

	DIN EN ISO 13473-5	
ICS 93.080.20	<div>Entwurf</div>	Einsprüche bis 2024-06-12 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN ISO 13473-5:2010-04
<p>Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 5: Bestimmung der Megatextur (ISO/DIS 13473-5:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13473-5:2024</p> <p>Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 5: Determination of megatexture (ISO/DIS 13473-5:2024); German and English version prEN ISO 13473-5:2024</p> <p>Caractérisation de la texture d’un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface – Partie 5: Détermination de la mégatexture (ISO/DIS 13473-5:2024); Version allemande et anglaise prEN ISO 13473-5:2024</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-04-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none">– 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 oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin. <p>Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p>Gesamtumfang 96 Seiten</p> <p>DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)</p>		

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13473-5:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-05 AA „Geräuschemissionenmessungen an Straßenfahrzeugen einschließlich Messungen im Fahrgastraum und am Arbeitsplatz“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

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.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 13473-2	siehe	DIN ISO 13473-2
ISO 13473-3	siehe	DIN ISO 13473-3

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 13473-5:2010-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Standardmessung von RMS_{Me} in mm anstelle von L_{me} in dB;
- b) Verwendung der gleichen Vorverarbeitungsprozesse wie in ISO 13473-1 (Drop-out und Spikes);
- c) Verwendung von digitalen Filtern zur Berechnung der Megatextur, früher durch Spektralanalyse;
- d) Verbesserung der Unsicherheitsbeschreibung von Megatextur-Berechnungen;
- e) informativer Anhang mit Referenzprogramm und Referenzberechnungen, verfügbar auf der Homepage www.erpug.org. Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13473 ist auf der ISO Internetseite abrufbar;
- f) Dokument redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 13473-2, *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen*

DIN ISO 13473-3, *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 3: Anforderungen an und Einteilung von Profilometern*

– Leerseite –

April 2024

prEN ISO 13473-5

**Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von
Oberflächenprofilen – Teil 5: Bestimmung der Megatextur (ISO/DIS 13473-5:2024)**

Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 5: Determination of megatexture
(ISO/DIS 13473-5:2024)

Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface – Partie 5:
Détermination de la mégatexture (ISO/DIS 13473-5:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Allgemeine Begriffe	8
3.2 Texturbereiche	10
3.3 Messverfahren der Megatextur	12
4 Messgeräte	14
4.1 Messgeräte allgemein	14
4.1.1 Leistungsüberprüfung	14
4.1.2 Anzeige ungültiger abgelesener Werte (ungültige Messwerte)	14
5 Überlegungen zur Prüfoberfläche	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Prüflängen	15
6 Messverfahren	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Empfindlichkeit gegenüber vertikaler Bewegung des Fahrzeugs	16
6.3 Kalibrierung	16
6.4 Messgeschwindigkeit	17
6.5 Messung des Texturprofils	17
7 Datenverarbeitung	17
7.1 Allgemeines	17
7.2 Vorverarbeitung: Anteil ungültiger Messwerte und Gültigkeit der Messungen	17
7.3 Neuabtastung für eine bestimmte räumliche Auflösung	19
7.4 Identifizierung von Spitzen und Neuformung des Profils	19
7.5 Filterung des Profils	19
7.6 Berechnung von RMS_{Me}	19
7.7 Mittelung	19
7.8 Standardabweichung in Längsrichtung (informativ)	20
7.9 Singularitäten	20
8 Messunsicherheit	21
9 Hinweise zur Sicherheit bei den Messungen	23
10 Prüfbericht	23
Anhang A (normativ) Verfahren zur Entfernung von Spitzen	25
A.1 Allgemeines	25
A.2 Beispiel	25
Anhang B (informativ) Beispiel für einen Messbericht und graphische Darstellungen	28
B.1 Geeignetes Formblatt für einen Messbericht	28
B.2 Graphische Darstellungen	28
B.2.1 Amplitude in Abhängigkeit von der Distanz und Histogramm	28
B.3 Beispiele für Messwerte	32
Anhang C (informativ) Messunsicherheit	33
C.1 Beispiel einer sorgfältigen Unsicherheitsanalyse	33
C.2 Kombinierte und erweiterte Unsicherheit	35
Anhang D (normativ) Digitale Megatexturfilter	36
Anhang E (informativ) Megatextur-Referenzprogrammcode	38
Anhang F (informativ) Verfahren zur Abtastung vom Messabschnitten, falls nicht der gesamte interessierende Bereich gemessen werden kann	39
F.1 Hintergrund	39

F.2	Verfahren	39
F.2.1	Allgemeines	39
F.2.2	Fall 1: Länge L der Fahrspur ist kürzer als 1 000 m ($L \leq 1\,000$ m)	39
F.2.3	Fall 2: Länge L der Fahrspur ist länger als 1 000 m ($L > 1\,000$ m)	40
F.2.4	Beispiel zur Illustration von Fall 2	40
Anhang G	(normativ) Vorbehandlung des Profils vor der Filterung	43
G.1	Entfernung eines großen Versatzes	43
G.2	Hinzufügen von gespiegelten Segmenten	43
Anhang H	(informativ) Richtlinien für die Auswahl einer geeigneten Berechnungslänge	46
H.1	Der Fall stationärer zufälliger Oberflächen	46
H.2	Der Fall nicht stationärer Oberflächen	46
Literaturhinweise		48

Bilder

Bild 1	— Darstellung einiger Grundbegriffe zur Beschreibung der Textur einer Fahrbahnoberfläche	9
Bild 2	— Bereiche der Wellenlänge und der Wellenzahl von Textur und Unebenheit und ihre wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen [10]	11
Bild 3	— Darstellung der Konzepte der „Messlänge“, „Auswertungslänge“ und „Berechnungslänge“	15
Bild 4	— Darstellung der Interpolation und Extrapolation von ungültigen Messwerten	18
Bild A.1	— Ein gemessenes Profil (wie oben dargestellt) wird analysiert	26
Bild A.2	— Schritt 1: Im Ergebnis des Verfahrens zur Entfernung von Spitzen werden acht Punkt als verdächtige Ablesungen erkannt (angezeigt als ungefüllte Kreise). Es ist zu beachten, dass diese Punkte durch Überprüfung von Kriterium A.1 in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung erkannt werden	26
Bild A.3	— Schritt 2: Die ungültigen Ablesungen werden durch interpolierte Werte zwischen den nächsten gültigen Ablesungen ersetzt (angezeigt als ungefüllte Kreise)	27
Bild B.1	— Beispiel für über einen Prüfabschnitt von 1 200 m Länge gemessene RMS_{Me} -Werte. Der Fahrbahnbelag war 10 Jahre alter dichter Asphaltbeton DAC 16	29
Bild B.2	— Beispiel für ein Histogramm gemessener Megatexturpegel, RMS_{Me} für den in Bild B.1 gezeigten Fall	30
Bild F.1	— Auswahl von Messpunkten	42
Bild G.1	— Links: Hösensensor mit großem Abstand Rechts: Resultierendes Profil (Höhe Z über Abstand X) mit großem Versatz	43
Bild G.2	— 1-Meter-Segment am Anfang des Profils gespiegelt	44
Bild H.1	— Relative Abweichung als Funktion der Berechnungslänge	46
Bild H.2	— RMS_{Me} als Funktion der Distanz für Berechnungslängen von 2 m, 10 m und 50 m	47

Tabellen

Tabelle 1	— Vorlage für eine Unsicherheitsanalyse einer Messung des RMS_{Me} -Werts nach dem in dieser Norm erläuterten Messverfahren	21
Tabelle 2	— Erweiterte Unsicherheit (U) und Überdeckungswahrscheinlichkeit (beruhend auf Tabelle 1)	23
Tabelle B.1	— Messung der Megatextur — Vorlage für Prüfbericht	31
Tabelle B.2	— Typische Beispiele für Messwerte, ausgedrückt als RMS_{Me}	32
Tabelle C.1	— Beispiel für eine sorgfältige Unsicherheitsanalyse für eine RMS_{Me} -Messung	33
Tabelle D.1	— Filterparameter für Butterworth-Tiefpass- und Hochpassfilter 2. Ordnung in Vorwärts-Rückwärts-Anwendung mit einer resultierenden Grenzwellenlänge von ungefähr 56,2 mm bzw. 562 mm, wenn in beiden Richtungen angewendet	37
Tabelle E.1		38

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13473-5:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 13473-5:2009 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 13473-5:2024 wurde von CEN als prEN ISO 13473-5:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

EISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 1, *Noise*, erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 13473-5:2009), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- Vorgabemaßgröße RMS_{Me} in mm anstelle von L_{me} in dB;
- Verwendung der gleichen Vorbehandlungsverfahren wie in ISO 13473-1 (ungültige Messwerte und Spitzen);
- Verwendung von Digitalfiltern zur Berechnung der Megatextur, erfolgte früher durch Spektralanalyse;
- Verbesserungen der Beschreibung der Unsicherheiten von Berechnungen der Megatextur;
- informativer Anhang mit Referenzprogramm und Referenzberechnungen, verfügbar auf der Homepage www.erpug.org. Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13473 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

ISO 13473 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen*:

E DIN EN ISO 13473-5:2024-05
prEN ISO 13473-5:2024 (D)

- *Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe*
- *Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen*
- *Teil 3: Anforderungen an und Einteilung von Profilometern*
- *Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen [Technische Spezifikation]*
- *Teil 5: Bestimmung der Megatextur*
- *Teil 6: Nachweis des Leistungsvermögens von Laser-Profilometern, die für Messungen der Textur von Fahrbahnbelägen verwendet werden [öffentlich verfügbare Spezifikation]*

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Textur einer Fahrbahnoberfläche hat erheblichen Einfluss auf Faktoren wie die Geräuschemission durch den Fahrbahnkontakt der Reifen (Literaturhinweis [6]), die Griffigkeit zwischen Reifen und Fahrbahn (Literaturhinweis [7]) und den Komfort sowie den Rollwiderstand (Literaturhinweis [11]) und den Verschleiß der Reifen. Zuverlässige Verfahren zur Messung und Charakterisierung der Textur sind daher unentbehrlich. Nach ISO 13473-2 wird die Textur in Mikro-, Makro- und Megatextur unterteilt. In ISO 13473-1 [12] wird ein Verfahren zur Messung und Berechnung eines Kennwerts für die Makrotextur auf der Grundlage einer Profilmessung festgelegt. Ein volumetrisches Verfahren zur Messung der Makrotextur wird in EN 13036-1:2010 [4] beschrieben. Derzeit gibt es kein zuverlässiges und praktisches Verfahren zur Messung der Mikrotextur der Fahrbahn *in situ*. Dieses Dokument hat zum Ziel, Mittel zur Messung und Berechnung eines Kennwerts für die Megatextur bereitzustellen, der für die Charakterisierung von Fahrbahnoberflächen verwendbar ist.

Die Megatextur ist ein wichtiger Texturbereich zwischen der Makrotextur und der Unebenheit. Diese Texturart weist Wellenlängen in der gleichen Größenordnung wie die Abmessungen der Reifenaufstandsfläche auf und ist häufig die Folge von Schlaglöchern oder „Waschbrettbildung“. Einige häufig vorkommende Singularitäten wie eine einzelne vertiefte (z. B. ein Schlagloch) oder hervorstehende Stelle auf der Fahrbahn (z. B. verursacht durch Baumwurzeln) erscheinen im Texturspektrum ebenfalls als Megatextur. Zwar besitzen einige Fahrbahnarten wie Pflastersteine eine innere Megatextur, üblicherweise ist diese jedoch eine unerwünschte Eigenschaft, die durch Schäden in der Oberfläche hervorgerufen wird. Die Megatextur ist ein unerwünschtes Merkmal, je höher der Wert, als desto schlechter wird die Straße wahrgenommen: es ist bekannt, dass die Megatextur das Reifen-/Fahrbahngeräusch erhöht, indem sie Schwingungen hervorruft. Gleichzeitig verursachen diese Reifenschwingungen Energiedissipation im Reifen. Der Rollwiderstand erhöht sich, dies führt zu unerwünschtem Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß (siehe auch 3.2).

Die Profilanalyse der Unebenheit von Straßen gehört nicht zum Anwendungsbereich von ISO 13473 (alle Teile), sondern ist Gegenstand von ISO 8608 [1].

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Bestimmung des Betrags der Megatextur einer Fahrbahnoberfläche durch Messung des Oberflächenprofils und Berechnung eines Megatexturdeskriptors aus diesem Profil fest. Die Technik ist so ausgelegt, dass sie aussagekräftige und genaue Messungen und Beschreibungen der Megatextur der Fahrbahn für verschiedene Zwecke wie die Vorhersage der akustischen Güte der Fahrbahn oder die Beurteilung des Rollwiderstands ergibt.

Da es zwischen der Megatextur und den angrenzenden Bereichen eine Überlappung gibt, weisen Megatexturdeskriptoren unvermeidlich eine gewisse Korrelation mit den entsprechenden Maßgrößen in diesen Bereichen auf. Dieses Dokument legt Messungen und Verfahren fest, die in den relevanten Bereichen kompatibel mit denen von ISO 13473-1 [16], ISO 8608 [1] und EN 13036-5 [5] sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ISO 13473-2, *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis*

ISO 13473-3, *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 3: Specification and classification of profilometers*

ISO/PAS 13473-6, *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 6: Verification of the performance of laser profilometers used for pavement texture measurements*

ISO/IEC NP Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13473-2 und die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1 Allgemeine Begriffe

3.1.1

Texturwellenlänge

λ

Größe, die die horizontale Abmessung der Unregelmäßigkeiten eines *Texturprofils* (3.1.3) beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Texturwellenlänge wird üblicherweise in Meter (m) oder Millimeter (mm) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Texturwellenlänge ist ein Deskriptor der Wellenlängenkompenten eines Profils, sie ist an das Konzept der Fouriertransformation einer Reihe regelmäßig abgetasteter Messwerte entlang einer räumlichen Achse angelehnt. Die vertikale Auslenkung (Höhe) weist einen willkürlichen Bezugswert auf.

3.1.2

Textur eines Fahrbahnbelags

Textur

Abweichung einer Fahrbahnoberfläche von einer tatsächlich ebenen Oberfläche, mit einer *Texturwellenlänge* (3.1.1) kleiner als 0,5 m

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird nach 3.2 in Mikro-, Makro- und Megatextur unterteilt.

3.1.3

Oberflächenprofil

Texturprofil

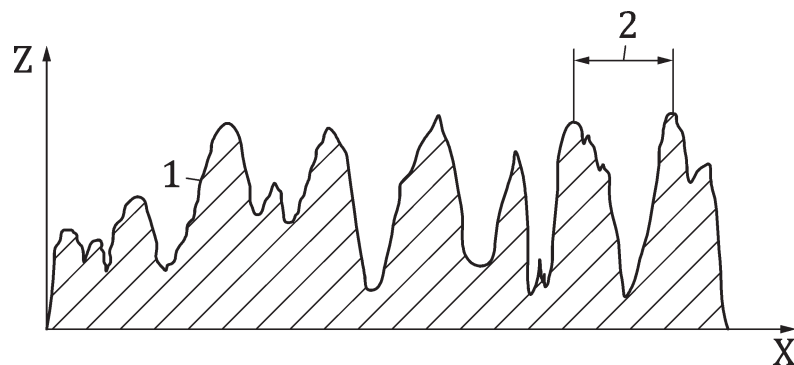
obere Kontur eines senkrechten Querschnitts durch eine Fahrbahn

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Oberflächenprofil (Texturprofil) wird durch seinen mathematischen Deskriptor $Z(X)$ näher gekennzeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine typische Profilaufzeichnung einer Fahrbahnoberfläche ist in Bild 1 (senkrechte Skale übertrieben) dargestellt, einschließlich der Begriffe Profil, Distanz, vertikale Auslenkung und Wellenlänge. Die „Wellenlänge“ im Bild ist eine Darstellung einer Komponente des Profils, die mit dem Konzept der Wellenlänge verwandt ist, streng mathematisch gesehen aber nicht korrekt ist. Weiterhin ist die Bezugslinie (unten) willkürlich.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das Profil der Oberfläche wird durch zwei Koordinaten beschrieben: Eine entlang der Ebene der Oberfläche, Distanz genannt (die Abszisse), und die andere normal zur Ebene der Oberfläche, vertikale Auslenkung genannt (die Ordinate). Ein Beispiel ist in Bild 1 dargestellt. Die Distanz darf in Längs- oder Querrichtung (seitwärts) relativ zur Fahrtrichtung auf der Fahrbahn oder in einem Kreis oder einer beliebigen anderen Richtung zwischen diesen Extremfällen verlaufen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Ein Texturprofil ähnelt einem Oberflächenprofil, ist aber auf den Texturbereich beschränkt.



Legende

X Distanz

Z vertikale Auslenkung

1 Oberflächenprofil

2 Texturwellenlänge

Bild 1 — Darstellung einiger Grundbegriffe zur Beschreibung der Textur einer Fahrbahnoberfläche

3.1.4

ungültiger Messwert

Datenpunkt im gemessenen Texturprofil, der vom Sensor als ungültig angezeigt wird

3.1.5

Spitze

ungewöhnlich hoher und scharf geformter Spitzenwert im gemessenen Texturprofil, der nicht Teil des wahren Texturprofils ist und vom Sensor nicht als ungültig angezeigt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang A für eine quantitative Definition einer Spitze.

3.1.6

Profilometer

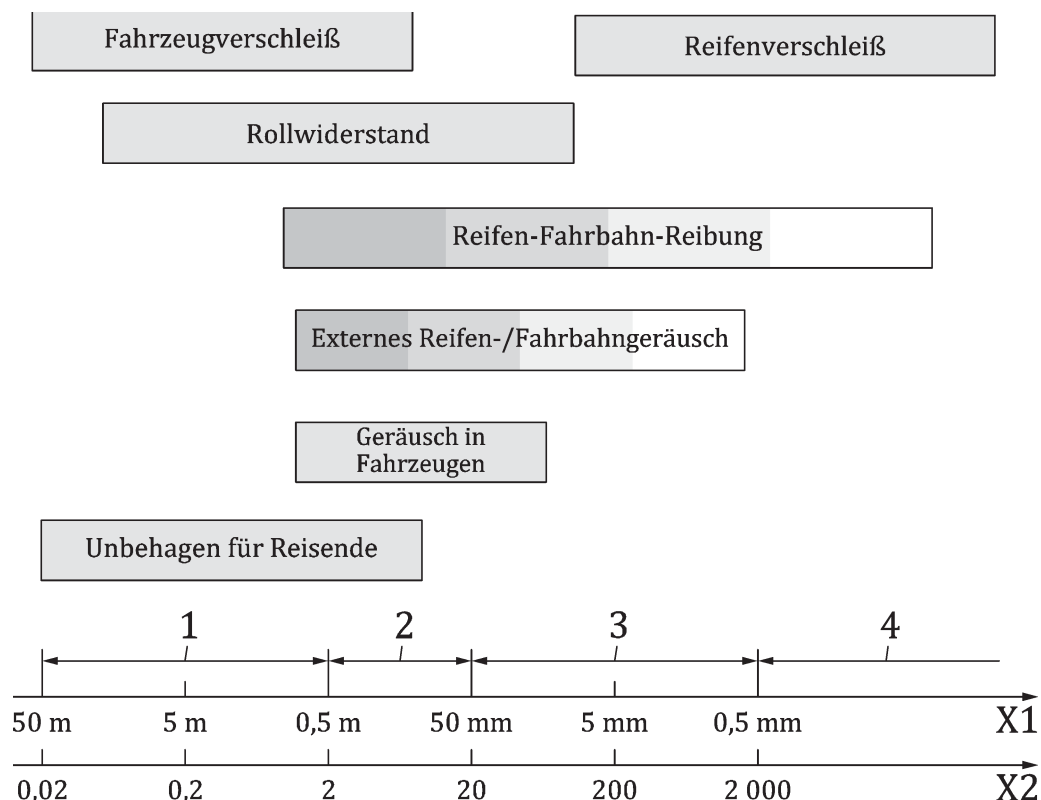
Gerät zur Messung des Texturprofils einer Fahrbahnoberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den gegenwärtig im Straßenbau verwendeten Profilometern gehören unter anderem Sensoren auf der Grundlage von Verfahren mit Laser oder Ultraschall, in Lichtschnitttechnik und mit Taststiften.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anforderungen an Profilometer sind Gegenstand von ISO 13473-3.

3.2 Texturbereiche

Auf Grundlage der physikalischen Zusammenhänge zwischen Textur und Reibung, Geräuschen usw. wurden die Bereiche Mikro-, Makro- und Megatextur ursprünglich von der World Road Association (PIARC) definiert [10]. Bild 2 stellt dar, wie diese Definitionen bestimmte Bereiche von Wellenlänge und Wellenzahl der Oberflächen-textur abdecken und wie verschiedene Merkmale innerhalb dieser Bereiche beeinflusst werden.



Legende

X1 Wellenlänge

X2 Wellenzahl [1/m]

1 Unebenheit

2 Megatextur

3 Makrotextur

4 Mikrotextur

ANMERKUNG Ein heller Hintergrund kennzeichnet eine günstige Auswirkung in diesem Bereich, während ein dunklerer Hintergrund eine unerwünschte Auswirkung anzeigt.

Bild 2 — Bereiche der Wellenlänge und der Wellenzahl von Textur und Unebenheit und ihre wichtigsten zu erwartenden Auswirkungen [10]

3.2.1

Mikrotextur

Mikrotextur einer Fahrbahn

Abweichung einer Fahrbahnoberfläche von einer tatsächlich ebenen Oberfläche mit charakteristischen Abmessungen entlang der Oberfläche von weniger als 0,5 mm, was Texturwellenlängen in den Bandmitten von Terzbändern von bis zu 0,5 mm entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spitze-Spitze-Amplituden liegen üblicherweise im Bereich von 0,001 mm bis 0,5 mm. Bei diesem Texturtyp fühlt sich die Oberfläche mehr oder weniger rau an, die Textur ist aber üblicherweise zu klein, um vom menschlichen Auge wahrgenommen zu werden. Sie wird durch die Oberflächeneigenschaften (Schärfe und Rauheit) der einzelnen Zuschlagstoffe und anderer Partikel auf der Oberfläche bestimmt, die in direkten Kontakt mit den Reifen kommen.

3.2.2

Makrotextur

Makrotextur einer Fahrbahn

Abweichung einer Fahrbahnoberfläche von einer tatsächlich ebenen Oberfläche mit charakteristischen Abmessungen entlang der Oberfläche von 0,5 mm bis 50 mm, was Texturwellenlängen in den Bandmitten von Terzbändern im Bereich von 0,63 mm bis 50 mm entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spitze-Spitze-Amplituden dürfen üblicherweise im Bereich von 0,1 mm bis 20 mm liegen. Dieser Texturtyp weist Wellenlängen in derselben Größenordnung wie die Reifenprofilelemente auf der Reifenaufstandsfläche auf. Oberflächen werden üblicherweise mit ausreichend Makrotextur ausgelegt, um eine geeignete Entwässerung der Reifenaufstandsfläche zu erreichen. Die Makrotextur wird durch ein geeignetes Mischungsverhältnis von Zuschlagstoffen und Mörtel oder durch die Technik der Oberflächenbearbeitung erzielt. Die Größe der Makrotextur weist eine positive Korrelation mit der Größe des Splitts des Fahrbahnbelags auf.

3.2.3

Megatextur

Megatextur einer Fahrbahn

Abweichung einer Fahrbahnoberfläche von einer tatsächlich ebenen Oberfläche mit charakteristischen Abmessungen entlang der Oberfläche von 50 mm bis 500 mm, was Texturwellenlängen in den Bandmitten von Terzbändern im Bereich von 63 mm bis 500 mm entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spitze-Spitze-Amplituden liegen üblicherweise im Bereich von 0,1 mm bis 50 mm. Dieser Texturtyp weist Wellenlängen in der gleichen Größenordnung wie eine typische Reifenaufstandsfläche auf und wird oft durch Schlaglöcher oder Welligkeit der Oberfläche erzeugt. Er ist üblicherweise eine unerwünschte Eigenschaft, die durch Schäden in der Oberfläche hervorgerufen wird, kann jedoch auch eine Eigenheit des Fahrbahnbelags sein (z. B. Pflastersteine). Oberflächenrauheiten mit größeren Wellenlängen als bei der Megatextur werden als Unebenheiten bezeichnet, sie treten typischerweise in Form einer Wellenstruktur der Oberfläche auf.

3.2.4

Unebenheit

Fahrbahnunebenheit

Abweichung einer Fahrbahnoberfläche von einer tatsächlich ebenen Oberfläche mit charakteristischen Abmessungen entlang der Oberfläche von 0,5 m bis 50 m, was Wellenlängen in den Bandmitten von Terzbändern im Bereich von 0,63 m bis 50 m entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Fahrbahnmerkmale mit Wellenlängen von mehr als 0,5 m werden als oberhalb der Textur liegend angesehen und hier als „Unebenheit“ bezeichnet. Bei Flughäfen wären auch Wellenlängen über 50 m zu berücksichtigen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Unebenheit in Längsrichtung ist eine Art der Fahrbahnrauheit, die durch Schwingungen den Fahrkomfort in Fahrzeugen sowie die Spurhaltung von Fahrzeugen beeinträchtigt. Unebenheit in Querrichtung, z. B. durch Spurrillen, beeinträchtigt durch seitliche Instabilität und Wasseransammlung die Fahrsicherheit. Es ist nicht beabsichtigt, in diesen Teil von ISO 13473 Begriffe aufzunehmen, die sich speziell auf die Unebenheit beziehen. Solche Begriffe werden in ISO 8608, [1] ISO 16063-1, [2] ASTM E950/E950M-09, [3] und EN 13036-5 [5] definiert.

3.3 Messverfahren der Megatextur

3.3.1

Profilometer-Verfahren

Verfahren zur Messung des Profils einer Fahrbahn $Z(X)$, das zur Berechnung bestimmter mathematisch definierter Maßgrößen verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der gebräuchlichste Sensor für Profilometer setzt Laser ein. Meist wird das Profil für eine nachfolgende Analyse aufgezeichnet, in einigen Fällen darf es auch nur für Berechnungen in Echtzeit verwendet werden.

3.3.2

Messlänge

l_m

Länge eines ununterbrochenen Texturprofils, das analysiert worden ist oder werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messlänge wird üblicherweise in Meter ausgedrückt.

3.3.3

Auswertungslänge

l_e

Länge eines Abschnitts eines oder mehrerer Profile, für den die Megatextur RMS_{Me} (3.3.6) ausgewertet werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Auswertungslänge wird üblicherweise in Meter ausgedrückt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Auswertungslänge ist stets kleiner oder gleich der Messlänge.

3.3.4

Berechnungslänge

l_c

Länge eines Abschnitts eines oder mehrerer Profile, für den die Megatextur RMS_{Me} (3.3.6) berechnet werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Berechnungslänge wird üblicherweise in Meter oder Millimeter ausgedrückt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Berechnungslänge ist stets kleiner oder gleich der Auswertungslänge. Für jede Berechnungslänge wird ein Wert von RMS_{Me} angegeben.

3.3.5

Megatexturprofil $Z'(X)$

das Megatexturprofil $Z'(X)$ ist das Texturprofil nach der Anwendung der *Megatextur-Digitalfilter* (Anhang D) auf das Texturprofil $Z(X)$ (3.1.3)

3.3.6

Effektivwert der Abweichung vom Megatexturprofil

RMS_{Me}

Effektivwert (RMS) der Ordinatenwerte des Megatexturprofils $Z'(X)$ innerhalb der Berechnungslänge l_c

$$RMS_{Me} = \sqrt{\frac{1}{l_c} \int_0^{l_c} Z'^2(X) dX} \quad (1)$$

Dabei ist

l_c die Berechnungslänge;

$Z'(X)$ das Megatexturprofil

Anmerkung 1 zum Begriff: RMS_{Me} wird für diese Anwendung üblicherweise in Millimeter (mm) ausgedrückt.

Anmerkung 2 zum Begriff: RMS_{Me} wird in ISO 4287 als R_q (von „rugosité quadratique“ in Französisch) bezeichnet. Im Hinblick auf Fahrbeläge wird jedoch RMS_{Me} bevorzugt, da dies bereits einer der meistgenutzten Begriffe bei der Analyse von Fahrbahnen ist. Außerdem besteht ein Verwechslungsrisiko der Begriffe R_q und R_{ku} , die ähnlich ausgesprochen werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: In dem Fall, dass der Texturpegel L_{Me} (ausgedrückt in dB re. 1 μm) gegeben ist, wird RMS_{Me} , ausgedrückt in mm, einfach durch die Gleichung $RMS_{Me} = 0,001 \cdot \log(L_{Me}/20)$ errechnet. Umgekehrt wird, wenn RMS_{Me}

gegeben ist (ausgedrückt in mm), L_{Me} mit dem Ausdruck $L_{Me} = 20 \cdot \log(RMS_{Me} \cdot 1\,000)$ (dB re. 1 μ m) ermittelt. L_{Me} wurde in der vorherigen Version dieser Norm als Standardkennwert verwendet.

4 Messgeräte

4.1 Messgeräte allgemein

Es wird ein Profilometersystem verwendet, das ein elektrisches Signal proportional zum Abstand zwischen der Bezugsebene des Sensors und einem vorgegebenen Aufpunkt auf der Oberfläche erzeugt. Typische Sensoren sind üblicherweise elektrooptische Geräte oder eine Videokamera, jedoch dürfen auch andere Geräte verwendet werden, die die Anforderungen von ISO 13473-3 erfüllen. Die endgültige Ausgangsgröße muss in einem linearen Zusammenhang mit dem Texturprofil stehen, wobei die Linearität entweder durch die Hardware oder die Software erreicht werden darf.

Das Profilometersystem muss auch über eine Einrichtung verfügen, um den Sensor längs oder quer in einer Höhe (vertikal) über die Oberfläche zu führen, die mindestens über eine volle Wellenlänge im Wesentlichen konstant ist. Dies trifft jedoch nicht zu, wenn das Profil durch ein Verfahren wie den Lichtschnitt erzeugt wird, bei dem die Augenblickswerte des Profils und der zugehörigen Referenzlinie oder -ebene aufgezeichnet werden.

Nach ISO 13473-3 muss das Profilometersystem die folgenden Festlegungen erfüllen:

- Mobilitätsklasse: Mobil, Schnell oder Langsam;
- Texturwellenlänge: Klasse EF (63 mm bis 500 mm) oder breiter;
- Mindestwert des vertikalen Messbereichs: 60 mm;
- vertikale Auflösung: 0,04 mm oder besser;
- horizontale Auflösung: kleiner oder gleich dem Abtastintervall;
- größtes Abtastintervall: 5 mm;
- Texturwellenlängenbereich von Sensor und Aufzeichnungssystem: Über den gesamten Megatexturbereich muss der Frequenzgang des gesamten Systems zur Messung und Datenerfassung innerhalb von ± 1 dB liegen;
- Grundrauschen: maximal 0,05 mm effektiv (siehe dazu ISO 13473-3);
- Ausrichtung des Sensors und örtliche Steigungsbegrenzung: siehe ISO 13473-3.

4.1.1 Leistungsüberprüfung

Es müssen regelmäßig Leistungsüberprüfungen durchgeführt werden, die mit ISO/PAS 13473-6 übereinstimmen.

4.1.2 Anzeige ungültiger abgelesener Werte (ungültige Messwerte)

Durch die photometrischen Eigenschaften der Oberfläche oder durch Abschattung des Lichts in tiefen Vertiefungen des Profils kann es zu ungültigen Ablesungen („ungültigen Messwerten“) kommen. Daher muss das System über Mittel zur Identifizierung von ungültigen Messwerten verfügen.

ANMERKUNG Außerdem verschlechtern sich Laserdioden im Verlauf der Zeit, was schließlich zu einem Übermaß an ungültigen Ablesungen führen kann. Aus diesem Grund, und um zu überprüfen, dass die Intensität innerhalb der Herstellerspezifikation liegt, wird empfohlen, eine Möglichkeit zum Überprüfen der Intensität des Lasers in bestimmten Zeitabständen zur Verfügung zu haben. Ein Verfahren dafür wird in ISO/PAS 13473-6 beschrieben.

5 Überlegungen zur Prüfoberfläche

5.1 Allgemeines

Die Messungen dürfen nicht bei Regen oder Schnee durchgeführt werden. Während der Messungen muss die Oberfläche trocken sein, sofern nicht nachgewiesen ist, dass die verwendete Messeinrichtung auf nassen und trockenen Oberflächen gleichermaßen gut funktioniert. Außerdem muss die Oberfläche sauber und frei von allen Gegenständen sein, die die Messung stören könnten.

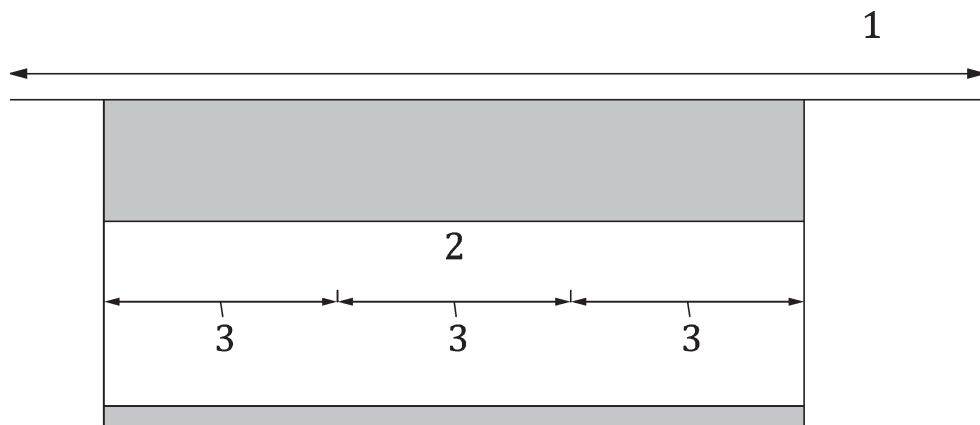
ANMERKUNG Die Messergebnisse eines optischen Systems sind auf Asphaltoberflächen, die erst vor kurzem verlegt wurden, nicht unbedingt sehr verlässlich, da solche Oberflächen üblicherweise außerordentlich dunkel und glänzend sind. Wenn Prüfungen der Megatextur während oder kurz nach dem Verlegen von Asphalt vorgenommen werden, können Verzerrungen durch Temperaturgradienten in der Luft über der Prüfoberfläche die Messergebnisse beeinflussen.

Bei Straßen, die für den Verkehr geöffnet sind, variiert die Textur üblicherweise über den Querschnitt. In diesem Fall soll bei der Wahl der seitlichen Position der Messungen die vorgesehene Verwendung der Ergebnisse berücksichtigt werden. RMS_{Me} der Megatextur kann sogar stark von der exakten seitlichen Position der Messung abhängen, was z. B. der Fall sein kann, wenn eine Bitumenfahrbahn sich auflöst oder in den Radspuren nachverdichtet wird. Dies sollte durch Sichtbeobachtungen beurteilt werden. Die seitliche Position sollte so genau wie möglich definiert werden, und in einigen Fällen könnte es empfehlenswert sein, mehrere Läufe über denselben Straßenabschnitt durchzuführen, um die Unsicherheit aufgrund seitlicher Ungleichmäßigkeit zu bewerten; siehe auch die Diskussion zur Messunsicherheit in Abschnitt 8 und in Anhang C.

5.2 Prüflängen

Die Berechnungslänge muss mindestens 1 m betragen.

ANMERKUNG Diese Länge hat ein BT-Produkt (Bandbreite $\times$ Länge) von etwa 16. Kürzere Berechnungslängen schließen die längeren Wellenlängen des Megatexturbereichs nicht genau ein und führen Versätze und Steigungen ein, die mit der Interpretation der Textur nicht verträglich sind.



Legende

- 1 Messlänge
- 2 Auswertungslänge
- 3 Berechnungslängen (1 m)

Bild 3 — Darstellung der Konzepte der „Messlänge“, „Auswertungslänge“ und „Berechnungslänge“

Es wird empfohlen, die Messungen und Auswertungen (und damit die Berechnungen) über den gesamten Prüfabschnitt auszuführen, d. h., wenn ein Profil in Längsrichtung über den Prüfabschnitt aufgezeichnet wird, sollten 100 % der Messlänge ausgenutzt werden.

Obgleich eine kontinuierliche Messung das Ideal darstellt, muss das gemessene Profil mindestens fünf gleichmäßig verteilte Profile von je 1 m je 100 m Länge des Prüfabschnitts umfassen. Die Berechnungslänge muss 1 m betragen.

Werden zur Charakterisierung eines langen Prüfabschnitts nur relativ kurze Abtastlängen vorgesehen, so wird sichergestellt, dass die Textur innerhalb der Prüflänge(n) ausreichend repräsentativ für die Gesamtlänge ist. Wenn es nicht möglich ist, den gesamten Abschnitt zu bewerten, ist es erforderlich, die Mindestzahl an Abtastwerten zu bestimmen, die nötig ist, um die Auswirkung jeglicher vermuteter Inhomogenitäten so klein wie möglich zu halten. Die Auswahl dieser Abtastwerte kann nach dem in Anhang F erläuterten Verfahren erfolgen.

6 Messverfahren

6.1 Allgemeines

Die Messungen müssen die folgenden Arbeitsschritte umfassen:

- a) Prüfung der Empfindlichkeit gegenüber vertikaler Bewegung des Fahrzeugs (nur in bestimmten Intervallen, siehe 6.2);
- b) Kalibrierung des Profilometersystems (siehe 6.3);
- c) Führung des Profilometers über den Prüfabschnitt und Messung des Oberflächenprofils der Fahrbahn (siehe 6.4) mit einer geeigneten Prüfgeschwindigkeit wie in 6.4 festgelegt.

6.2 Empfindlichkeit gegenüber vertikaler Bewegung des Fahrzeugs

Es wird sichergestellt, dass der Sensor zumindest während der Messung einer vollen Berechnungslänge und bei allen Betriebsgeschwindigkeiten stabil ist, oder dass eine Möglichkeit zum Ausgleich vertikaler Bewegungen vorhanden ist. Dies erfordert, dass vertikale Bewegungen, wie sie z. B. bei der Eigenfrequenz der Aufhängung des Sensors und/oder seiner Halterung auftreten, nur einen vernachlässigbar kleinen Einfluss haben dürfen, d. h., sie dürfen nicht gegen die in 4.1 festgelegten Anforderungen für das Grundrauschen verstoßen.

Eine geeignete Prüfung besteht darin, den Träger des Messgeräts so über eine glatte und ebene Oberfläche laufen zu lassen, dass die Reifen über einen auf der Fläche angeordneten Gegenstand von 20 mm bis 25 mm Höhe, 200 mm Breite und 100 mm bis 150 mm Länge rollen, zur gleichen Zeit auf die Oberfläche gelegt, während der Sensor nicht den Gegenstand misst. Das Überfahren dieses Gegenstands regt im Fahrzeug vertikale Bewegungen an. Die Differenz zwischen den mit und ohne Hindernis aufgezeichneten Profilen ist ein Kennwert für den Einfluss der vertikalen Bewegung des Fahrzeugs.

Die in diesem Abschnitt beschriebene Überprüfung ist nötig, wenn das Leistungsvermögen des Messsystems zum ersten Mal überprüft wird, sowie zu späteren Zeitpunkten, wenn sich die Leistung der Fahrzeugaufhängung verändert haben könnte.

Vor kurzem zeigte ein Experiment, das Schwingungen von Karosserien simulierte, dass die entstandene Unsicherheit nicht mehr als 4 % der Texturamplitude beträgt [16].

6.3 Kalibrierung

Die Kalibrierung muss durchgeführt werden, indem der Sensor über eine spezielle Kalibrieroberfläche mit einem definierten Profil geführt wird. Die vertikale Abweichung der Kalibrieroberfläche vom theoretischen Profil darf 1 % der Spitze-Spitze-Amplitude nicht übersteigen.

Das Grundrauschen bei Messung im Stillstand gegenüber einer Studie mit einer simulierten Geschwindigkeit von 70 km/h sollte weniger als 0,05 mm RMS_{Me} betragen.

Die Kalibrierverfahren werden hier nicht näher festgelegt. Sie müssen so ausgelegt sein, dass der Standardunsicherheitsbeitrag durch das Verfahren (zusätzlich zu dem der Kalibrieroberfläche, siehe weiter oben) nicht größer als $10\text{ }\mu\text{m RMS}_{\text{Me}}$ ist.

Die verwendete Art der Kalibrierung wird angegeben.

ANMERKUNG Die Grundprinzipien von Kalibrierverfahren und Beispiele von Kalibrieroberflächen werden in ISO 13473-3, Anhang A erläutert. Die Möglichkeit zur Anpassung an den für die Megatextur zutreffenden Wellenlängenbereich wird berücksichtigt, auch wenn die Kalibrieroberfläche, die für den Makrotexturbereich vorgesehen ist, ebenfalls für die Megatextur verwendet werden kann, falls die Grundwellenlänge mindestens 10 mm beträgt.

6.4 Messgeschwindigkeit

Abweichungen der Messgeschwindigkeit können die Genauigkeit des Messprofils beeinträchtigen; siehe auch ISO 13473-4. Diese enthält Anforderungen an ein Messsystem auf Grundlage der Distanz. Die Geschwindigkeit, mit der ein Profil abgetastet wird, muss so gewählt werden, dass die Anforderungen an Abtastung und Bandbreite erfüllt werden.

6.5 Messung des Texturprofils

Das Texturprofil muss mit Abtastintervallen gemessen werden, die kleiner oder gleich 5 mm sind. Abtastintervalle von mehr als 5 mm Länge führen zu übermäßigen Messfehlern.

ANMERKUNG Der durch längere Abtastintervalle verursachte Fehler stammt aus Alias-Störungen. Fehler durch Alias-Störungen treten auf, wenn Funktionen abgetastet werden, ohne vorher durch einen Tiefpass gefiltert worden zu sein. Auch Texturprofile, die mit Abtastintervallen von höchstens 5 mm gemessen werden, können Alias-Störungen aufweisen, die Auswirkung auf die Megatextur ist jedoch nicht signifikant. Wenn das Abtastintervall größer als 5 mm ist, wird der durch Alias-Störungen verursachte Fehler signifikant.

Wird das gemessene Profil ebenfalls zur Bestimmung der Makrotextur nach ISO 13473-1 verwendet, so muss das Abtastintervall die Anforderungen in ISO 13473-1 erfüllen.

7 Datenverarbeitung

7.1 Allgemeines

Die Messungen und Berechnungen müssen folgende Arbeitsschritte umfassen:

- Beseitigung der Auswirkungen von ungültigen Messwerten;
- Neuabtastung (en: resampling) für eine bestimmte räumliche Auflösung;
- Beseitigung der Auswirkungen von Spitzen;
- Anwendung des Megatextur-Digitalfilters auf den Teil des Profils, der für die Berechnung des RMS_{Me} -Werts verwendet werden wird;
- Berechnung des RMS_{Me} -Werts $\text{RMS}_{\text{Me},i}$ für Teil i des Profils mit Berechnungslänge l_c .

7.2 Vorverarbeitung: Anteil ungültiger Messwerte und Gültigkeit der Messungen

Es muss darauf geachtet werden, dass ungültige Ablesungen aus dem Profil entfernt werden. Ungültige Messungen können zum Beispiel aufgrund von photometrischen Eigenschaften der Oberfläche oder der Abschattung des Lichts in tiefen Vertiefungen des Profils auftreten. Der ungültige Teil des Profils muss stattdessen durch interpolierte Daten aus den nächsten gültigen Punkten ersetzt werden.

Wie in Bild 2 dargestellt, können mehrere ungültige Messwerte nacheinander auftreten. Wenn einer Reihe von ungültigen Abtastwerten gültige Abtastwerte vorausgehen und folgen, muss jeder der ungültigen Abtastwerte durch einen interpolierten Wert ersetzt werden. Es muss lineare Interpolation verwendet werden.

Im Hinblick auf die lineare Interpolation werden die ungültigen Abtastwerte durch interpolierte Werte z_i nach Gleichung (2) ersetzt:

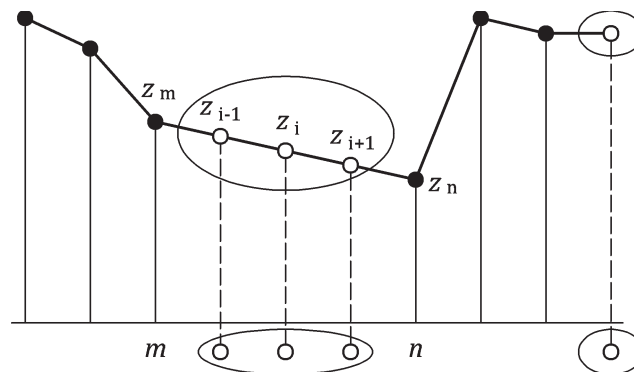
$$z_i = \frac{z_n - z_m}{n - m} (i - m) + z_m \quad (2)$$

Dabei ist

- i die Nummer des ungültigen Abtastwerts;
- m die Nummer des nächsten gültigen Abtastwerts vor i ;
- n die Nummer des nächsten gültigen Abtastwerts nach i ;
- z_i der interpolierte Wert für Abtastwert i ;
- z_m der Abtastwert m ;
- z_n der Abtastwert n .

Stellt der/stellen die ungültige(n) Abtastwert(e) den Anfang oder das Ende des abgetasteten Profils dar, so müssen die ungültigen Abtastwerte durch den nächsten gültigen Abtastwert ersetzt werden. Dieses Extrapolationsverfahren muss auf eine größte Länge auf jeder Seite des abgetasteten Profils vom 5-fachen des Abtastintervalls beschränkt werden. Gibt es am Anfang oder am Ende eines abgetasteten Profils mehr ungültige Abtastwerte als 5-mal das Abtastintervall, so soll der/sollen die betroffene(n) RMS_{Me} -Wert(e) verworfen werden.

Für die Untersuchung von Singularitäten der Deckschicht (wie Fugen) können diese bewusst unter der Bedingung in die Analyse aufgenommen werden, dass keine Ablesungen mit ungültigen Messwerten des Sensors auftreten.



ANMERKUNG Ungültige Messwerte werden durch nicht gefüllte Symbole dargestellt.

Bild 4 — Darstellung der Interpolation und Extrapolation von ungültigen Messwerten

ANMERKUNG In dem in Bild 2 dargestellten Fall gibt es drei innere aufeinanderfolgende ungültige Messwerte, die zwischen den Abtastwerten an den Positionen m und n linear interpoliert werden, und einen ungültigen Messwert am Ende des Profils, der aus dem vorhergehenden Abtastwert extrapoliert wird.

Die Messung auf einem bestimmten Fahrbahnprofil wird nur als gültig angesehen, wenn der Anteil ungültiger Werte das folgende Kriterium erfüllt [13]:

- Berechnungslängen mit Verlust von Daten aufgrund von ungültigen Messwerten kleiner oder gleich 10 % (der Gesamtzahl von Abtastwerten), andernfalls muss RMS_{Me} für die Berechnungslänge verworfen werden.

7.3 Neuabtastung für eine bestimmte räumliche Auflösung

Diese Anforderung gilt für die Mehrheit der Profilometersysteme, insbesondere für solche, die die Abtastung auf einer Zeitbasis (konstantes Abtastzeitintervall) durchführen, was wegen Abweichungen der Messgeschwindigkeit zu einem Profil mit veränderlicher räumlicher Auflösung führen kann (nicht konstante Abtastdistanzintervalle). Dieser Neuabtastungsschritt ist möglicherweise nicht erforderlich, wenn die Messeinrichtung auf Basis der Distanz abtastet oder wenn ein gleichartiger Neuabtastvorgang innerhalb der Messeinrichtung durchgeführt wird.

Die Neuabtastung erfolgt durch Berechnung des arithmetischen Mittels aller ursprünglichen Abtastwerte, die im neuen Abtastintervall liegen. RMS_{Me} wird unter Verwendung von Profilen mit einer Abtastung von 5 mm berechnet, und nur 5 mm.

ANMERKUNG 1 Wenn ein Profil ein Abtastintervall von mehr als 5 mm hat, ist es für eine RMS_{Me} -Berechnung nicht geeignet.

ANMERKUNG 2 Die Verwendung aller ursprünglichen Abtastwerte, die in dem neuen Intervall liegen, ist eine Form der Tiefpassfilterung und ist erforderlich, um den Fehler durch Alias-Störungen zu verringern.

7.4 Identifizierung von Spitzen und Neuformung des Profils

Das Verfahren zur Entfernung von Spitzen muss Anhang A entsprechen. Die Entfernung von Spitzen muss durchgeführt werden. Damit das Segment gültig ist, sollten die entfernten Spitzen nicht mehr als 5 % je Berechnungslänge entsprechen.

7.5 Filterung des Profils

Tiefpass- und Hochpassfilterung müssen durchgeführt werden, um die Beiträge der Ebenheit bzw. des Makrotexturbereichs auszuschließen. Das Filter muss ein Butterworth-Filter 2. Ordnung sein, in Vorwärts-Rückwärts-Anwendung verwendet werden und eine Grenzwellenlänge von ungefähr 56,2 mm bzw. 562 mm ergeben, wenn es in beiden Richtungen angewendet wird. Die geeigneten Filter und die Technik werden in Anhang D beschrieben.

Im Idealfall sind ein „Vorlauf“- und ein „Nachlauf“-Abschnitt von jeweils 1 m vor und nach dem zu berechnenden Abschnitt verfügbar. Sind vor und nach diesem Abschnitt keine Daten für die Berechnung verfügbar, so sollte das Signal erweitert werden, indem das erste und das letzte Segment vor der Filterung gespiegelt werden. In jedem Fall sollte ein starker Versatz vermieden werden, daher sollte die Ausgleichsgerade vom Profil subtrahiert werden. Das obligatorische Verfahren dafür ist in Anhang G enthalten.

7.6 Berechnung von RMS_{Me}

Das gefilterte Profil wird zur Berechnung von RMS_{Me} verwendet. Die Berechnung muss je Berechnungslänge nach Gleichung (1) erfolgen.

7.7 Mittelung

Wenn RMS_{Me} -Werte für die Auswertungslänge gemittelt werden müssen, muss das quadratische Mittel verwendet werden, um einen repräsentativen Wert für einen längeren verbundenen Abschnitt zu erzeugen, siehe Gleichung 4.

$$\overline{RMS_{Me}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n RMS_{Me,i}^2}{n}} \quad (4)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Abtastwerte (Berechnungslängen) innerhalb der Auswertungslänge;

$RMS_{Me,i}$ der RMS einer einzelnen Berechnungslänge (siehe 3.3.2);

$\overline{RMS_{Me}}$ der Mittelwert für die gesamte Auswertungslänge.

7.8 Standardabweichung in Längsrichtung (informativ)

Die Standardabweichung in Längsrichtung ist möglicherweise als eine Maßgröße der Gleichmäßigkeit einer Oberfläche im Wellenlängenbereich der Megatextur von Nutzen. Die Standardabweichung in Längsrichtung, $s_{RMS_{Me}}$, ist die Standardabweichung von RMS_{Me} für alle Berechnungslängen innerhalb der Auswertungslänge:

$$s_{RMS_{Me}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RMS_{Me,i} - \overline{RMS_{Me}})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Dabei ist

n die Anzahl der Abtastwerte (Berechnungslängen) innerhalb der Auswertungslänge;

$RMS_{Me,i}$ der RMS_{Me} , i -te Berechnungslänge (siehe 3.3.2);

$\overline{RMS_{Me}}$ das RMS_{Me} -Mittel der RMS_{Me} -Werte aller Berechnungslängen.

7.9 Singularitäten

Eine Singularität ist ein Rauheitsmerkmal der Oberfläche, das sich innerhalb eines Abschnitts von 100 m von einer Auswertungslänge zur anderen nicht wiederholt. Beispiele von Singularitäten sind:

- a) Schlaglöcher, falls sie sich nicht über eine Strecke von mehr als 10 m wiederholen oder fortsetzen;
- b) vertieft liegende Einstiegsluken;
- c) Brückenfugen;
- d) beschädigte Fugen zwischen Betonplatten (obwohl die Fugen selbst sich üblicherweise regelmäßig wiederholen und nicht als Singularitäten angesehen werden dürfen);
- e) starker Verlust von Splitt an einer einzelnen Stelle;
- f) Niveauänderungen auf einer Fahrbahn, von der ein Abschnitt vorübergehend weggefräst worden ist, oder zwischen zwei Arten von Deckschichten;
- g) Markierungen an Fußgängerübergängen;
- h) Vertiefungen durch mechanische Schäden an der Fahrbahn.

Um den RMS_{Me} -Wert einer Singularität darzustellen, wird das gemessene Profil wie folgt bearbeitet:

Der RMS_{Me} wird über eine Auswertungslänge von 1 m berechnet, innerhalb derer sich die Singularität befindet, und dieser Pegel wird als typischer Wert verwendet, der die Singularität beschreibt. Das Symbol für diese Schwelle ist RMS_{sg} .

8 Messunsicherheit

Das in diesem Dokument beschriebene Messverfahren wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, die für denselben Gegenstand zu Abweichungen in den beobachteten Ergebnissen führen. Die Quelle und die Natur dieser Störeinflüsse sind nicht genau bekannt. Die Messunsicherheit muss nach [15] bestimmt werden.

Nach [15] muss jede bedeutende Quelle der Unsicherheit identifiziert werden. Quellen der Unsicherheit werden identifiziert und müssen in Übereinstimmung mit dem in [15] beschriebenen Verfahren bearbeitet werden. Für den Fall von Megatexturmessungen sollten mindestens die folgenden Kategorien der Unsicherheit bestimmt werden:

- 1) Unsicherheit der Messgeräteausstattung;
- 2) Unsicherheit aufgrund von Abweichungen beim Betrieb;
- 3) Unsicherheit aufgrund von externen Störungen;
- 4) Unsicherheit der Signalverarbeitung und Berechnung.

Eine genauere Analyse der Unsicherheitsbeiträge einer Messung von RMS_{Me} eines Straßenabschnitts wird in Tabelle 1 gezeigt. Es ist zu beachten, dass die Unsicherheiten als Standardabweichungen ausgedrückt sind.

ANMERKUNG Die hier vorgeschlagenen Listen der Unsicherheitskategorien und Unsicherheitsbeiträge sind nicht erschöpfend.

Tabelle 1 — Vorlage für eine Unsicherheitsanalyse einer Messung des RMS_{Me} -Werts nach dem in dieser Norm erläuterten Messverfahren

Unsicherheitskategorie	Quelle der Unsicherheit von RMS_{Me}	Schätzwert	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Unsicherheitsbeitrag $c_i u_i$	Abschnitt
1	Messeinrichtung				4.1
1	Umwelteinflüsse auf die Einrichtungen				4.1.1
2	Abweichung der Berechnungslänge				3.3.3
2	Abweichung der Anfangs- und Endposition der Berechnungslänge				3.3.3
2	Vertikale Bewegung des Messfahrzeugs				6.2
2	Abweichungen der Messgeschwindigkeit				6.4
3	Umwelteinflüsse auf die Messungen				4.1.1
4	Korrektur von ungültigen Messwerten				6.5
4	Entfernen von Spitzen				6.7

Tabelle 1 (*fortgesetzt*)

Unsicherheits-kategorie	Quelle der Unsicherheit von RMS_{Me}	Schätz-wert	Wahrschein-lichkeits-Verteilung	Unsicherheits-beitrag $c_i u_i$	Abschnitt
4	Unvollkommenheiten des Megatexturfilters				7.1
Kombinierte Unsicherheit u_c					

Der Wert dieser Unsicherheitsbeiträge muss mit dem in [15] angegebenen Verfahren bewertet werden. Es kann auf existierenden statistischen Daten, der Analyse von in diesem Dokument angegebenen Toleranzen und technischem Urteilsvermögen beruhen. Die benötigten Informationen, aus denen die Gesamtunsicherheit hergeleitet wird, sind in Tabelle 1 angegeben. Tabelle C.1 ist eine Kopie von Tabelle 1, enthält jedoch einige typische Werte.

ANMERKUNG 1 Der Schätzwert ist der Mittelwert der Abweichung durch einen gegebenen Unsicherheitsbeitrag.

ANMERKUNG 2 c_i ist der Empfindlichkeitskoeffizient, der das relative Gewicht jedes Unsicherheitsbeitrags widerspiegelt, in dieser Anwendung sind jedoch alle c_i gleich 1.

ANMERKUNG 3 Der Beitrag „Umwelteinflüsse auf die Einrichtungen“ behandelt externe Faktoren, die die Funktion der Einrichtungen beeinflussen (z. B. hohe Temperatur, die ein höheres elektronisches Rauschen des Lasersensors verursacht), wohingegen der Beitrag „Umwelteinflüsse auf die Messungen“ externe Einflüsse abdeckt, die möglicherweise die Messergebnisse verfälschen.

ANMERKUNG 4 Aufeinanderfolgende Messungen mit denselben Einrichtungen über denselben Prüfabschnitt können wegen der Ungleichmäßigkeit der Textur in Längsrichtung über die Berechnungslänge deutlich verschiedene Ergebnisse ergeben, dies wird jedoch nicht als ein Beitrag zur Unsicherheit angesehen. Es wird allerdings empfohlen, besonders auf das folgende Phänomen zu achten: der Effekt ist üblicherweise für neue Asphaltoberflächen ohne Spuren von Abnutzung, Nachverdichtung in den Radspuren oder Verschmutzung vernachlässigbar. Abgenutzte oder nachverdichtete Asphalt-oberflächen oder Betonfahrbahnläge – selbst neue – können eine sehr starke Ungleichmäßigkeit in Querrichtung aufweisen und möglicherweise die Verlässlichkeit von Texturmessungen infragestellen. Falls Zweifel über die Gleichmäßigkeit in Querrichtung bestehen, werden wiederholte Messungen empfohlen, die ein robusteres Ergebnis durch Mittelung und eine Schätzung der Unsicherheit des Ergebnisses ergeben.

Die kombinierte Standardunsicherheit u_c wird mit Gleichung 5 errechnet:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (c_i u_i)^2} \quad (5)$$

Dabei ist $c_i u_i$ der Empfindlichkeitskoeffizient, multipliziert mit dem Unsicherheitsbeitrag.

Die erweiterte Unsicherheit U wird durch Multiplikation der kombinierten Standardunsicherheit u_c mit dem jeweiligen Erweiterungsfaktor für die gewählte Überdeckungswahrscheinlichkeit berechnet, wie in [15] beschrieben.

Anhang C enthält eine ausführliche Liste der Standardunsicherheiten und Empfindlichkeitskoeffizienten jeder Quelle sowie typische Werte für eine Oberfläche, die zu einem RMS_{Me} -Wert von etwa 0,5 mm führen, beruhend auf einer Auswertungslänge von 100 m. Mit diesen Werten ergibt die Unsicherheitsanalyse eine Standardunsicherheit des RMS_{Me} -Werts von 0,04 mm.

Tabelle 2 ist eine Vorlage, die die erweiterte Unsicherheit und die Überdeckungswahrscheinlichkeit für den Fall darstellt, dass das Verfahren angewendet wird und einzelne Quellenunsicherheiten mit Tabelle C.1 übereinstimmen.

Tabelle 2 — Erweiterte Unsicherheit (U) und Überdeckungswahrscheinlichkeit (beruhend auf Tabelle 1)

Überdeckungswahrscheinlichkeit	Erweiterte Unsicherheit U
%	mm
95	

Siehe Anhang C für ein Beispiel für eine quantitative Analyse.

9 Hinweise zur Sicherheit bei den Messungen

WARNUNG — Dieses Dokument kann gefährliche Tätigkeiten nötig machen, wenn Messungen an Fahrbahnen im fließenden Verkehr durchgeführt werden. Die Personen und Fahrzeuge am Messort müssen mit Sicherheits- oder Warneinrichtungen entsprechend den an diesem bestimmten Standort zu dieser bestimmten Zeit gültigen Bestimmungen für Arbeiten im fließenden Verkehr (falls solche existieren) ausgestattet sein. Darüber hinaus befasst sich dieses Dokument nicht mit den Sicherheitsfragen, die sich aus seiner Anwendung ergeben. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieses Dokuments, geeignete Maßnahmen zur Wahrung von Sicherheit und Gesundheit zu ergreifen und vor der Anwendung die Anwendbarkeit von gesetzlichen Beschränkungen zu prüfen.

10 Prüfbericht

Die Ergebnisse werden in einem Formblatt angegeben, das mindestens die folgenden Positionen enthält:

ANMERKUNG Einige der Felder des Berichts sind optional.

a) Verweisungen:

- 1) Bezeichnung der die Prüfung durchführenden Institution,
- 2) Beschreibung und Bezeichnung des Messsystems,
- 3) Name der Institution, die die Prüfung in Auftrag gegeben hat (optional),
- 4) Namen des Messpersonals (optional),
- 5) Datum, an dem das Messgerät von einer dazu berechtigten Institution überprüft und/oder kalibriert wurde, sowie Name der Institution, die diese Dienstleistung ausführte;

b) Kennzeichnung des Standorts:

- 1) Nummer oder Name der Straße,
- 2) gemessener Abschnitt, vorzugsweise durch Kennzeichnung sowohl des Anfangs als auch des Endes (z. B. mit Koordinaten oder Kilometermarkierungen),
- 3) Ordnung der Straße, einschließlich Anzahl der Fahrspuren (optional), sowie die Vorgeschichte des Standorts, z. B. Datum der Herstellung der Fahrbahn (optional),
- 4) Fahrspur und Fahrtrichtung der Messungen,

- 5) gemessene Radspur (z. B. Spur des linken Rads, Spur des rechten Rads oder zwischen den Radspuren);
- c) Beschreibung der Prüfoberfläche:
- 1) Art der Fahrbahn(en),
 - 2) maximale Größe und Gradation von Zuschlagstoffen (optional)
 - 3) Herkunft des Werkstoffs (optional),
 - 4) Zustand der Oberfläche (optional),
 - 5) Besonderheiten des Herstellungsverfahrens der Fahrbahn (optional);
- d) spezielle Merkmale des Prüfbereichs und der Prüfung:
- 1) Datum der Messung,
 - 2) Witterungsbedingungen (optional),
 - 3) besondere Bedingungen bei der Prüfung, z. B. mögliches Vorhandensein von Schmutz oder anderen Verunreinigungen auf der Fahrbahn (optional);
- e) Darstellung der Ergebnisse mit folgenden Angaben:
- 1) Auswertungslänge und Berechnungslänge,
 - 2) gemessener RMS_i einschließlich arithmetischem Mittelwert und seiner Standardabweichung s_{RMSMe} ,
 - 3) Nummer zur Kennzeichnung der Messung (optional),
 - 4) Position jeder Messung in Längsrichtung (optional),
 - 5) Wert von $RMS_{Me,g}$ für jede auffällige Singularität,
 - 6) Histogramm der auf dem geprüften Abschnitt ermittelten Werte (optional),
 - 7) erweiterte Messunsicherheit.

Anhang B enthält ein Beispiel für einen Prüfbericht.

Anhang A (normativ)

Verfahren zur Entfernung von Spitzen

A.1 Allgemeines

Wie in 4.1.2 angegeben, muss ein Laser-Profilometer zwingend über ein System zur Erkennung von ungültigen Ablesungen verfügen. Dieses System kann jedoch Fehler machen, und manchmal werden ungültige Messwerte nicht als solche erkannt. Dies kann zu „Phantom“-Spitzen im Profil führen, was das Ergebnis stark verzerren kann.

Daher ist es ratsam, a posteriori ein Verfahren [8] auf das gemessene Texturprofil anzuwenden, das „verdächtige“ hohe und scharfe Spitzen aus dem Profil entfernt. Das in diesem Anhang erläuterte Verfahren ist dazu gedacht, in den Datenverarbeitungsablauf *nach* der Behandlung von ungültigen Ablesungen wie in 7.2 beschrieben eingeschoben zu werden, d. h. die ungültigen Messwerte werden durch Werte ersetzt, die zwischen den nächsten gültigen Ablesungen interpolieren, bevor die Entfernung der Spitzen durchgeführt wird. Das Verfahren zur Entfernung von Spitzen soll demnach Spitzen entfernen, die durch das Verfahren zur Behandlung von ungültigen Messwerten „durchgerutscht“ sind.

Das Verfahren besteht grundsätzlich darin, Datenpunkten den Status „ungültig“ zuzuweisen, die bestimmte Kriterien erfüllen, auch wenn sie während der Messung nicht als ungültige Messwerte erkannt wurden. Das Verfahren, „übermäßige Steigung“ genannt, ist sehr unkompliziert:

Angenommen, ein Profil hat die Amplituden z_i , die zum horizontalen Index i gehören, und eine Schrittweite Δx . Das Kriterium dafür, dem i . Datenpunkt a posteriori den Status einer ungültigen Ablesung zuzuweisen, ist:

$$|z_i - z_{i-1}| \geq \alpha \cdot \Delta x \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist α ein konstanter Faktor ($\alpha = 3$).

ANMERKUNG Es hat sich gezeigt, dass $\alpha = 3$ eine gute Wahl ist [14].

Das Kriterium (A.1) wird für alle Datenpunkte i des Profils überprüft. Danach muss das Verfahren in umgekehrter Richtung wiederholt werden. Die Spitzen werden zuerst in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung identifiziert, bevor sie durch interpolierte Werte ersetzt werden.

Anschließend wird ein Interpolationsverfahren für die Behandlung von ungültigen Messwerten angewendet, wie in 6.5 beschrieben.

A.2 Beispiel

Das Verfahren wird durch ein Beispiel verdeutlicht, siehe Bild A.1, Bild A.2 und Bild A.3.