahrweges und der Fahrzeuge. Diese führt zu einem höheren Geräuschpegel im Fahrzeug und einer größeren Lärmemission für die Anrainer von Straßenbahn- und LRT-Systemen. Zudem wirken

die Schienenfehler negativ auf die Lebensdauer der Schiene. [2] Die Eingriffsschwelle zur Behebung von Schienenfehlern mittels Schienenschleifen ist unter anderem durch Längsprofilfehler von 0,10 mm definiert. Beim akustischen Schienenschleifen liegt die Eingriffsschwelle deutlich unterhalb der oberbautechnischen Eingriffsschwelle. [5]

**Welche Schleifverfahren gibt es zur Schienenoberflächenbehandlung?**

Beim Schienenschleifen im Light-Rail-Sektor wird zwischen drei Verfahren unterschieden [2]:

- **Rutschersteinverfahren** – Die Schleifsteine werden auf die Schienenoberfläche angedrückt und im Anschluss wird das Netz befahren. Bei dieser Methode erfolgt ein minimaler Materialabtrag im Mikrometerbereich. Ziel ist es, eine glatte Schienenoberfläche herzustellen. Die Arbeitsgeschwindigkeit von 30 km/h ermöglicht es, diese Methode auch während der Betriebszeiten einzusetzen.
- **Rotorisches Schleifen** – Durch rotierende Schleifscheiben am Schienenprofil wird bei dieser Methode ein Materialabtrag von bis zu 0,2 mm pro Überfahrt erzielt. Auch ein Reprofilieren des gesamten Fahrkopfes der Schiene ist bei dieser Technologie möglich. Im Vergleich zum Rutschersteinverfahren ist die Schienenoberfläche jedoch rauer. Dadurch sind die Lärmemissionen nach dem rotorischen Schleifen höher als beim Rutschersteinverfahren.

- Oszillierendes Schleifen – Beim oszillierenden Schienenschleifen werden die Schleifsteine ebenfalls auf die Schiene angedrückt und zusätzlich in Richtung der Schienenachse oszilliert. Für die Schleifwirkung ist keine Mindestgeschwindigkeit erforderlich. Im Vergleich zum Rutschersteinverfahren kann aufgrund der oszillierenden Bewegung ein erhöhter Materialabtrag erzielt und gleichzeitig eine ähnlich glatte Schienenoberfläche hinterlassen werden. Die Lärmemissionen nach dem Schienenschleifen werden somit auf ein absolutes Minimum reduziert.

Generell gilt: Nicht die Schienen bearbeiten, um Fehler zu beheben, sondern die Schienen bearbeiten, um keine Fehler zuzulassen. [5] Das bedeutet, dass Schienen präventiv regelmäßig zur Pflege geschliffen werden sollten, damit Fehler erst gar nicht auftreten bzw. bereits in einem frühen Stadium behoben werden.

**Welche Herausforderungen gibt es im urbanen Bereich bei der Schienepflege?**

Im Stadtbereich stellt das Schienenschleifen die Betreiber im Gegensatz zur Vollbahn vor ganz andere Anforderungen. Die wichtigsten Unterschiede sind im Vergleich:

- Das Lichtraumprofil variiert sehr nach den örtlichen Gegebenheiten.
- Oftmals handelt es sich um kleine Netze mit divergierenden Anforderungen.

- In einem Streckennetz finden sich verschiedene Schientypen (Vignolschiene und häufig Rillenschiene).
- Häufig sind enge Bogenradien (bis zu einem Durchmesser von z.B. 17 m) anzutreffen.
- Gemeinsame Umgebung mit dem Autoverkehr sowie die Nähe zu Fußgängern sind zu beachten.
- Die Schienen sind in die Straßendecke eingelassen.
- Meistens sind keine Lokomotiven verfügbar, um Maschinen zu ziehen. Hingegen stehen häufig Unimog-ähnliche Fahrzeuge zur Verfügung.
- Die Geschwindigkeits- und Fahrvorschriften unterliegen den Straßenverkehrsgesetzen.
- Die maximalen Achslasten (z.B. 10 kN) sind deutlich geringer.
- Die Instandhaltungsfenster sind kurz.

Diese infrastrukturseitigen Rahmenbedingungen machen die Entwicklung einer Schleifmaschine für den Einsatz auf Straßenbahn- und LRT-Netzen zu einer Herausforderung. Dazu kommen betriebliche Einschränkungen bei der Durchführung der Schleifarbeiten. Diese sind im Mischverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern bei verschiedenen Geschwindigkeitswerten (bis fast 0 km/h) mit gleichbleibender Qualität durchzuführen, ohne das Ergebnis negativ zu beeinflussen oder den laufenden Betrieb einzuschränken. Aufgrund kurzer oder nicht vorhandener Sperrpausen müssen

Arbeiten im normalen Betrieb und unter Verkehr erfolgen.

**ATMO –im Rahmen von Shift2Rail entwickelter Schienenschleifanhänger**

In der 2016 gestarteten, aus europäischen Fördermitteln Horizon 2020 (H2020) unterstützten europäischen Shift2Rail-Technologieinitiative (S2R) werden Projekte zu Verbesserungen jeder Art im Rad-Schiene-System umgesetzt. Ein Ergebnis ist der Schienenschleifanhänger ATMO (Automatic Track Machine Oscillator). Dieser wurde im Rahmen von Shift2Rail durch Plasser & Theurer entworfen und gebaut. Das Design des Anhängers basiert auf den besonderen Anforderungen von Straßenbahnsystemen. Der minimale Arbeitsradius der Maschine liegt daher bei unter 17 m, wofür eine Neuentwicklung der bereits bekannten oszillierenden Schleifaggregate erforderlich war. Im Gegensatz zum herkömmlichen Oszillationsantrieb wurde beim Prototyp ein völlig neuer Weg zur Erzeugung der Frequenz und Amplitude gewählt. Aufgrund der geometrischen Rahmenbedingungen musste der Schleifschlitten (siehe Bild 3) so ausgeführt werden, dass die in engen Bögen geführten Schleifsteine die Ideallinie nicht verlassen und die Schienenoberfläche optimal bearbeitet werden kann. Neben dem oszillierenden Schleifen kann die Maschine auch im Rutschersteinverfahren betrieben werden und bietet somit größtmögliche Flexibilität hinsichtlich Materialabtrag und Arbeitsgeschwindigkeit.

Bei der Auswahl der Zugfahrzeuge wurde ebenfalls auf hohe Flexibilität geachtet. So ist es möglich, den Anhänger sowohl mit konventionellen schienengebundenen als auch mit – üblicherweise im Straßenbahnbereich verwendeten – Zweifahrzeugen zu ziehen. Der Betrieb der Aggregate erfolgt über eine eigene Energieversorgung am Anhänger. Diese wird beim Prototypen über einen Dieselmotor erzeugt, soll aber bei der späteren Seriumsetzung auch als elektrische Variante erhältlich sein. Mit einer gesamten Länge von knapp über 8 m und einer Gesamtmasse von 18 t ist das Fahrzeug ideal auf den Einsatz im innerstädtischen Bereich abgestimmt. Das für den Nassschliff erforderliche Wasser wird beim ATMO in einem 2600 l fassenden Tank mitgeführt. Diese Menge ist ausreichend für eine Schichtleistung von ca. sechs Stunden und kann bei Bedarf an jedem Hydranten wieder aufgefüllt werden.



3: Schleifaggregate des oszillierenden Schleifanhängers ATMO

Mit dem Prototyp-ATMO konnten die ersten Funktionstests bereits am Betriebsgelände der Wiener Linien erfolgreich durchgeführt werden. Die in der ersten Testphase gemachten Erfahrungen beim Schleifverhalten in engen Bögen, Kreuzungen und Weichen wurden zur weiteren Optimierung der Technologie und Verbesserung des Schleifergebnisses genutzt. Im Mittel konnte pro Schleifüberfahrt ein Abtrag von 0,011 mm erzielt werden. Bild 4 zeigt im linken Bild die Schienenoberfläche vor der Schleifung mit dem ATMO und auf der rechten Seite danach. Das Ziel der zweiten Testphase ist es, Erfahrungen im Betriebsgleis zu sammeln und die optimale Parametereinstellung von Frequenz, Amplitude, Auflast, Schleifsteinzusammensetzung und Schleifgeschwindigkeit zu identifizieren. Um dies zu erreichen, wird der ATMO die Straßenschienen im Netz der Wiener Linien schleifen. Die Qualität der Schleifung wird über die Messung der Geradlinigkeit beurteilt. Zudem ist vorgesehen, Lärmmessungen durchzuführen, um den Effekt des Schienenschleifens auf die Lärmreduktion darstellen zu können. Dafür soll vor und unmittelbar nach der Maßnahme gemessen werden. Zur Erfassung der weiteren Entwicklung ist geplant, zusätzliche Lärmmessungen in regelmäßigen Abständen nach der Schleifung durchzuführen. Nach der erfolgreichen Absolvierung der zweiten Phase wird die Technologie im Regelbetrieb der Straßenbahn erprobt.



4: Das linke Bild zeigt die Schiene vor dem oszillierenden Schleifen, das rechte danach

nahme ist das oszillierende Schienenschleifen. Aufgrund der immer längeren Betriebszeiten werden die Wartungsfenster für solche Aufgaben zunehmend verkürzt. Gleichzeitig steigt jedoch der Bedarf für die Durchführung aufgrund des erhöhten Verkehrsaufkommens auf der Schiene. Um die Instandhaltung zukünftig unter laufendem Betrieb zu bewältigen, bedarf es neuer Technologien. Mit dem Schienenschleifanhänger-ATMO hat Plasser & Theurer im Rahmen von Shift2Rail einen Prototyp entwickelt, der genau auf die Erfüllung dieser Herausforderungen ausgerichtet ist. In umfangreichen Feldtests wird die Maschine weiter optimiert und die Wirksamkeit der Technologie mittels Messungen nachgewiesen.

Literatur

[1] In2Track – Final Report – „Enhanced inspection, maintenance and operation of track“; „Worldwide evolution of light rail transit (LRT) networks“; 2019  
 [2] F. Hansmann, J. Kehrer; „Aufleichten Schienen – Mobilitätsrückgrat der Städte“; ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 6/2018  
 [3] WHO; Environmental Noise Guidelines for the European Region; 2018  
 [4] UIC; Environmental Noise Directive Development of Action Plans for Railways; 2008  
 [5] D. Hartleben; „Präventives Schienenschleifen – Mittel zur Lärmreduzierung“; EI – Der Eisenbahningenieur 6/2010

Summary

Development of a prototype for the surface treatment of rails in urban areas

Streetcars and Light-Rail-systems are experiencing a renaissance. However, the success is facing the infrastructure operators with new challenges. Especially in densely populated areas, noise protection is essentially. Rail maintenance for noise protection is becoming more important. Ever longer operational life-cycles require a re-think in maintenance. New technologies have to be developed and brought to market.

Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Überfahrt von Straßenbahnen entsteht durch den Kontakt des Stahlrades mit der Schiene Körper- und Luftschall. Dieser kann von den Anrainern als störend empfunden werden und verursacht in besonders schweren Fällen sogar gesundheitliche Folgeerscheinungen. Zur Verringerung der Schallemissionen muss die Oberfläche der Schiene geglättet werden. Eine Maß-

ACKNOWLEDGEMENTS

Das dem Artikel zugrunde liegende Forschungsprojekt wurde im Rahmen von Shift2Rail von Plasser & Theurer durchgeführt. This project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 Programme Research and Innovation action under grant agreement No 730841.