

## Aspekte der Datenverarbeitung bei Radrauheitsmessungen

Christian Gutmann, Stefan Lutzenberger

Müller-BBM GmbH, christian.gutmann@mbbm.com

### Einleitung

Schienenverkehrslärm wird hauptsächlich durch das Rollgeräusch der Schienenfahrzeuge bestimmt. Dabei werden Rad und Schiene durch die Rauheit der Rad- und Schienenlauffläche zu Schwingungen angeregt und strahlen Luftschall ab. Insbesondere bei akustischen Typprüfungen spielen die Rad- und Schienenrauheiten eine entscheidende Rolle für das Vorbeifahrgeräusch. Lediglich die Erfassung der Schienenrauheiten ist in diesem Rahmen zum Standard geworden. Aufgrund der hohen Relevanz der Radrauheiten für die Vorbeifahrgeräusche sind besonders Schienenfahrzeughersteller daran interessiert, auch die Radrauheiten zu kennen. Derzeit ist die Messmethode für Radrauheiten nicht genormt und daher die Vergleichbarkeit verschiedener Messergebnisse nicht gewährleistet. Die Normung von Radrauheitsmessungen steht unmittelbar bevor. Im vorliegenden Beitrag werden für eine Standardisierung des Verfahrens Vorschläge mit praktischem Hintergrund bezüglich ausgewählter Themen der Datenverarbeitung dargelegt.

### Ziele einer Radrauheitsnorm

Ziel der Normung muss sein, ein Verfahren zu beschreiben, das exakte, repräsentative, reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse von Radrauheiten liefert. Die Ergebnisse müssen sich als Eingangsdaten für akustische Simulationen eignen. Daher ist auch die Vergleichbarkeit der Radrauheitspegel mit den Ergebnissen von Schienenrauheitsmessungen von Bedeutung.

Die Norm muss folgende Punkte eindeutig beschreiben:

- Auswahl der zu erfassenden Räder
- Messpositionen
- Datenerfassung
- Datenverarbeitung
- Darstellung der Ergebnisse

### Aspekte bei der Datenverarbeitung

Die Nachbearbeitung der Messdaten muss in einer Weise erfolgen, die die genannten Anforderungen gewährleistet. Es ist naheliegend, das bestehende Datenverarbeitungsverfahren der EN 15610 [1] für Schienenrauheiten, unter Berücksichtigung der spezifischen Charakteristika, für Radrauheitsmessungen anzupassen.

Folgende Schritte werden bei der Datenverarbeitung von Schienenrauheitsmessungen durchgeführt (EN 15610):

- Spitzenentfernung
- Krümmungskorrektur

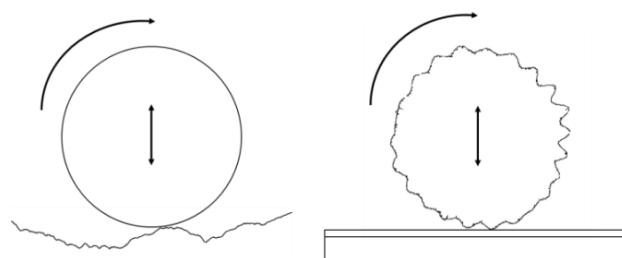
- Bereinigung des linearen Anstiegs und Beseitigung des Gleichanteils
- Anwendung der Fenster-Funktion nach Hanning
- Diskrete Fourier-Transformation (DFT)
- Bildung des Terz-Spektrums
- Mittelung von Messspuren (energetisch)

Es stellt sich die Frage, welche Bearbeitungsschritte bei der Anwendung auf Radrauheitsdaten direkt übernommen werden dürfen und welche Algorithmen ggf. angepasst werden müssen.

### Krümmungskorrektur

Die für ein Rad wirksame Rauheit hängt von dessen Radius ab. Bei Rauheitsmessungen werden Sensoren mit im Vergleich zu Schienenfahrzeugrädern kleinen Tastspitzen eingesetzt. Die für ein Rad wirksame Rauheit muss daher rechnerisch ermittelt werden. Dies gilt gleichermaßen für Schienen- wie auch für Radrauheitsmessungen.

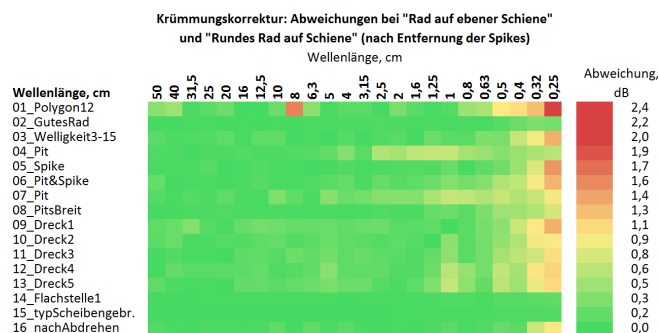
Beim Vergleich dieser Betrachtungsweise mit Schienenrauheitsmessungen muss beachtet werden, dass hier die „raue“ Oberfläche des Rades auf einer ebenen Schiene abrollt. Der Unterschied wird in Abbildung 1 verdeutlicht.



**Abbildung 1:** Die Krümmungskorrektur nach EN 15610 betrachtet die Oberfläche eines runden Rades, das auf der „rauen“ Oberfläche der Schiene abrollt (links). In der Situation einer gemessenen Radrauheit rollt die „raue“ Oberfläche des Rades auf einer ebenen Schiene (rechts).

Die Relevanz dieser Überlegung wurde untersucht, indem verschiedene Radrauheitsmessdaten mit den beiden Varianten der Krümmungskorrektur nachbearbeitet und deren Terzspektren gegenübergestellt wurden. Dabei wurden Messdaten an 16 verschiedenen Rädern mit möglichst unterschiedlichen Oberflächenrauheiten erfasst. Unter den ausgewählten Rädern befinden sich z. B. ein polygonisiertes Rad, ein Rad mit sehr glatter Lauffläche, ein Rad mit einer stark ausgeprägten Wellenlänge von 3,15 cm, ein Rad mit Pits und ein typisches scheibengebremstes Rad. Die Auswertung der Messdaten erfolgte nach der oben beschriebenen Nachbearbeitung gemäß EN 15610 (ohne Anwendung der Hanning-Fensterfunktion) und nach gleicher Vorgehensweise mit geänderter Krümmungskorrektur.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass sich durch die Nachbearbeitung mit den unterschiedlichen Varianten der Krümmungskorrektur Abweichungen größer als 2 dB in einzelnen Terzbändern ergeben können. Die größten Einflüsse zeigten sich bei einem polygonisierten Rad mit 12. Ordnung bei einer Wellenlänge von 0,25 cm und 8 cm.



**Abbildung 2:** Die Verwendung der unterschiedlichen Krümmungskorrekturen können zu Abweichungen größer als 2 dB in einzelnen Terzbändern führen.

### Bereinigung des Trends und Fensterfunktion

Theoretisch müssten die Messwerte am Beginn und am Ende der Messung (nach einer Radumdrehung) nahezu identisch sein. In der Praxis tritt hier jedoch häufig ein Versatz auf. Ein Versatz kann verschiedene Ursachen haben:

- Nachgiebige Lagerung des Radsatzes für die Messung (z. B. Einsinken eines Hydraulikkolbens oder Setzungseffekt).
- Spiel/Toleranz/Defekt in den Radlagern.
- Sonstige mechanische Einwirkungen auf die Radachse (z. B. Kräfte beim Drehen der Achse, Bewegungen von Personen im Fahrzeug, ...).

Im Spektrum bewirkt ein Versatz eine starke Erhöhung der Rauheitspegel. Daher ist eine Strategie für die Behandlung eines Versatzes erforderlich<sup>1</sup>.

Zur Behandlung des Versatzes ist es wichtig, die verschiedenen Ursachen getrennt zu betrachten.

Eine Setzung kann verschiedene Verläufe wie einen linearen Trend oder einen Verlauf mit Potenzfunktion verursachen.

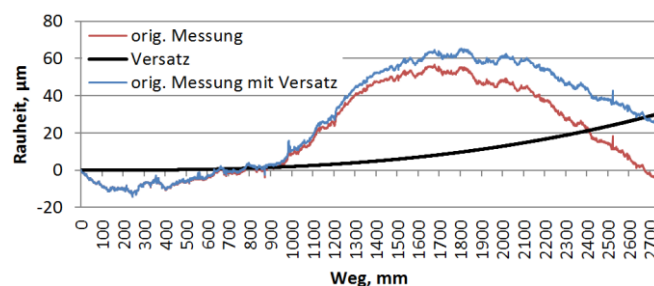
Auswirkungen der mechanischen Kräfte beim Drehen des Rades auf das Messsignal können durch Reproduzierbarkeitstests untersucht werden. Dabei werden mehrere Messungen durchgeführt, wobei unterschiedliche Kräfte beim Drehen der Räder aufgebracht werden. Ein Einfluss kann ausgeschlossen werden, wenn mehrere Messungen nahezu identische Ergebnisse liefern. Der Aufenthalt von Personen im Fahrzeug während der Messung ist auszuschließen.

<sup>1</sup> Es ist naheliegend, keine Hanning-Fensterfunktion auf Radrauheitsmessdaten anzuwenden, da das Rad infolge der Wiederholung je Umdrehung eine Periodizität aufweist. Durch ein Hanning-Fenster würden zudem Messdaten ggf. nicht der Realität entsprechend gewichtet werden.

Ein Versatz infolge von Spiel, Toleranzen oder Defekten in den Lagern tritt selten auf. Diese Effekte können alternierende Versätze bei Reproduzierbarkeitstests bewirken. In diesem Fall ist die Auswirkung auf das Messergebnis zu bewerten.

Es stellt sich die Frage, in welchen Fällen eine Korrektur des unbekanntem Setzungsverlaufes durch eine lineare Funktion zu relevanten Fehlern führt. In einer Untersuchung wurden die Auswirkungen verschiedener künstlich erzeugter Trendfunktionen, welche die Messergebnisse überlagern, analysiert:

- Verlauf mit Potenzfunktion: Funktionen  $y=x^e$  und  $y=x^6$ , Versatz jeweils 25  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$ .



**Abbildung 3:** Beispiel für die Untersuchung der Trendfunktion  $y=x^e$  mit einem Versatz von 25  $\mu\text{m}$ .

Die Ergebnisse der Untersuchung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Verlauf mit Potenzfunktion: vernachlässigbare Auswirkungen im Wellenlängenbereich von 16 cm bis 0,25 cm ( $< 0,3$  dB). Erst bei Wellenlängen von 31,5 cm deutliche Abweichung (1,0 dB bis 3,6 dB).

### Schlussfolgerungen

Bei der Übertragung der Datenverarbeitung von Schienenrauheits- auf Radrauheitsmessungen sind folgende Aspekte zu beachten:

- Die Krümmungskorrektur sollte angepasst werden (Betrachtungsweise: „raues Rad auf ebener Schiene“).
- Keine Anwendung der Hanning-Fensterfunktion.
- Die lineare Trendkorrektur führt der vorliegenden Untersuchung zufolge zu keinen relevanten Fehlern im Wellenlängenbereich von 0,25 cm bis 16 cm. Voraussetzung: Ausschließen von Einflüssen durch sonstige mechanische Einwirkungen während der Messung (z. B. Reproduzierbarkeitstests).

### Literatur

[1] EN 15610, Railway applications - Noise emission - Rail roughness measurement related to rolling noise generation; EN 15610:2009

[2] GUTMANN C., LUTZENBERGER S.: Practical aspects of acoustical wheel roughness measurements, Müller-BBM GmbH, AIA-DAGA 2013