

DIN EN 15610

ICS 17.140.30; 93.100

Einsprüche bis 2017-11-15
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 15610:2009-08

Entwurf**Bahnanwendungen –****Akustik –****Messung der Schienen- und Radrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen;****Deutsche und Englische Fassung prEN 15610:2017**

Railway applications –

Acoustics –

Rail and wheel roughness measurement related to rolling noise generation;
German and English version prEN 15610:2017

Applications ferroviaires –

Acoustique –

Mesurage de la rugosité des rails et des roues relative à la génération du bruit de roulement;
Version allemande et anglaise prEN 15610:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-09-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 73 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)
DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15610:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-07 AA „Geräuschemissionsmessungen an spurgebundenen Fahrzeugen einschließlich Messungen im Fahrgastraum und am Arbeitsplatz“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) verantwortlich.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15610:2009-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich überarbeitet;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Begriffe überarbeitet;
- d) Abschnitt 5 inhaltlich überarbeitet;
- e) neuer Abschnitt 6 aufgenommen;
- f) Abschnitt 9 inhaltlich überarbeitet;
- g) informativer Anhang B gelöscht;
- h) informativer Anhang C „Bestimmung der kombinierten Rauheit (und Kontaktfilter)“ aufgenommen;
- i) informativer Anhang D „Quantifizierung von Messunsicherheiten nach ISO/IEC Guide 98-3:2008“ aufgenommen;
- j) informativer Anhang E „Beispiel eines Berichtsblatts zur Schienenrauheit“ aufgenommen;
- k) informativer Anhang ZA überarbeitet;
- l) Literaturhinweise aktualisiert und ergänzt;
- m) Dokument an die aktuell gültigen Gestaltungsregeln angepasst.

Bahnanwendungen — Akustik — Messung der Schienen- und Radrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen

Applications ferroviaires — Acoustique — Mesurage de la rugosité des rails et des roues relative à la génération du bruit de roulement

Railway applications — Acoustics — Rail and wheel roughness measurement related to rolling noise generation

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8l

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole	8
5 Schienenrauheit	8
5.1 Anforderungen an das Messsystem	8
5.2 Datenerfassung	9
5.3 Datenverarbeitung	13
6 Radrauheit	16
6.1 Anforderungen an das Messsystem	16
6.2 Messdatenerfassung	17
6.3 Datenverarbeitung	19
7 Abnahmebedingungen	21
7.1 Schienenrauheit	21
7.2 Radrauheit	22
8 Darstellung des Spektrums der Schienen- und Radrauheit	22
9 Prüfbericht	22
9.1 Schienenrauheit	22
9.2 Radrauheit	23
Anhang A (informativ) Beispiele für eingegrenzte geometrische Merkmale	24
Anhang B (normativ) Algorithmus für die Herstellung eines Terzbandspektrums nach einer Schmalbandanalyse für Schienen-Rauheit	26
Anhang C (informativ) Bestimmung der kombinierten Rauheit (und Kontaktfilter)	27
Anhang D (informativ) Quantifizierung von Messunsicherheiten nach ISO/IEC Guide 98-3:2008	29
D.1 Allgemeines	29
D.2 Mathematisches Modell	30
D.3 Bestimmung der Standardunsicherheiten	30
D.4 Bestimmung der kombinierten Standardunsicherheit	31
D.5 Bestimmung der erweiterten Unsicherheit	32
Anhang E (informativ) Beispiel eines Berichtsblatts zur Schienenrauheit	33
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2008/57/EG	34
Literaturhinweise	35

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15610:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 15610:2009 ersetzen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2008/57/EG siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Europäische Norm legt ein direktes Verfahren zur Charakterisierung der Rauheit der Rad- und Schienenfahrfläche im Hinblick auf das Rollgeräusch fest („Akustische Rauheit“), dargestellt in Form eines Terzspektrums.

Die vorliegende Norm gibt ein Verfahren an zur:

- a) Auswahl der Messpositionen entlang einer Strecke oder Auswahl der Räder eines Fahrzeugs;
- b) Auswahl der Messpositionen in Querrichtung;
- c) Messwerterfassung;
- d) Verarbeitung der Messwerte mit dem Ziel, eine Reihe von Rauheits-Terzspektren abzuschätzen;
- e) Darstellung dieser Schätzung zum Vergleich mit Grenzen der akustischen Rauheit;
- f) Vergleich in Bezug auf eine obere Grenze, die als Terzspektrum über der Wellenlänge vorgegeben ist;
- g) Anforderung an das Messsystem.

1.2 Sie ist anwendbar zur:

- a) Güteprüfung von Referenz-Gleisabschnitten in Bezug auf die Abnahmeprüfung für Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen;
- b) Güteprüfung von Gleisabschnitten in Bezug auf Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen;
- c) Abnahme der Fahrflächenqualität, sofern die akustische Rauheit das Abnahmekriterium ist;
- d) Beurteilung der Radflächenbeschaffenheit als eine Eingabe für die akustische Abnahme von Bremsklötzen;
- e) Beurteilung der Rad-Schiene-Rauheit als eine Eingabe für die Berechnung der kombinierten Rad-Schiene-Rauheit;
- f) Diagnose von Rad-Schiene-Aspekten für bestimmte Gleise oder Räder;
- g) Beurteilung der Rad-Schiene-Rauheit als Eingabe für Rollgeräusch-Modellierung;
- h) Beurteilung der Rad-Schiene-Rauheit als Eingabe für Verfahren zur Geräuschquellentrennung.

1.3 Sie ist nicht anwendbar zur:

- a) Messung der Rauheit (Schienenrauheit, Radrauheit oder kombinierte Rauheit) mittels eines indirekten Verfahrens;
- b) Analyse der Auswirkungen von Rad-Schiene-Wechselwirkung, wie ein Kontaktfilter;
- c) Abnahmeprüfung der Rad-Schiene-Fahrflächenqualität nach erfolgter Reprofilierung, es sei denn, die akustische Rauheit ist ausdrücklich das Abnahmekriterium (und nicht die Schleifqualitätskriterien, wie z. B. in EN 13231-3);
- d) Beschreibung der Gleis- und Radgeometrie, es sei denn sie gehört zur Geräuschestehung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 61260-1, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven — Teil 1: Anforderungen (IEC 61260-1)*

EN ISO 266, *Akustik — Normfrequenzen (ISO 266)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Plattform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

akustische Rauheit

$r(x)$

Variation der Fahrfläche in ihrer Höhe im Hinblick auf die Anregung des Rollgeräusches, angegeben als Funktion der Längskoordinate x der Fahrfläche

3.2

Spektrum der akustischen Rauheit

$\tilde{r}(\lambda)$

Amplitude der akustischen Rauheit, angegeben als Funktion der Wellenlänge

3.3

Pegel der akustischen Rauheit

L_r

Pegel in Dezibel, entsprechend der folgenden Gleichung

$$L_r = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{r_{\text{RMS}}^2}{r_0^2} \right) \quad (1)$$

Dabei ist

L_r der Pegel der akustischen Rauheit in dB;

r_{RMS} der Effektivwert der Rauheit in Mikrometer (μm);

r_0 der Bezugswert der Rauheit; $r_0 = 1 \mu\text{m}$.

Anmerkung 1 zum Begriff Diese Definition gilt für Werte, die entweder als Wellenlängen-Terzspektrum oder für ein bestimmtes Wellenlängenband gemessen wurden.

3.4

kombinierte Rauheit

Funktion der akustischen Rauheit, die Rollgeräusch anregt

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie besteht aus drei Teilen: dem Pegel der Schienenrauheit, dem Pegel der Radrauheit und dem Kontakt-Filter.

3.5

Riffel

periodisches Verschleißmuster der Schienenfahrfläche

3.6

direkte Rauheitsmessverfahren

bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung der akustischen Rauheit, bei dem der Aufnehmer die Schienenoberfläche direkt abtastet, sodass entweder die Schienenrauheit oder die Radrauheit unabhängig von möglichen Auswirkungen der Rad-Schiene-Wechselwirkung gemessen wird

3.7

indirektes Rauheitsmessverfahren

bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung der akustischen Rauheit, bei dem eine Größe als Folge der Rad-Schiene-Wechselwirkung gemessen wird, wie etwa das Geräusch, Schiene oder die Schwingung der Radsatzlager-Gehäuse, woraus die ursprüngliche Anregung durch die kombinierte Rad-Schiene-Rauheit abgeleitet wird.

3.8

Teststrecke

Gleisabschnitt, an dem eine bestimmte Messreihe ausgeführt wird

3.9

RMS

(en: root means square, RMS)

wo Mittelung der Spektren erforderlich ist, muss ein R.M.S. Mittelwert in der Norm angegeben werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies wird für jedes Spektralband bestimmt als:

$$RMS = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_N^2}{N}} \quad (2)$$

Dabei ist

a eine Spektral-Amplitude und

N die Anzahl der Spektralbandwerte, aus denen der Mittelwert berechnet wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dem Pegel nach entspricht dies:

$$L_{average} = 10 \log_{10} \left(\frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_N/10}}{N} \right) \quad (3)$$

3.10

Fahrfläche

bezieht sich entweder auf einen Teil der Radlaufläche oder des Schienenkopfes, über den der Rad-Schiene-Kontakt während des Rollens erfolgt

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Fall der Schiene ist dies der glänzende Spiegel auf der Fläche des Schienenkopfes, die alle Fahrstellungen des Rad-Schiene-Kontakts umfasst, unter den üblichen Betriebsbedingungen des Schienenverkehrs.

3.11

teilweise eingefahrene Fläche

der Teil des Schienenkopfes außerhalb der Schienenlauffläche, von dem es scheint, als könnte er trotzdem durch vorbeifahrende Fahrzeuge betroffen werden

3.12

Referenzfläche

Oberfläche auf dem Schienenkopf innerhalb der Lauffläche, die zur Beurteilung der akustischen Rauheit gewählt wurde

3.13

Referenzlänge

Abmessung der Referenzfläche in Schienenlängsrichtung

3.14

Referenzbreite

w_{ref}

Abmessung der Referenzfläche in Schienenquerrichtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Bild 1 zeigt ein Beispiel einiger der festgelegten Begriffe:



Legende

- 1 Fahrfläche
- 2 Referenzfläche
- 3 teilweise eingefahrene Fläche

Bild 1 — Beispiel zur Darstellung der festgelegten Begriffe

4 Symbole

Symbol	Bedeutung
$C(x)$	Kreislinie, der für die Verarbeitung der Messwerte der akustischen Rauheit verwendet wird
d_{ref}	Position der Symmetrieachse in Längsrichtung der Referenzfläche in Bezug auf die Schienenaußenkante
h	Höhe einer Spitze
L_r	Pegel der akustischen Rauheit
$r(x)$	akustische Rauheit
$r'(x)$	akustische Rauheit nach Anwendung des Algorithmus zur Entfernung von Spitzen und zur Anpassung an die Krümmungen
w	Breite einer Spitze
w_{ref}	Breite der Referenzfläche
x	Längskoordinate der Schiene
x_i	bestimmte Stelle in Schienenlängsrichtung
z	Mittelwert der Höhe in einem gegebenen Abschnitt
$\tilde{r}(\lambda)$	diskrete Fouriertransformierte von $r(x)$
λ	Wellenlänge

5 Schienenrauheit

5.1 Anforderungen an das Messsystem

5.1.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt fasst die Anforderungen an das Messsystem und seine Kalibrierung zusammen. Die Messgeräte müssen regelmäßig überprüft und kalibriert werden.

5.1.2 Genauigkeit des Ausgangssignals

Das Messsystem muss in der Lage sein, gültige Messwerte für den Wellenlängenbereich und den akustischen Rauheitspegel der zu charakterisierenden Messstelle zu produzieren.

Wenn es jedoch ausreicht, die Einhaltung einer gegebenen oberen Grenze der geschätzten akustischen Rauheit nachzuweisen, muss das Messsystem gültige Messwerte in Form von Terzpegeln der akustischen Rauheit liefern, die gleich oder größer als die Grenzwerte sind. Dies gilt insbesondere bei der Abnahmeprüfung einer Teststrecke.

5.1.3 Abmessungen des Aufnehmers

Wenn ein Kontaktaufnehmer benutzt wird, muss seine Tastspitze sphärisch ausgeführt sein, und ihr Radius darf höchstens 7 mm betragen.

Bei einem berührungslosen Aufnehmer muss die tatsächliche Breite kleiner als der Abstand zwischen den einzelnen Abtastpunkten sein.

5.1.4 Bewegung des Aufnehmers

Das Messgerät muss den Aufnehmer auf dem Schienenkopf innerhalb einer Grenzabweichung von ± 1 mm entlang einer Spur führen, die parallel zur Außenkante des Schienenkopfes verläuft.

5.1.5 Abtastrate

Das Messsystem muss Daten mit einem Abtastintervall von kleiner oder gleich 1 mm, mit einer Genauigkeit, die nicht schlechter ist als 3 % ist, bereitstellen.

5.1.6 Abtastlänge

Das Messsystem muss Aufnahmen mit einer Länge ≥ 1 m bereitstellen können.

5.1.7 Kalibrierung und Rückverfolgbarkeit auf eine Nationale Messnorm

Die Kalibrierung muss mit den Anforderungen der betreffenden Normen die Genauigkeit und Compliance belegen für die Sensoren für die akustische Rauheit und das Messsystem der Abtastentfernung nachweisen, Sie müssen alle nach den Anforderungen ihrer jeweiligen Normen kalibriert werden.

Die Kalibrierung muss die Rückverfolgbarkeit auf eine nationale Messnorm oder Primärnormal umfassen. Dies muss anhand einer Referenz-Norm der Rauheit erfolgen (z. B. eines Stücks einer Referenzschiene oder eines Trägers.) Die Messung der Flächengeometrie der Referenz-Norm der Rauheit muss von einem Labor für nationale oder Primärnormal durchgeführt werden. Um die Messwerte mit einer Grenzkurve zu vergleichen, muss die Rauheit dieser Referenz-Norm einen messbaren Wert haben und darf nicht mehr als 10 dB über der jeweiligen Grenzkurve auf dem gesamten Bereich der Wellenlänge der Grenzkurve liegen.

Das Kalibrierungsverfahren muss dokumentiert werden. Die Dokumentation muss die Kalibrierung und die Prüfung aller Aspekte des Geräts einschließlich der Elektronik und der Verarbeitung rechtfertigen.

Ein Gerät muss immer neu kalibriert werden, wenn es repariert wurde oder ein Fehler, Schaden oder Verschleiß vermutet wird. Das Gerät muss spätestens 24 Monate nach der letzten Kalibrierung neu kalibriert werden.

5.2 Datenerfassung

5.2.1 Allgemeines

Das Ziel der Messdatenerfassung besteht darin, Aufzeichnungen der akustischen Rauheit beider Schienen der Teststrecke in digitaler Form zu erhalten. Diese wird mit einer ausreichend hohen Abtastrate (Stichproben pro Abtastlänge) über eine ausreichende Abtastlänge auf den Schienen gemessen, um daraus das Rauheitsspektrum zu berechnen. Die Abtastlängen müssen mindestens 1 m betragen, damit das abgeschätzte Wellenlängen-Terzspektrum den Bereich bis 0,25 m abdeckt.

Um Wellenlängen größer als 0,25 m zu erhalten, sollten größere Abtastlängen als die in diesem Abschnitt betrachteten eingeholt werden.

5.2.2 Anforderungen an die Teststrecke

5.2.2.1 Gleisaufbau

Die Oberbauform muss über die gesamte Teststrecke konstant sein, und zwar mindestens für die folgenden Parameter: Schienenquerschnitt, Schieneneinbauneigung und Schienenlagerung. Bei einem Schotteroberbau sind die Parameter, welche die Schienenlagerung bestimmen: die Art der Zwischenlagen, die Schienenbefestigung, der Schwellentyp, der Schwellenabstand sowie der Schotter.

Wenn eine Änderung im Gleisaufbau vorliegt, sollten getrennte Teststrecken festgelegt und die akustische Rauheit jeder Teststrecke gemessen und dargestellt werden.

5.2.2.2 Begrenzte geometrische Besonderheiten

Es gibt keine besondere Anforderung an die Teststrecke, dass sie frei von begrenzten Schäden sein muss. Allerdings darf sie örtlich begrenzte geometrische Besonderheiten aufweisen (z. B. Schweißnähte, großes Gefälle, Verbrennungen durch Räder), die für die Beurteilung der akustischen Rauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch nicht mit einbezogen werden sollten. Siehe Anhang A für eine Anleitung zu den Besonderheiten, die aus der Aufzeichnung weggelassen werden dürfen.

ANMERKUNG Die Geräuscentstehung bei örtlich begrenzten Schäden ist nicht linear abhängig von ihrer Amplitude im Vergleich zur allgemeinen Rauheit, sodass Schäden bei der Beurteilung der Quelle des Rollgeräuschs weniger signifikant sind.

5.2.3 Auswahl der Referenzfläche

5.2.3.1 Allgemeines

Die akustische Rauheit der Teststrecke muss innerhalb einer Referenzfläche ermittelt werden. Die Referenzfläche muss sich innerhalb der Lauffläche befinden und ist wie folgt bestimmt:

- a) Länge in Schienenlängsrichtung;
- b) Breite in Schienenquerrichtung w_{ref} ;
- c) Entfernung zur Schienenaußenkante d_{ref} .

ANMERKUNG Die Lauffläche darf breit sein und die Erfahrung zeigt, dass es erhebliche Unterschiede in der akustischen Rauheit im Hinblick auf die Querrichtung gibt. Es ist üblich, dass bestimmte Fahrzeuge nur Teile dieser Fläche nutzen. Deswegen ist es nach der Norm möglich, die Beurteilung nur für einen Teil der Lauffläche durchzuführen, der den Anforderungen eines bestimmten Tests, d. h. der Referenzfläche, entsprechen darf.

5.2.3.2 Fälle

Es liegt in der Verantwortung des Messteams, Länge, Breite und Position der Referenzfläche auf beiden Schienen festzulegen und diese Entscheidungen zu begründen.

ANMERKUNG Die Referenzlänge darf durch Normen gegeben werden.

Wenn die Rauheitsmessung im Rahmen der Typprüfung von Fahrzeugen notwendig ist, muss allerdings einer der folgenden Fälle für die Begründung herangezogen werden:

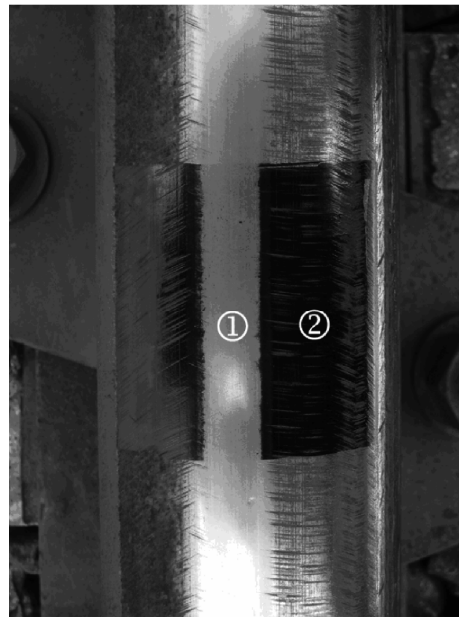
- a) Fall 1: Die Schienenfahrfläche (Spiegel) auf dem Schienenkopf ist deutlich zu erkennen und es ist bekannt, dass diese Fahrfläche von den zu prüfenden Schienenfahrzeugen hervorgerufen wird.

Die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene ist ungefähr 10 mm breit. Daher dürfen eventuell vorhandene, nur schwach glänzende Bereiche am Rand der Lauffläche, die schmaler als die Hälfte dieser Breite sind, nicht zur Lauffläche gezählt werden.

- b) Fall 2: Die Stelle des Rad-Schiene-Kontakts des untersuchten Zugs kann während der Abnahmeprüfung gemessen werden.

Es empfiehlt sich, mit einem Filzstift quer über die Schienenfläche eine Linie zu zeichnen, um die Stelle des Rad-Schiene-Kontakts zufriedenstellend anzuzeigen. Es wird empfohlen, die Kontaktstelle an beiden Enden des Prüfabschnitts zu ermitteln.

Bild 2 zeigt ein Anwendungsbeispiel für diese Methode.



Legende

- 1 tatsächliche Laufläche der Zugräder
- 2 Filzstiftmarkierung außerhalb der Rollfläche

Bild 2 — Beispiel für eine Markierung mit wasserfestem Filzstift auf der Schienenoberfläche

Bei der Abschätzung der Breite der Referenzfläche sollte die geringste, gleichmäßige Breite entlang des Prüfabschnitts verwendet werden.

- c) Fall 3: Die Stelle des Rad-Schiene-Kontakts kann während des Laufs auf dem Testgelände über eine Simulationsrechnung aus der Geometrie des Schienen- und Radprofils vorausgesagt werden.

Es gibt bestimmte Fälle (wie abgenutzte Radlauflächen oder Schienenköpfe), in denen die Kontaktposition auf dem Schienenkopf unregelmäßig ist. Solche Fälle sollten bei Abnahmeprüfungen vermieden werden, da sie zu erhöhten Unsicherheiten der Prüfbedingungen führen würden.

5.2.4 Datenerfassung

5.2.4.1 Allgemeines

Da die Voraussetzungen aus 5.2.2.1 erfüllt werden müssen, kann davon ausgegangen werden, dass eine reduzierte Stichprobe für beide Schienen repräsentativ ist. Da die verfügbaren Messsysteme die akustische Rauheit auf Spuren in Schienenlängsrichtung messen, muss zur Ermittlung der Streuung in Schienenquerrichtung die akustische Rauheit an einer begrenzten Anzahl einzelner Positionen in Querrichtung gemessen werden.

Das folgende Datenerfassungsverfahren der Streckenreferenz-Oberfläche muss zur Abtastung in Längs- und Querrichtung angewendet werden.

5.2.4.2 Abtastung in Längsrichtung

Die akustische Rauheit der Teststrecke muss anhand von mehreren, über die gesamte Referenzlänge verteilte Stichproben abgeschätzt werden. Um einen verlässlichen Schätzwert der Rauheit bis zu einer bestimmten Wellenlänge zu erhalten, wird eine Mindestabtastlänge benötigt.

Wenn die akustische Rauheit auf insgesamt weniger als 80 % der gesamten Teststrecke gemessen wird, liegt es in der Verantwortung des Messteams, die Stichproben auszuwählen und zu rechtfertigen, ob diese Stichproben für die Referenzlänge repräsentativ sind.

Die folgenden Mindestkriterien müssen eingehalten werden, wenn Stichproben verwendet werden:

- a) die Stichproben sind für jede Schiene (jede mindestens 1 m lang) jeweils an mindestens 5 über die Teststrecke verteilten Positionen zu ermitteln;
- b) abhängig von der relevanten Bandbreite müssen die Messungen insgesamt mindestens umfassen:
 - 1) 15 m je Schiene, wenn die relevante Bandbreite nicht die Terz von 0,25 m überschreitet;
 - 2) 7,2 m je Schiene, wenn die relevante Bandbreite nicht die Terz von 0,1 m überschreitet.
- c) die gesamte Abtastlänge der Rauheit für jede Spur in Längsrichtung muss mindestens 20 % der Referenzlänge betragen.

5.2.4.3 Abtastung in Querrichtung

Die akustische Rauheit muss über eine gegebene Breite der Schienenfahrfläche auf beiden Schienen gleichermaßen ermittelt werden, und ist nur auf dem eingefahrenen Teil der Fahrfläche als gültig zu betrachten, ungeachtet der tatsächlichen Lage der Rad-Schiene-Kontaktpositionen einer bestimmten Fahrzeugkategorie. Es ist daher ein wichtiger Aspekt des Erfassungsprozesses, die Lage der gültigen Referenzfläche in Querrichtung auf der Schiene zu bestimmen.

Die Schienenrauheit muss auf einer Spur gemessen werden, die in der Mitte dieser Referenzfläche verläuft. Bei hinreichend breiter Referenzfläche ist auf zwei zusätzlichen parallelen Spuren zu messen, die beiderseits der mittleren Spur mit gleichem Abstand verlaufen. Der Abstand zwischen der mittleren Spur und den zusätzlichen Spuren hängt von der Referenzbreite ab:

- a) $w_{\text{ref}} \leq 20$ mm: Messung auf einer Spur;
- b) $20 \text{ mm} < w_{\text{ref}} \leq 30$ mm: Messung auf drei Spuren mit jeweils 5 mm Abstand zueinander;
- c) $w_{\text{ref}} > 30$ mm: Messung auf drei Spuren mit jeweils 10 mm Abstand zueinander;

Unabhängig von diesen Vorgaben darf die akustische Rauheit auf einer größeren Anzahl von Spuren gemessen werden. Aber auch dann sollten die Spuren, die zum Zwecke eines Vergleichs mit Abnahmekriterien aus einer größeren Datensatzmenge ausgewählt werden, diesen Vorgaben entsprechen.

5.2.5 Vorbereitung des Schienenkopfes

Vor der Messung der akustischen Rauheit müssen Verunreinigungen vom Schienenkopf entfernt werden.

5.2.6 Erfassung der akustischen Rauheit

Nach den oben genannten Arbeiten müssen alle Messungen durchgeführt und alle Daten gesichert werden, bevor sie verarbeitet werden.

5.3 Datenverarbeitung

5.3.1 Kurzbeschreibung

Die Datenverarbeitung muss in folgender Weise ablaufen:

- a) Vor der Berechnung des Wellenlängenspektrums müssen die Messdaten in drei Schritten verarbeitet werden.
 - 1) Entfernen der Daten, die im Zusammenhang mit Schienenstößen, Schweißstellen oder Schienenkopffehlern stehen. Es dürfen keine Messwerte von Diskontinuitäten berücksichtigt werden, die Auswirkungen auf die nachfolgende Spektralanalyse haben können (siehe Anhang A).
 - 2) Verarbeiten der Daten, um nach oben herausstehende schmale Spitzen zu entfernen, von denen ausgegangen wird, dass sie von winzigen Verunreinigungen auf der Schienenfahrfläche herrühren. Dieses Verfahren wird als „Spitzenentfernung“ bezeichnet (siehe 5.3.2).
 - 3) Verarbeiten der Daten, um die Auswirkung des kleinen Radius der Tastspitze im Verhältnis zum Krümmungsradius eines Rades zu berücksichtigen (siehe 5.3.3).

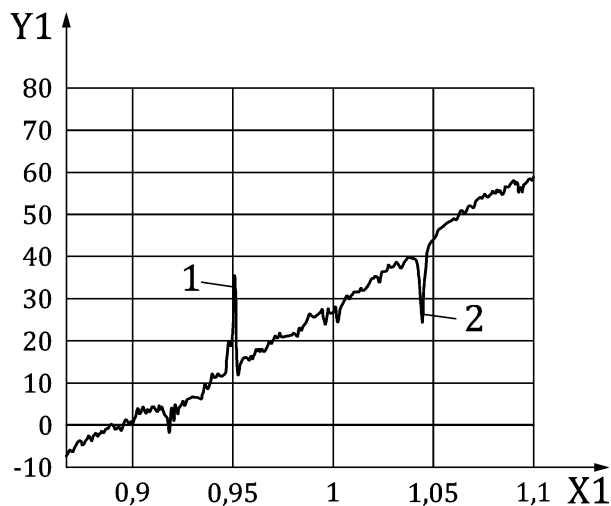
ANMERKUNG Diese Verarbeitung berücksichtigt einige der Auswirkungen des Rad-Schiene-Kontakts, die eine Veränderung im spektralen Inhalt verursachen, der die Anregung des Rollgeräusches betrifft. Sie kann nicht nach der Berechnung des Spektrums der akustischen Rauheit erfolgen. Weitere Auswirkungen, wie etwa die „Filterwirkung des Rad-Schiene-Kontakts“, werden in dieser Norm nicht betrachtet (siehe Anhang C).

- b) Berechnung des Terzspektrums jeder erfassten Spur der akustischen Rauheit (siehe 6.3.4).
- c) Schätzungen des gemittelten akustischen Rauheitsspektrums für die Referenzfläche (siehe 6.3.5).

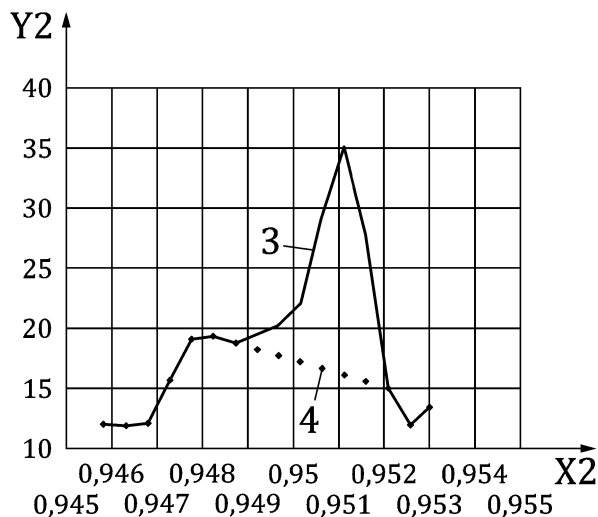
5.3.2 Spitzenentfernungsverfahren

Für die Spitzenentfernung ist folgendes Verfahren anzuwenden (siehe Bild 3).

- a) Berechnen der ersten Ableitung dr/dx und der zweiten Ableitung d^2r/dx^2 aus der akustischen Rauheit $r(x)$.
- b) Lokalisieren der Stellen, an denen dr/dx das Vorzeichen wechselt, was auf ein lokales Maximum oder Minimum in den Daten hinweist.
- c) Identifizieren der Spitzen anhand des Kriteriums $d^2r/dx^2 < -10^7 \mu\text{m}/\text{m}^2$ und eines Vorzeichenwechsels von dr/dx .
- d) Identifizieren der Fußpunkte jeder Spitze als die Stellen (x_1 und x_2) auf beiden Seiten der Maxima oder Minima, an denen $\text{abs}(dr/dx)$ kleiner als $5 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{m}$ wird.
- e) Ermitteln der Breite w der Spitze anhand der Gleichung $w = \text{abs}(x_2 - x_1)$.



a) Rohdaten für Rauheit



b) Rohdaten für Spitzenentfernung

Legende

X1 Längskoordinate der Schiene (Meter)
Y1 Amplitude der Rauheit (Mikrometer)
1 Spitze
2 Löcher

X2 Längskoordinate der Schiene (Meter)
Y2 Amplitude der Rauheit (Mikrometer)
3 gemessenes Signal
4 mit dem Spitzenentfernungsverfahren
verarbeitetes Signal

Bild 3 — Rohdaten

Das Verhältnis von Höhe h zu Breite w jeder Spitze muss nach dem folgenden Kriterium geprüft werden: $h > w^2/a$, wobei h und w in Metern einzusetzen sind und $a = 3$ m ist. Wenn diese Bedingung erfüllt wird, muss die Spitze durch lineare Interpolation x_1 und x_2 entfernt werden.

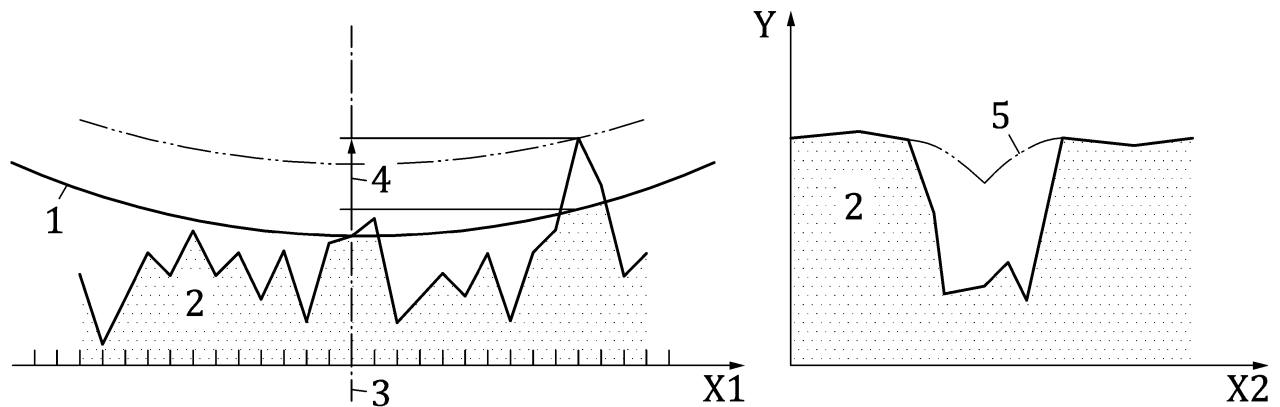
Das Spitzenentfernungsverfahren ist solange zu wiederholen, bis kein Spitzenwert mehr gefunden wird.

5.3.3 Krümmungskorrektur

Für jeden Punkt x_i der Rauheitsfunktion $r(x)$ wird eine durch den Datenpunkt $r(x_i)$ durchlaufende kreisförmige Kurve $C_i(x)$ mit dem Radius $R = 0,375$ m definiert, wobei sich der Kreismittelpunkt am Punkt x_i auf der Funktion $r(x)$ befindet (siehe Bild 4).

Die Korrektur der akustischen Rauheit am Punkt x_i ist durch den Maximalwert der Differenz zwischen der Rauheitsfunktion $r(x)$ und der Kurve $C_i(x)$ gegeben, sodass für die resultierende Rauheitshöhe $r'(x_i)$ der Rauheitsfunktion, $r(x)$ folgende Gleichung gilt: $r'(x_i) = \max(r(x) - C_i(x)) + r(x_i)$, wobei $C_i(x) = R - \sqrt{R^2 - x^2}$

Nicht maßstabsgetreu



Legende

1	$C(x)$	$X1$	Stichprobenwerte von x_i
2	$r(x)$	Y	Rauheit-Amplitude
3	x_i	$X2$	Längskoordinate der Schiene
4	$r'(x_i) - r(x_i)$	5	$r'(x)$

ANMERKUNG Links: Prinzip der Anwendung an der Position x_i – Rechts: Auswirkung der Krümmungskorrektur auf ein tiefes Loch.

Bild 4 — Krümmungskorrektur

5.3.4 Spektralanalyse

5.3.4.1 Allgemeines

Das Terzspektrum der akustischen Rauheit $\tilde{r}(\lambda)$ muss aus den Rauheitsdaten $r'(x)$ nach Entfernung der Spitzen und Löcher mit einem der beiden nachfolgend beschriebenen Verfahren ermittelt werden.

5.3.4.2 Verfahren A: Fourieranalyse

Für die Fourieranalyse können lange Datensätze in Blöcke unterteilt werden. Auf jeden Fall müssen die Daten eines Blocks, von dem ein Fourierspektrum ermittelt wird, mindestens einer Länge von 1 m entsprechen. Wenn ein langer Datensatz in fortlaufende Blöcke unterteilt wird, müssen die Blöcke um 75 % überlappen. Jeder Datenblock muss den Mittelwert abgezogen haben und um den linearen Anstieg bereinigt sein. Anschließend muss ein Hanning-Fenster angewendet werden.

Die diskrete Fouriertransformierte (DFT) jedes Datenblocks wird zur Ermittlung von Daten als Wellenzahl verwendet. Die quadrierten Amplituden der Fouriertransformierten jedes Segments müssen energetisch gemittelt werden, sodass sich ein gemitteltes Schmalbandspektrum als Funktion der Wellenlänge ergibt.

Das Terzbandspektrum muss auf der Grundlage des Schmalbandspektrums hergestellt werden. Jeder Terzbandwert muss aus der Summe Quadrate der Schmalbandamplituden aus der diskreten Fouriertransformierten berechnet werden. An den Rändern der Terzbänder ist dabei nur derjenige Anteil der Energie eines Schmalbandes zu berücksichtigen, der innerhalb der betrachteten Terz liegt (siehe Anhang B) und dem Anteil des Spektrums entspricht.

5.3.4.3 Verfahren B: Digitalfilterung

Die Terzbandwerte müssen durch Anwendung digitaler Terzbandfilter auf die Rauheitsdaten $r'(x)$ ermittelt werden. Die Filter müssen den Anforderungen nach EN 61260-1 entsprechen.

Falls digitale Terzfilter angewendet werden, müssen die Daten auf beiden Seiten der Aufzeichnung, die von der Übergangsfilterung betroffen sind, verworfen werden.

Insgesamt müssen noch mindestens 15 m verarbeitete Aufzeichnungen verfügbar sein, nachdem die Übergangsfilterungen entfernt wurden.

5.3.5 Erweiterung des Wellenlängenbereiches

Aufzeichnungen mit unveränderlicher Abtastlänge liefern Wellenlängendaten die entsprechend auf ein Viertel von der Länge begrenzt sind.

Soweit das Schätzen größerer Wellenlängenbänder erforderlich ist, müssen die Aufzeichnungen mittels geeigneter Überlappung der einzelnen Messdatensätze verbunden werden. Die Überlappung darf jedoch nicht zur Ermittlung von Wellenlängenbändern kleiner oder gleich 0,1 m angewendet werden. Die Überlappungsmethode muss im Prüfbericht beschrieben werden.

Es sollte sichergestellt werden, dass der aus der Überlappung entstandene Datensatz für den geforderten Wellenlängenbereich gültig ist.

5.3.6 Mittelungsverfahren

Der Mittelwert des Terzspektrums muss deren RMS sein. Dies muss für jede Spur akustischer Rauheit einzeln berechnet werden. Dabei darf keine Gewichtung bezüglich der Lage eines Datensatzes innerhalb der Teststrecke erfolgen. Somit sind nach 5.2.4.3, in Abhängigkeit von der Referenzbreite für jede Spur und jede Schiene, entweder nur ein gemitteltes Spektrum oder drei gemittelte Spektren zu bilden.

Zusätzlich muss für alle Spuren und beide Schienen die mittlere Rauheitsspur als ein RMS berechnet werden.

6 Radrauheit

6.1 Anforderungen an das Messsystem

6.1.1 Allgemeines

Die Messgeräte müssen regelmäßig überprüft und kalibriert werden. Dieser Abschnitt fasst die Anforderungen an das Messsystem und seine Kalibrierung zusammen.

6.1.2 Genauigkeit des Ausgangssignals

Das Messsystem muss in der Lage sein, gültige Messwerte zu produzieren für den Wellenlängenbereich und den betreffenden akustischen Rauheitspegel der zu charakterisierenden Radart.

Wenn es jedoch ausreicht, die Einhaltung einer gegebenen oberen Grenze der akustischen Rauheit nachzuweisen, muss das Messsystem gültige Messwerte in Form von Terzpegeln der akustischen Rauheit liefern, die gleich oder größer als die Grenzwerte sind.

6.1.3 Abmessungen des Aufnehmers

Wenn ein Kontaktaufnehmer benutzt wird, muss seine Tastspitze sphärisch ausgeführt sein, und ihr Radius darf höchstens 7 mm betragen.

Bei einem berührungslosen Aufnehmer muss die tatsächliche Breite kleiner als der Abstand zwischen den einzelnen Abtastpunkten sein.

6.1.4 Bewegung des Aufnehmers

Das Messgerät muss den Sensor auf der Lauffläche des Rads innerhalb einer Grenzwert von ± 1 mm entlang einer Spur führen, die parallel zur Flanschseite des Rads verläuft.

6.1.5 Abtastrate

Das Gerät muss Messungen von mindestens einem Radumfang mit einer Abtastentfernung von höchstens 1 mm und einer Genauigkeit, die nicht schlechter als 3 % ist, ermöglichen.

6.1.6 Kalibrierung und Rückverfolgbarkeit auf eine Nationale Messnorm

Die Kalibrierung muss die Genauigkeit und Compliance für die Sensoren, das Datenerfassungsgerät und das Messsystem der Abtastentfernung nachweisen. Sie sollten alle nach den Anforderungen ihrer betreffenden Normen kalibriert werden. Die Kalibrierung muss die Rückverfolgbarkeit auf eine nationale Messnorm oder ein Primärnormal umfassen.

Ein Nachweis, dass bei den Messungen ein ordnungsgemäßes Verfahren verwendet wurde, muss dokumentiert werden.

Ein Gerät muss immer neu kalibriert werden, wenn es repariert wurde oder ein Fehler, Schaden oder Verschleiß vermutet wird. Das Gerät sollte spätestens 24 Monate nach der letzten Kalibrierung neu kalibriert werden.

6.2 Messdatenerfassung

6.2.1 Allgemeines

Das Ziel der Messdatenerfassung besteht darin, Aufzeichnungen der akustischen Rauheit der Räder in digitaler Form zu erhalten, die mit einer ausreichend hohen Abtastrate (Stichproben pro Abtastlänge) über einen gesamten Umfang gemessen wurden, sodass alle Wellenlängen, die zum Rad gehören, den Bereich bis zu 3,15 mm Terzspektrum abdecken.

6.2.2 Messwerterfassung

6.2.2.1 Stichproben von Rädern innerhalb einer Abtastlänge

Zur Bewertung der Radrauheit, die zum Rollgeräusch gehört, das auf der Abtastlänge erzeugt wird, müssen die Räder in Schienenlängsrichtung auf der Abtastlänge möglichst gleichmäßig verteilt nach den folgenden Regeln abgetastet werden:

- a) Die größere Anzahl von entweder mindestens 8 Radsätzen oder einem Viertel der Radsätze der Abtastlänge muss abgetastet werden.
- b) Beide Räder von allen Radsätzen müssen abgetastet werden.
- c) Alle Radsätze aller abgetasteten Drehgestelle müssen abgetastet werden.
- d) Radsätze aller unterschiedlichen Arten müssen mit einer Mindestanzahl abgetastet werden, die ungefähr proportional zu ihrem Vorkommen auf der Abtastlänge ist. Hier gelten Räder als unterschiedlich, wenn sich die folgenden Faktoren unterscheiden:
 - 1) stromlos oder mit Strom;
 - 2) unterschiedliche Bremstypen;
 - 3) Vorhandensein von Scrubbern (Reinigungsvorrichtung für Laufflächen);
 - 4) jeder Aspekt des Drehgestells, der die Fahrzeugdynamik beeinflusst (Raddurchmesser, Radabstand, Steuerungsmechanismus).
- e) Alle Radsätze der hinteren Drehgestelle müssen in diesem Fall abgetastet werden.
- f) Für Abtastlängen mit weniger als 8 Radsätzen müssen alle Radsätze gemessen werden.

6.2.2.2 Festlegung der Abtaststellen in Querrichtung

Die akustische Radrauheit muss an drei Stellen in Querrichtung mit einem Abstand von 10 mm auf der Fahrfläche beurteilt werden. Diese Stellen werden jeweils an der Flanschrückseite des Rads bestimmt.

Es liegt in der Verantwortung des Messteams, die Stelle der mittleren Spur der Messung auf jeder Radlaufläche zu bestimmen und diese Entscheidung durch einen der drei folgenden Fälle zu rechtfertigen. Sie werden in absteigender Rangfolge angegeben.

- a) Fall 1: Die Fahrfläche auf der Radlaufläche der jeweiligen Teststrecke kann entweder durch Untersuchung oder durch Beobachtung während der Fahrt eindeutig bestimmt werden. Die mittlere Spur muss in der Mitte der Fahrfläche platziert werden.
- b) Fall 2: Die mittlere Spur muss die Stelle mit dem häufigsten Rad-Schiene-Kontakt sein, der über eine Simulationsrechnung aus der Geometrie des Schienen- und des Radprofils vorausgesagt werden kann.
- c) Fall 3: Wenn sich keine der beiden Methoden anwendbar oder angemessen ist, muss die mittlere Messspur die nominale Fahrfläche des Rads sein.

ANMERKUNG Bei der Auswertung einer Reihe von Stichproben konnte festgestellt werden, dass die Auswahl der Abtaststelle in Querrichtung bei der Messung der Radrauheit den größten Unsicherheitsfaktor für das Ergebnis darstellt. Daher wird empfohlen, möglichst die bevorzugte Methode zur Festlegung der Laufläche zu verwenden.

6.2.3 Fahrzeugvorbereitung

Es dürfen sich keine Personen im Fahrzeug befinden. Alle Traktions-, Brems- und Signalanlagen müssen ausgeschaltet sein.

Die Räder müssen soweit über den Schienen aufgebockt sein, dass sie sich frei drehen können. Das Rad muss fixiert werden, sodass die Bewegungen in Längs- und Querrichtung minimiert werden. Dies sollte vorzugsweise durch Halten des Rads an seinen Lagern erreicht werden, wenn dies nicht möglich ist, durch Arretierung der Primärfederung und durch Halten des Rahmens des Drehgestells. Eine feste Halterung (z. B. Metallblöcke oder arretierbare hydraulische Halterungen) wird empfohlen, damit sich die Radhöhe nicht bei der Messung ändert.

Bei Geräten, die keine feste Referenzposition brauchen, dürfen andere Verfahren verwendet werden.

Vor der Messung der akustischen Rauheit sind Verunreinigungen von der Radlaufläche zu entfernen.

6.2.4 Erfassung der akustischen Rauheit

Es muss mindestens ein kompletter Umfang jeder Spur auf jedem Rad in einer fortlaufenden Aufzeichnung abgetastet werden.

Zusätzlich müssen für mindestens eine Messung auf einem der Räder drei oder mehr Umdrehungen abgetastet werden.

ANMERKUNG Diese wiederholte Messung dient der Prüfung der Datenqualität (6.2.5 b)).

6.2.5 Datenqualitätsprüfungen

Um die Genauigkeit der Messungen an jedem Aufbau sicherzustellen, müssen Qualitätsprüfungen durchgeführt werden. Dazu müssen zwei Kriterien angewendet werden:

- a) Bei allen Spuren an allen Rädern alle Abweichungen in der Aufzeichnung, d. h. am Anfang und am Ende der Aufzeichnung darf der Unterschied nicht größer als 25 µm pro Umdrehung sein.

ANMERKUNG So wird eine Auswirkung durch Bewegung der Radachse bei der Messung vermieden.

- b) Bei wiederholten Messungen (mindestens drei Umdrehungen) muss das Terzbandspektrum verglichen werden. Es ist eine maximale Spanne von 3 dB in jedem Terzband bei allen wiederholten Messungen erlaubt.

Nach den o.g. Arbeiten müssen alle Messungen durchgeführt und alle Daten gesichert werden, bevor sie verarbeitet werden.

6.2.6 Lokalisierte geometrische Rad-Besonderheiten

Im Fall des Rades darf die Aufzeichnung mit keinem anderen Verfahren als dem aus 6.3.2 und 6.3.3 geändert werden.

ANMERKUNG Es hängt vom Zweck der Messung ab, ob wettergeschädigte Räder für einen Mittelwert zu berücksichtigen sind.

6.3 Datenverarbeitung

6.3.1 Kurzbeschreibung

Die Datenverarbeitung muss in folgender Weise ablaufen:

- a) Vor der Berechnung des Wellenlängenspektrums müssen die Messdaten in drei Schritten verarbeitet werden.
 - 1) Verarbeiten der Daten, um nach oben herausstehende schmale Spitzen zu entfernen, von denen ausgegangen wird, dass sie von winzigen Verunreinigungen durch Fremdpartikel auf der Radfahrfläche herrühren. Dieses Verfahren wird als „Spitzenentfernung“ bezeichnet (siehe 6.3.2).
 - 2) Verarbeiten der Daten, um die Auswirkung des kleinen Radius der Tastspitze im Verhältnis zum Krümmungsradius eines Rades zu berücksichtigen (siehe 6.3.3 Krümmungskorrektur).
- ANMERKUNG Diese Verarbeitung berücksichtigt die Auswirkungen des Rad-Schiene-Kontakts, die eine Veränderung im spektralen Inhalt verursachen, der die Anregung des Rollgeräusches betrifft. Sie kann nicht nach der Berechnung des Spektrums der akustischen Rauheit erfolgen. Weitere Auswirkungen, wie etwa der „Kontaktfilter“, sind nicht im Anwendungsbereich dieser Norm.
- 3) Durchführen einer Endpunkt-Trendbereinigung. Von den Messdaten wird eine gerade Spur durch die erste und letzte Aufzeichnung abgezogen.
- b) Berechnung des Terzbandspektrums jeder Aufnahme der akustischen Rauheit (siehe 6.3.4).
 - c) Für die Rauheit-Charakteristik einer Stichprobe mehrerer Räder finden sich Anweisungen in 6.3.5.

6.3.2 Spitzenentfernungsverfahren

Das Spitzenentfernungsverfahren für die Radrauheit ist das gleiche wie für die Schienenrauheit (siehe Bild 3). Der Einfachheit halber wird es nachfolgend wiederholt:

- a) Berechnen der ersten Ableitung dr/dx und der zweiten Ableitung d^2r/dx^2 aus der akustischen Rauheit $r(x)$.
- b) Lokalisieren der Stellen, an denen dr/dx das Vorzeichen wechselt, was auf ein lokales Maximum oder Minimum in den Daten hinweist.

- c) Identifizieren der Spitzen anhand des Kriteriums $d^2r/dx^2 < -10^7 \mu\text{m}/\text{m}^2$ und eines Vorzeichenwechsels von dr/dx .
- d) Identifizieren der Fußpunkte jeder Spitze als die Stellen (x_1 und x_2) auf beiden Seiten der Maxima oder Minima, an denen $\text{abs}(dr/dx)$ kleiner als $5 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{m}$ wird.
- e) Ermitteln der Breite w der Spitze anhand der Gleichung $w = \text{abs}(x_2 - x_1)$.

Das Verhältnis von Höhe h zu Breite w jeder Spitze muss nach dem folgenden Kriterium geprüft werden: $h > w^2/a$, wobei h und w in Metern einzusetzen sind und $a = 3 \text{ m}$ ist. Wenn diese Bedingung erfüllt wird, muss die Spitze durch lineare Interpolation x_1 und x_2 entfernt werden.

Das Spitzenentfernungsverfahren ist solange zu wiederholen, bis kein Spitzenwert mehr gefunden wird.

6.3.3 Krümmungskorrektur

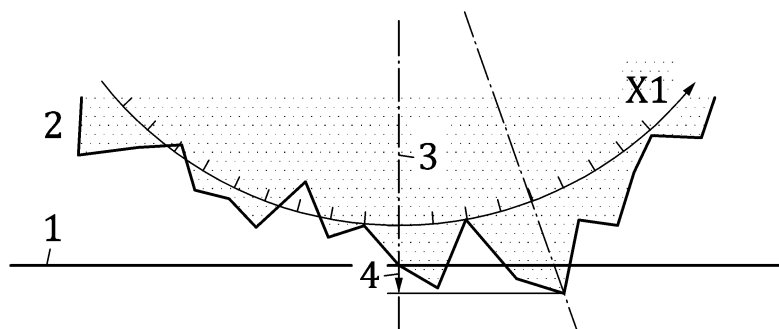
Für jeden Punkt x_i der Rauheitsfunktion $r(x)$ wird eine durch den Datenpunkt $r(x_i)$ durchlaufende kreisförmige Kurve $\bar{C}_i(x)$ des gemessenen Rads R definiert, wobei sich der Kreismittelpunkt am Punkt x_i auf der Funktion $r(x)$ befindet (siehe Bild 4).

Die Korrektur der akustischen Rauheit am Punkt x_i ist durch den Maximalwert der Differenz zwischen der Rauheitsfunktion $r(x)$ und dieser Kurve $\bar{C}_i(x)$ gegeben, sodass für die resultierende Rauheitshöhe $r'(x_i)$ der Rauheitsfunktion $r(x)$ die folgende Gleichung gilt: $r'(x_i) = \max(r(x) - \bar{C}_i(x)) + r(x_i)$.

Dabei ist

$$\bar{C}_i(x) = \frac{R}{\cos(x/R)} - R$$

Nicht maßstabsgetreu



Legende

- | | | | |
|---|---------------------------------|----|----------------------------|
| 1 | idealisierte Schienenoberfläche | 4 | $r'(x_i) - r(x_i)$ |
| 2 | $r(x)$ | X1 | Stichprobenwerte von x_i |
| 3 | x_i | | |

ANMERKUNG Für Position x_i verwendetes Prinzip

Bild 5 — Für Position x_i verwendetes Prinzip der Krümmungskorrektur