

DIN EN ISO 13473-1

ICS 17.140.30; 93.080.20

Einsprüche bis 2017-09-28
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 13473-1:2004-07

Entwurf

**Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen –
Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe (ISO/DIS 13473-1:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 13473-1:2017**

Characterization of pavement texture by use of surface profiles –
Part 1: Determination of mean profile depth (ISO/DIS 13473-1:2017);
German and English version prEN ISO 13473-1:2017

Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface –
Partie 1: Détermination de la profondeur moyenne du profil (ISO/DIS 13473-1:2017);
Version allemande et anglaise prEN ISO 13473-1:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-07-28 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 106 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)
DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13473-1:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-05 AA „Geräusch-emissionsmessungen 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 beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

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

IEC 60825-1:2014	siehe DIN EN 60825-1:2015-07 (VDE 0837-1)
ISO 3274	siehe DIN EN ISO 3274
ISO 4288	siehe DIN EN ISO 4288
ISO 5725 (alle Teile)	siehe DIN ISO 5725 (alle Teile)
ISO 10844:2014	siehe DIN ISO 10844:2016-09

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 13473-1:2004-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich überarbeitet;
- b) Abschnitt 2 „Normative Verweisungen“ aktualisiert;
- c) gesamtes Dokument inhaltlich umstrukturiert und überarbeitet;
- d) Literaturhinweise aktualisiert;
- e) Dokument redaktionell an die aktuell gültigen Gestaltungsregeln angepasst.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60825-1:2015-07 (VDE 0837-1), *Sicherheit von Lasereinrichtungen — Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen (IEC 60825-1:2014); Deutsche Fassung EN 60825-1:2014*

DIN EN ISO 3274, *Geometrische Produktspezifikationen (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten*

DIN EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN ISO 5725 (alle Teile), *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Meßverfahren und Meßergebnissen*

DIN ISO 10844:2016-09, *Akustik — Anforderungen an Prüfstrecken zur Messung der Geräuschemission von Straßenfahrzeugen und ihren Reifen (ISO 10844:2014)*

— Leerseite —

Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe (ISO/DIS 13473-1:2017)

Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface — Partie 1 : Détermination de la profondeur moyenne du profil (ISO/DIS 13473-1:2017)

Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 1: Determination of mean profile depth (ISO/DIS 13473-1:2017)

ICS:

Deskriptoren:

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
4 Prüfoberflächen	10
4.1 Zustand der Oberfläche	10
4.2 Anzahl der vor Ort je Prüfabschnitt zu erfassenden Daten	11
4.2.1 Kontinuierliche Messungen	11
4.2.2 Punktmessungen	11
4.3 Anzahl der an Laborproben zu erfassenden Daten	11
5 Messgeräte	12
5.1 Instrumente im Allgemeinen	12
5.2 Auflösung in vertikaler Richtung	12
5.3 Auflösung in horizontaler Richtung	12
5.4 Horizontale Genauigkeit	13
5.5 Messgeschwindigkeit	13
5.6 Ausrichtung des Aufnehmers	13
5.7 Bandbreite des Aufnehmers und Aufzeichnungssystems	14
5.8 Leistungsprüfung	14
5.9 Angabe ungültiger Messwerte (Drop-outs)	15
5.10 Empfindlichkeit gegenüber Schwingungen	15
6 Messverfahren	15
6.1 Leistungsprüfungen	15
6.2 Messungen	15
6.3 Kontinuierliche oder Punktmessungen	15
7 Datenverarbeitungsverfahren	16
7.1 Einleitung	16
7.2 Zusammenfassung der Datenverarbeitungsschritte	16
7.3 Korrektur ungültiger Messwerte	17
7.4 Resampling auf eine bestimmte räumliche Auflösung	18
7.5 Identifizierung von Störzonen und Umformung des Profils	18
7.6 Entfernung von Komponenten mit langer Wellenlänge und Normalisierung der Profilschärfe	19
7.7 Segmentbegrenzung	19
7.8 Bestimmung des Spitzenwert und <i>MSD</i>	19
7.9 Entfernung extremer <i>MSD</i> -Werte (optional)	20
7.10 Mittelwertbildung der <i>MSD</i> zur Bestimmung der <i>MPD</i>	20
7.11 Berechnung der <i>ETD</i> (optional)	20
8 Bewertung der Messunsicherheit nach ISO/IEC Guide 98-3	21
9 Sicherheitserwägungen	23

10	Prüfbericht.....	23
	Anhang A (informativ) Texturbereiche.....	25
	Anhang B (informativ) Bei speziellen Oberflächen festgestellte Probleme	28
	Anhang C (informativ) Verfahren zur Messung der mittleren Segmenttiefe	30
	Anhang D (informativ) Verfahren zur Verbesserung der Datenqualität.....	34
	Anhang E (normativ) Verfahren zur Entfernung von Störzonen	39
	Anhang F (informativ) Messunsicherheit.....	42
	Anhang G (informativ) Leistungsprüfung	46
	Anhang H (informativ) Flussdiagramme für die Bestimmung der <i>MSD</i> und <i>MPD</i>	49
	Literaturhinweise.....	52

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 13473-1:2017) 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 13473-1:2004 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 13473-1:2017 wurde von CEN als prEN ISO 13473-1:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees 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 Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

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

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link 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 13473-1:1997), die technisch überarbeitet wurde.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13473 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Die Textur des Fahrbahnbelags bestimmt Faktoren wie etwa die Geräuschemissionen aus der Reifenaufstandsfläche, den akustischen Komfort im Fahrzeuginnenraum, die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, den Rollwiderstand und den Reifenverschleiß. Gültige Verfahren zur Messung der Oberflächentextur sind daher äußerst wünschenswert.

Das so genannte „Sandfleckverfahren“, oder allgemeiner das „volumetrische Verfahren“ (siehe Abschnitt 3 „Begriffe“), wird weltweit seit vielen Jahren verwendet, um einen einzelnen und sehr einfachen Messwert zur Beschreibung der Oberflächentextur zu erhalten. Es beruht auf einem bestimmten Volumen an Sand oder Glaskugeln, das auf einer Oberfläche ausgebreitet wird. Das Material wird so verteilt, dass es einen kreisförmigen Fleck bildet, dessen Durchmesser gemessen wird. Wenn man das Volumen des verteilten Materials durch die bedeckte Fläche dividiert, erhält man einen Wert, der die mittlere Tiefe der Schicht aus Sand oder Glaskugeln darstellt, d. h. eine „mittlere Texturtiefe“. Das Verfahren wurde ursprünglich in Anhang A zu ISO 10844:2014 [25] genormt, um Grenzwerte der Oberflächentextur für eine Referenzfläche für die Prüfung von Fahrzeuggeräuschen zu bestimmen, wurde jedoch später als EN 13036-1 von CEN übernommen.

Das volumetrische Verfahren ist anwenderabhängig und kann nur auf Fahrbahnen angewendet werden, die teilweise oder ganz für den Verkehr geschlossen sind. Es eignet sich daher beispielsweise nicht für Messungen in öffentlichen Straßennetzen. Mit der Entwicklung von berührungslosen, das Oberflächenprofil aufzeichnenden Verfahren wurde es möglich, die volumetrische Messung durch aus Profilaufnahmen abgeleiteten Messungen zu ersetzen, die mit mobilen Geräten im fließenden Verkehr aufgenommen werden können. Es wurden jedoch mehrere sehr unterschiedliche Verfahren angewendet, um die „vorhergesagte mittlere Texturtiefe“ zu berechnen, die teilweise recht erfolgreich waren. Die erhaltenen Werte sind nicht immer untereinander vergleichbar, bieten jedoch einzeln allgemein gute Korrelationskoeffizienten mit der durch das volumetrische Verfahren gemessenen Texturtiefe.

Es ist daher wichtig, ein genormtes Verfahren für die Messung und Bewertung der Texturtiefe mithilfe eines moderneren, sichereren und effizienteren Verfahrens als dem traditionellen volumetrischen Verfahren zu haben, dessen Werte direkt mit den Werten aus dem volumetrischen Verfahren und zwischen verschiedenen Messeinrichtungen vergleichbar sind.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 13473 beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der mittleren Tiefe der Makrotextur der Fahrbahnoberfläche (siehe Abschnitt 3 „Begriffe“) durch Messung des Profils einer Oberfläche und Berechnung der Texturtiefe aus diesem Profil. Das Verfahren dient dazu, einen Wert ausschließlich für die mittlere Tiefe der Makrotextur des Fahrbahnbelags zu liefern, und ist als unempfindlich gegenüber der Mikrotextur und Unebenheit der Fahrbahn zu berücksichtigen.

Zweck dieses Teils von ISO 13473 ist es, ein international anerkanntes Verfahren zur Bestimmung der Texturtiefe der Fahrbahnoberfläche als Alternative zu dem herkömmlichen volumetrischen Verfahren (üblicherweise unter Verwendung von Sand- oder Glaskugelflecken), das vergleichbare Texturtiefenwerte ergibt, verfügbar zu machen.

Die meisten aktuell verwendeten Profilometer sind in kontaktloser Ausführung (z. B. Laser oder Lichtschlitz, um nur einige zu nennen) und diese Norm ist für diese Ausführung vorgesehen. Relevante Teile dieser Norm können jedoch auch für eine Kontakt-Ausführung der Profilometer gelten.

Die Normenreihe ISO 13473 wurde aufgrund eines festgestellten Bedarfs bei der Festlegung einer Prüfoberfläche für Messungen der Fahrzeuggeräusche (ISO 10844) erstellt. Makrotexturtiefenmessungen nach der vorliegenden Internationalen Norm sind nicht in jedem Fall dafür geeignet, Prüfbedingungen für Fahrzeug- oder Verkehrsgeräuschmessungen festzulegen, sie sind aber in Verbindung mit anderen Verfahren zur Festlegung einer Oberfläche bedingt als Ergänzung verwendbar.

Das hier beschriebene Prüfverfahren ist für die Bestimmung der mittleren Profiltiefe einer Fahrbahnoberfläche geeignet. Diese mittlere Profiltiefe kann zu einer Größe umgerichtet werden, die eine Schätzung der Makrotexturtiefe in Übereinstimmung mit dem volumetrischen Verfahren darstellt. Es ist gleichermaßen bei Feld- und Laborprüfungen an Belagproben anwendbar. Bei Anwendung in Kombination mit anderen physikalischen Prüfverfahren sind die aus diesem Prüfverfahren abgeleiteten Makrotexturtiefenwerte für die Schätzung der Merkmale der Fahrbahngriffigkeit (siehe beispielsweise Literaturhinweis [1]), die Schätzung der Geräuschmerkmale und die Beurteilung der Eignung des Belagmaterials oder der Oberflächenbearbeitungsverfahren anwendbar.

Dieses Verfahren kann zusammen mit anderen Messungen (sofern anwendbar) wie etwa der Porosität oder Mikrotextur zur Beurteilung der Qualität von Fahrbahnbelägen verwendet werden.

Dieser Teil von ISO 13473 ist an die Messung der Textur eines Fahrbahnbelags angepasst und nicht für andere Anwendungen vorgesehen. Form, Größe und Verteilung der Partikel von Zuschlagstoffen sind nicht Gegenstand der Belagsmerkmale für dieses Verfahren. Das Verfahren ist nicht als vollständige Beurteilung aller Oberflächeneigenschaften der Textur eines Fahrbahnbelags gedacht. Besondere Vorsicht ist bei der Auswertung der Ergebnisse geboten, wenn das Verfahren auf poröse oder gerillte Oberflächen angewendet wird (siehe Anhang B).

ANMERKUNG Andere Internationale Normen, die sich mit Methoden zur Messung von Oberflächenprofilen befassen, umfassen beispielsweise ISO 468 [2], ISO 1878 [3], ISO 1879 [4], ISO 1880 [5], ISO 3274 [6], ISO 4287 [7] [8] und ISO 4288 [9] (siehe Literaturhinweise). Obwohl es in diesen Normen nicht ausdrücklich vermerkt ist, werden sie vor allem für die Messung (der Mikrotextur) endbehandelter Metalloberflächen verwendet und gelten nicht für Fahrbahnbeläge.

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/TS 13473-6, *Verification procedure for the performance of contactless profilometers*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

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 browsing platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 Texturwellenlänge

λ

Größe, die die horizontale Abmessung von Unebenheiten eines Texturprofils beschreibt

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

3.2 Textur

Textur eines Fahrbahnbelags

Abweichung einer Fahrbahnbelagsoberfläche von der tatsächlichen Planfläche mit einer Texturwellenlänge von weniger als 0,5 m

3.3 Oberflächenprofil

Texturprofil

obere Kontur eines vertikalen Querschnitts durch einen Fahrbahnbelag

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Texturprofil ist mit dem Oberflächenprofil vergleichbar, aber auf den Texturbereich beschränkt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Profil der Oberfläche wird durch zwei Koordinaten beschrieben: die Oberflächenebene, d. h. die **Distanz** (die Abszisse), und in einer Richtung normal zur Oberflächenebene, d. h. die **vertikale Lage** (die Ordinate). Ein Beispiel ist in Bild A.1 dargestellt. Die Distanz kann in Längs- oder (transvers) Querrichtung im Verhältnis zur Bewegungsrichtung auf einem Fahrbahnbelag sein oder in Kreisform oder jeder anderen Richtung zwischen diesen Extremen bestehen.

Anmerkung 3 zum Begriff: „Texturwellenlänge“ ist ein Deskriptor der Wellenlängenkomponenten des Profils und mit dem Konzept der Fourier-Transformation einer Reihe regelmäßig erfasster Messpunkte entlang einer räumlichen Achse verbunden. Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass die vertikale Lage (Höhe) einen beliebigen Bezugspunkt hat.

3.4 Makrotextur

Makrotextur eines Fahrbahnbelags

Abweichung der Oberfläche eines Fahrbahnbelags von der tatsächlichen Planfläche mit den charakteristischen Abmessungen entlang der Oberfläche von 0,5 mm bis 50 mm entsprechend den Texturwellenlängen mit Terzbändern, die den Bereich von 0,63 mm bis 50 mm der mittleren Wellenlängen umfassen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Spitze-Spitze-Werte können üblicherweise im Bereich von 0,1 mm bis 20 mm variieren. Dieser Texturtyp weist Wellenlängen in derselben Größenordnung wie die Reifenprofilelemente in der Reifenaufstandsfläche auf. Oberflächen werden üblicherweise mit einer ausreichenden Makrotextur ausgelegt, um eine geeignete Entwässerung in der Reifenaufstandsfläche zu erreichen. Die Makrotextur wird durch ein geeignetes Mischungsverhältnis von Zuschlagstoffen und Mörtel oder durch die Technik der Oberflächenbearbeitung bestimmt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die World Road Association (PIARC) hat die Bereiche der Mikro-, Makro- und Megatextur[10] ursprünglich auf der Grundlage der physikalischen Beziehungen zwischen der Textur und der Reibung/dem Geräusch etc. festgelegt. Bild A.2, das eine geänderte Version der ursprünglichen PIARC-Darstellung enthält, zeigt, wie diese Definitionen bestimmte Bereiche der Oberflächentexturwellenlänge und Wellenzahl abdecken. Hierbei ist zu beachten, dass Fahrunannehmlichkeiten innerhalb und außerhalb von Kraftfahrzeugen, Fahrrädern sowie Rollstühlen und anderen von behinderten Personen genutzten Fahrzeugen wahrgenommene Einwirkungen umfassen.

3.5 Messungen der Texturtiefe

3.5.1

Texturtiefe

TD

(en: texture depth)

im dreidimensionalen Fall der Abstand zwischen der Oberfläche und einer Ebene durch die Spitzen der drei höchsten Partikel innerhalb eines Bereichs der Oberfläche, der dieselbe Größenordnung wie die Reifenaufstandsfläche hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.3.

3.5.2

mittlere Texturtiefe

MTD

(en: mean texture depth)

Texturtiefe, die bei Anwendung des volumetrischen Verfahrens ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Anwendung des volumetrischen Verfahrens (siehe unten) ist die „Ebene“ in der Praxis durch den Kontakt zwischen einer Gummischeibe und der Oberfläche bestimmt, wenn die Scheibe über die Fläche gerieben wird. Deshalb basiert die Texturtiefe, die sich in diesem Fall ergibt, nicht auf einer exakten „Ebene“, sondern mehr auf einer Näherung, die eine etwas gekrümmte und schwer zu bestimmende Fläche darstellt.

3.5.3

Profiltiefe

PD

(en: profile depth)

im zweidimensionalen Fall, d. h. bei der Untersuchung eines Profils, der Abstand zwischen dem Profil und einer horizontalen/seitlichen Linie durch die Spitzen der höchsten Partikel des Profils innerhalb einer bestimmten Strecke in Längs- oder Querrichtung, deren Länge in derselben Größenordnung wie die der Reifenaufstandsfläche liegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.4.

3.5.4

Auswertungslänge

l

Länge eines Teils eines Profils, für die die *MPD* berechnet werden soll

3.5.5

Berichtslänge

Länge eines Fahrbahnbelags, für den die *MPD* entweder als einzelner Wert für die gesamte Länge oder für eine Reihe kleinerer Abschnitte angegeben werden soll

3.5.6

Segment

Teil eines Profils mit einer Länge von 100 mm

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.4.

3.5.7

mittlere Segmenttiefe

MSD

(en: mean segment depth)

durchschnittlicher Profiltiefewert eines Segments

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild A.4.

3.5.8

mittlere Profiltiefe

MPD

(en: mean profile depth)

Durchschnitt der Werte der mittleren Segmenttiefe (*MSD*) des geprüften Abschnitts

3.5.9

geschätzte Texturtiefe

ETD

(en: estimated texture depth)

verwendeter Begriff, wenn die mittlere Profiltiefe (*MPD*) verwendet wird, um die mittlere Texturtiefe (*MTD*) mithilfe einer Transformationsgleichung abzuschätzen

3.6

volumetrisches Verfahren

Verfahren, das auf der Ausbreitung von Material, üblicherweise Sand oder Glaskugeln, in Form eines Flecks beruht

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Material wird mit einer Gummischeibe so verteilt, dass es näherungsweise einen kreisförmigen Fleck bildet, dessen mittlerer Durchmesser gemessen wird. Wenn man das Volumen des Materials durch die bedeckte Fläche dividiert, erhält man einen Wert, der die mittlere Tiefe der Schicht darstellt, d. h. eine „mittlere Texturtiefe“. Das volumetrische Verfahren ist in EN 13036-1 beschrieben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das volumetrische Verfahren wird nicht nur mit Sand oder Glaskugeln als Material für den Fleck verwendet, sondern in manchen Fällen auch mit Kitt oder Schmierfett. Diese Materialien haben jedoch bestimmte Nachteile, und die internationale Normung empfiehlt ausschließlich Glaskugeln. Das Maß für die geschätzte Texturtiefe *ETD* basiert auf der Verwendung von Glaskugeln als Material für den Fleck.

3.7

ungültiger Messwert

Daten in dem Messprofil, die von dem Aufnehmer als ungültig angezeigt werden

3.8

Störzone

ungewöhnlich hoher und scharf definierter Scheitelwert im gemessenen Profil, der nicht Teil des tatsächlichen Profils ist und nicht automatisch von dem System als ungültig erkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Anhang E enthält eine quantitative Definition einer Störzone.

4 Prüfoberflächen

4.1 Zustand der Oberfläche

Messungen dürfen nicht bei Regen oder Schneefall durchgeführt werden. Sofern nicht nachgewiesen wurde, dass das Gerät gültige Messungen auf nassen oder feuchten Oberflächen liefert, muss die Oberfläche während der Messungen trocken sein. Darüber hinaus muss sie sauber und ausreichend frei von Rückständen und Fremdkörpern sein.

ANMERKUNG 1 Auf optischen Verfahren basierende Messsysteme arbeiten unter Umständen auf neu verlegten Asphaltflächen, die glänzend und dunkel sind, nicht korrekt. Wenn die Prüfung unmittelbar nach dem Verlegen durchgeführt wird, können Verzerrungen aufgrund des Temperaturgradienten in der Luft über der untersuchten Oberfläche zu ungünstigen Messdaten führen.

ANMERKUNG 2 Bei bereits in Betrieb genommenen Straßen kann die Textur des Fahrbahnbelags variieren. In diesem Fall wird der Ort der Messung in Querrichtung üblicherweise nach dem Verwendungszweck der Daten bestimmt.

4.2 Anzahl der vor Ort je Prüfabschnitt zu erfassenden Daten

4.2.1 Kontinuierliche Messungen

Kontinuierliche Messungen werden vorgenommen, wenn eine bestimmte Länge der Straße mit möglichen Unterbrechungen von maximal 10 % der Länge gemessen wird. Die Mindestauswertungslänge, über die die *MPD* berechnet wird, muss 1,0 Meter betragen. Es ist nicht sinnvoll, *MPD* über kürzere Längen anzugeben.

Es wird empfohlen, Messungen und Berechnungen kontinuierlich für den gesamten zu prüfenden Abschnitt vorzunehmen.

4.2.2 Punktmessungen

Wenn eine kontinuierliche Messung nicht möglich ist, wie etwa bei stationären Geräten, dürfen Messungen an bestimmten, angemessen verteilten Punkten vorgenommen werden. Hierbei gelten die folgenden Mindestanforderungen:

- Jede Auswertungslänge muss mindestens acht einzelne gemessene Segmente mit einer Länge von mindestens 100 mm umfassen. Dies würde sich üblicherweise auf eine gerade Linie beziehen, darf aber auch für einen kreisförmigen Verlauf oder parallele Linien gelten (in Verbindung mit 3D-Messungen). Jedes Segment muss kontinuierlich gemessen werden. Eine Ausnahme gilt bei der Messung runder Laborproben; siehe 4.3.
- Das Verfahren in Anhang C wird empfohlen, um Messpositionen und Auswertungslängen in unvoreingenommener Weise auszuwählen.

Bei Oberflächen mit periodischen Texturen (z. B. gerillte oder gefurchte Oberflächen) muss die gesamte Profillänge mindestens 10 Perioden der dominanten Texturfrequenz umfassen.

4.3 Anzahl der an Laborproben zu erfassenden Daten

Laborproben sind im Allgemeinen entweder Bohrkerns oder rechteckige Platten. Die Proben dürfen direkt aus einer Straße oder einem Bohrfeld entnommen, in einem Labor hergestellt oder auf der Grundlage von Formen einer tatsächlichen Straße oder eines echten Flugfelds repliziert werden.

Bei der Messung an Laborproben sollte darauf geachtet werden, dass die Kantenausbildung der Laborproben die Messung nicht beeinflusst.

Damit die Messungen hinreichend repräsentative Werte für die tatsächliche Untersuchungsstelle ergeben, müssen die folgenden beiden Anforderungen erfüllt werden:

- Kerne, Platten oder Abdrücke für die Profilmessung müssen mindestens von vier verschiedenen gleichmäßig entlang des Prüforts verteilten Stellen entnommen werden;
- die Messungen müssen mindestens 4 gleichmäßig auf die Laborproben verteilte Profile (insgesamt) umfassen. Jedes Profil muss über eine Länge von mindestens 100 mm gemessen werden und darf nicht Teil eines anderen Profils sein, mit der Ausnahme, dass ein Profil ein anderes Profil kreuzen kann.

Der empfohlene Durchmesser der Kerne beträgt mindestens 150 mm, aber auch Kerne mit einem Durchmesser von 100 mm sind akzeptabel. Wenn der Kerndurchmesser keine Messungen entlang einer geraden Linie in der erforderlichen Länge über den Kern ermöglicht, wird empfohlen, den Kern unter dem Aufnehmer zu drehen (oder umgekehrt) und die Messung entlang eines Kreises um die Mitte des Kerns vorzunehmen. Solche Kreise sollten einen Durchmesser von mindestens 50 mm haben.

Rechteckige Proben müssen Abmessungen haben, die die üblichen Maße des Kerns überschreiten. Die einzelnen Profilmessungen sollten an diesen Proben gleichmäßig verteilt vorgenommen werden.

ANMERKUNG Messungen an Laborproben können vielen unterschiedlichen Zwecken dienen. Aus diesem Grund ist es schwer, allgemeine Mindestanforderungen festzulegen. Die Spezifikation nimmt hier an, dass der Zweck darin besteht, Werte zu erlangen, die ausreichend repräsentativ für Straßenbeläge sind.

5 Messgeräte

5.1 Instrumente im Allgemeinen

Es muss ein Profilometer-System verwendet werden, das ein elektrisches Signal proportional zum Abstand zwischen einer Aufnehmer-Referenzebene und dem abgetasteten Oberflächenpunkt abgibt. Der Aufnehmer kann z. B. ein akustischer, elektro-optischer Aufnehmer oder eine Videokamera sein. Das endgültige Ausgangssignal muss linear zum Texturprofil sein. Dies kann, wenn nötig, entweder durch die Hardware oder die Software erreicht werden. Das Profilometer-System muss darüber hinaus über eine Vorrichtung zur Bewegung des Aufnehmers entlang oder quer über die Oberfläche in einer mindestens über eine Profillänge im Wesentlichen gleichmäßige Höhe (vertikal) verfügen. Dies gilt nicht, wenn das Profil durch Verfahren wie etwa das Lichtschnittverfahren erstellt wird.

Die Leistung der für diese Anwendung genutzten Profilometer muss in Übereinstimmung mit dem in ISO/TS 13473-6 festgelegten Verfahren geprüft werden.

5.2 Auflösung in vertikaler Richtung

Die Auflösung in vertikaler Richtung muss 0,05 mm oder besser betragen. Der Messbereich des Aufnehmers sollte mindestens 20 mm betragen. Bei der Messung glatterer Oberflächen ist ein kleinerer Bereich zulässig. Für einen an einem fahrenden Fahrzeug befestigten Aufnehmer ist üblicherweise ein höherer Bereich erforderlich, um Fahrzeugbewegungen zuzulassen.

ANMERKUNG Ein Laser-Aufnehmersystem mit einem Messbereich von 200 mm und einer digitalen Auflösung von 12 bit wird eine Auflösung in vertikaler Richtung von etwas weniger als 0,05 mm haben.

5.3 Auflösung in horizontaler Richtung

Im Fall eines Geräts, das einen Laser, einen anderen elektro-optischen Aufnehmer oder einen auf Schallübertragung basierenden Aufnehmer verwendet, sollte der Auftreffpunkt des Strahls so sein, dass sein durchschnittlicher Durchmesser auf der Straßenoberfläche in keinem Fall mehr als 1 mm über dem verwendeten vertikalen Bereich liegen darf. In diesem Fall wird der in einem durch eine Konturlinie begrenzten Bereich enthaltene Punkt als effektiver Punkt genommen, wobei die Intensität des Punkts 1/e (etwa 37 %) der maximalen Intensität innerhalb des Punkts entspricht.

Wenn eine Lichtschnittvorrichtung verwendet wird, muss das projizierte Lichtband oder die Lichtlinie scharf genug sein, um einen Hell-Dunkel-Übergang innerhalb von 1 mm sicherstellen. In diesem Fall wird die effektive Linienbreite als die Breite genommen, innerhalb der sich die Lichtintensität von 100 % auf 1/e (etwa 37 %) der maximalen Intensität innerhalb der Linie reduziert hat.

Wenn ein Kontaktsystem (z. B. ein Taststift) verwendet wird, muss der berührende Teil (Spitze) so beschaffen sein, dass er an seiner breitesten Stelle bis 1 mm aufwärts von der Spitze einen Durchmesser von höchstens 1 mm hat. Die Kontaktkräfte auf der Oberfläche dürfen nicht so hoch sein, dass der Stift in die Oberfläche eindringt oder diese beschädigt. Eine solche Beschädigung ist üblicherweise als klar sichtbare Spur an der Kontaktstelle zu erkennen.

Das Abtastintervall darf nicht mehr als 1,0 mm betragen.

ANMERKUNG Es ist zu beachten, dass sich der Fleck leicht in Messrichtung vergrößert, wenn der Laser oder Lichtfleck während der Messung jeder Probe bewegt wird. Diese „Ausdehnung“ des Flecks durch die Messgeschwindigkeit kann berechnet werden, indem die Messgeschwindigkeit durch die Dauer jeder Probenmessung dividiert wird, und sollte niemals zu einer Flecklänge von mehr als 1 mm führen. Dies kann zu einer Reduzierung der Messgeschwindigkeit führen.

5.4 Horizontale Genauigkeit

Die zulässige Fehlergrenze bei der Bestimmung der Segmentlänge (siehe 7.7) muss 10 mm betragen.

5.5 Messgeschwindigkeit

Die Messgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der das Profil von dem Profilometer abgetastet wird und muss geeignet sein, die Anforderungen an das Abtastintervall zu erfüllen. Dies gilt sowohl für stationäre als auch für mobile Profilometer. Die Relation lautet:

$$v \leq f_s \cdot s / 1\,000 \quad (1)$$

Dabei ist

- v die Profilometergeschwindigkeit (m/s);
- f_s die Abtastfrequenz des Aufnehmers (1/s);
- s das Abtastintervall ($\leq 1,0$ mm).

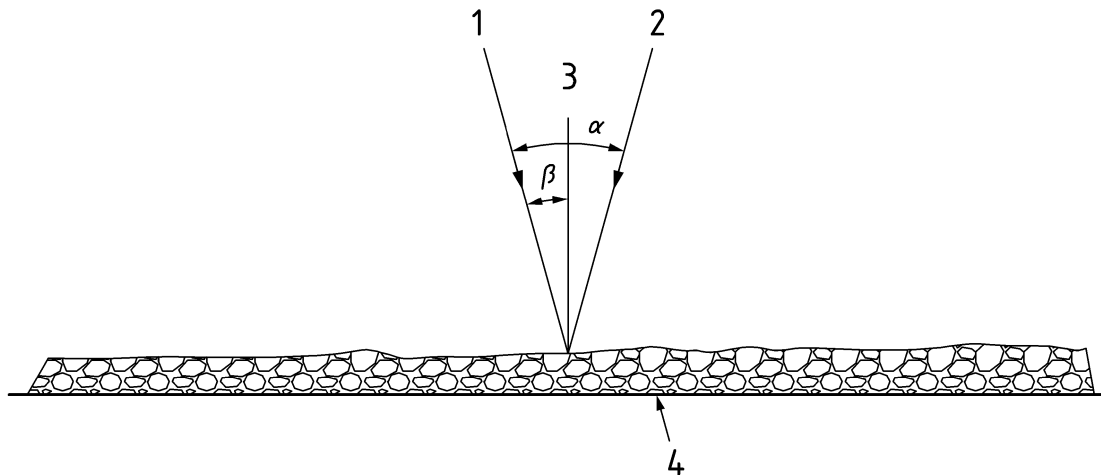
Bei einigen Geräten beeinflusst die Geschwindigkeit das Hintergrundrauschen, da dieses bei höheren Frequenzen stärker sein kann. Je nach Art der Datenerfassung und der Tiefpassfilterung kann die Geschwindigkeit die der unteren Grenze des Texturwellenlängenbereichs entsprechende elektronische Frequenz beeinflussen. Die möglichen Auswirkungen von Messschwankungen sind in 5.2 dargelegt.

ANMERKUNG „Tiefpass“ bezeichnet die Filterung eines Signals mit der Absicht, die höheren Frequenzen (zeitlich oder räumlich) zu dämpfen.

5.6 Ausrichtung des Aufnehmers

Im Fall reflektierter Strahlung darf der Winkel zwischen der optischen oder akustischen Achse der Strahlung in Richtung der Oberfläche und der optischen oder akustischen Achse des Aufnehmers (α) nicht mehr als 30° betragen. Siehe Bild 1. Bei größeren Winkeln werden sehr tiefe Texturen unterbewertet und der Anteil ungültiger Messwerte erhöht sich. Dieser Abschnitt gilt auch für Lichtschnittgeräte.

Bei mechanischen Geräten ist α nicht anwendbar und β darf höchstens 30° betragen.



Legende

- 1 Sender
- 2 Empfänger
- 3 Normale zur Oberfläche
- 4 Straßenbelag
- $\alpha = \leq 30^\circ$
- $\beta = \leq 30^\circ$

Bild 1 — Anforderungen an die Ausrichtung berührungsloser Aufnehmer

5.7 Bandbreite des Aufnehmers und Aufzeichnungssystems

Die Bandbreite des Aufnehmers und des Aufzeichnungssystems muss mindestens der durch die Filterverfahren nach 7.6 induzierten Bandbreite entsprechen.

ANMERKUNG 1 Es kann mithilfe von maschinell bearbeiteten Oberflächen zur Simulation von Texturen mit bekanntem Profil überprüft werden, ob die Bandbreite den zutreffenden Bereich umfasst. Bei mobilen Geräten können solche Oberflächen (Scheiben oder Walzen) unter dem abtastenden Gerät gedreht werden. In diesem Fall bleibt die Messeinrichtung stationär.

ANMERKUNG 2 Die obere und untere Grenze der Texturwellenlänge entspricht hier nicht der Definition der Makrotextur nach 3.4. Dies liegt daran, dass (1) zu einem gewissen Grad der Einfluss des Einhüllens mit Gummioberflächen wie etwa einem Reifen nachgeahmt wird, (2) Wellenlängen kleiner als 3 mm und größer als 140 mm keinen großen Einfluss auf die Bestimmung der *MPD* oder *ETD* nach Bild 12 von [1] haben, (3) viele Profilometer eine geringe Leistung in dem Bereich unter 3 mm aufweisen und (4) Profilometer bei einer Grenze von 3 mm einheitlichere Werte liefern, die weniger von transienten Messfehlern beeinflusst werden.

5.8 Leistungsprüfung

Regelmäßige Leistungsprüfungen müssen durchgeführt werden, indem der Aufnehmer über einer festgelegten Referenzfläche mit einem stabilen Profil betrieben wird.

Leistungsprüfungen müssen so gestaltet sein, dass die Differenzen in einer Größenordnung von 0,05 mm zwischen der gemessenen und der tatsächlichen *MPD* für die Referenzfläche erkannt werden können. Verfahren, die die *MPD* nicht berechnen, werden nicht empfohlen, da diese nicht das gesamte Messsystem prüfen. Die *MPD* der Referenzfläche sollte mindestens 1,5 mm betragen.

ANMERKUNG 1 In 5.2 wird eine Auflösung in vertikaler Richtung von 0,05 mm oder besser gefordert.

Wenn die Leistungsprüfung eine Differenz von mehr als 0,1 mm oder 5 % (je nachdem, welcher Wert strenger ist) gegenüber dem erwarteten *MPD*-Referenzwert ergibt, sollte die Abweichung angegeben werden. Wenn die Differenz mehr als 0,2 mm oder 10 % (je nachdem, welcher Wert strenger ist) beträgt, weist darauf hin, dass etwas mit dem System falsch sein kann und das Problem sollte untersucht werden.

Siehe Anhang G hinsichtlich zu verschiedenen Referenzflächen und andere Vorschlägen. Der Anhang erläutert darüber hinaus die Berechnung der *MPD* dieser Oberflächen.

Die Art der verwendeten Referenzfläche muss angegeben werden.

5.9 Angabe ungültiger Messwerte (Drop-outs)

Ungültige Messwerte („Drop-outs“) können aufgrund der photometrischen Eigenschaften der Oberfläche oder der Abschattung des Lichts in tiefen Profurfurchen auftreten. Das System muss daher Mittel zu Identifizierung von Drop-outs besitzen.

ANMERKUNG Darüber hinaus verschleifen Laserdioden im Verlauf der Zeit, was gegebenenfalls zu einer übermäßigen Anzahl ungültiger Messwerte führen kann. Aus diesem Grund und um zu prüfen, ob die Intensität innerhalb der Festlegungen des Herstellers liegt, wird empfohlen, ein Mittel zur Prüfung der Laserintensität in regelmäßigen Intervallen vorzusehen.

5.10 Empfindlichkeit gegenüber Schwingungen

Der Aufnehmer muss während der Messung der gesamten Segmentlänge (100 mm) bei allen Betriebsgeschwindigkeiten in einer stabilen vertikalen Position gehalten werden. Das Messsystem muss so ausgelegt sein, dass Schwingungen nur eine vernachlässigbare Auswirkung auf die Messgenauigkeit haben. Dies gilt insbesondere für Schwingungen in Verbindung mit der Eigenfrequenz der Aufhängung des Aufnehmers und/oder seines Trägers.

6 Messverfahren

6.1 Leistungsprüfungen

Die Leistung des Geräts muss anhand eines bekannten Profils in Übereinstimmung mit 5.8 geprüft werden. Diese Prüfungen dürfen nicht weniger häufig als an jedem Messtag vorgenommen werden.

6.2 Messungen

Das Profil der Prüffläche muss mit Geräten in Übereinstimmung mit Abschnitt 5 und die die Anforderungen an die Messlänge in Abschnitt 4 erfüllen, gemessen werden.

6.3 Kontinuierliche oder Punktmessungen

Messungen dürfen mit Geräten durchgeführt werden, die das Profil kontinuierlich über den Prüfabschnitt mit geringfügigen zulässigen Unterbrechungen für die Datenübertragung oder die Datenverarbeitung (siehe 4.2.1) aufzeichnen. Kontinuierliche Messsysteme sind üblicherweise an einem Prüffahrzeug montierte mobile Geräte. Messungen dürfen außerdem an spezifischen Punkten im Prüfabschnitt oder an Proben in einem Labor vorgenommen werden (siehe Anforderungen in 4.3 und Anhang C). In diesen Fällen ist das Gerät üblicherweise stationär aber bewegbar.

7 Datenverarbeitungsverfahren

7.1 Einleitung

Die Datenverarbeitung im Rahmen dieser Norm umfasst zwei grundlegende Teile. Der erste Teil (7.2 bis 7.5) dient dazu, die Störgrößen aus dem gemessenen Profil zu entfernen, um möglichst viele der erfassten Daten messen zu können. Der zweite Teil (7.6 bis 7.11) dient dazu, die bereinigten Daten zu verarbeiten und die erforderlichen Messwerte zu erhalten.

ANMERKUNG Nach dem Abschluss des ersten Teils (7.2 bis 7.5) sollte das Profil bereinigt und auch für andere Texturberechnungen verwendbar sein, wie in ISO 13473-2 dargelegt oder in ISO/TS 13473-4 oder ISO 13473-5 festgelegt.

7.2 Zusammenfassung der Datenverarbeitungsschritte

Das folgende Datenverarbeitungsverfahren (die Zahlen beziehen sich auf den Unterabschnitt, in dem der Schritt beschrieben wird) ist anzuwenden.

Korrektur ungültiger Messwerte (7.3): Die Beseitigung oder Korrektur ungültiger Messwerte (Drop-outs).

Resampling der Daten mit dem erforderlichen Abstand im räumlichen Bereich (7.4): Die erfassten Daten werden einem Resampling mit der erforderlichen Auflösung in dem räumlichen Bereich unter Nutzung aller relevanten Rohdaten unterzogen.

ANMERKUNG 1 Das Resampling von dem zeitlichen in den räumlichen Bereich hängt direkt von der Geschwindigkeit des Messfahrzeugs ab.

ANMERKUNG 2 Dieses Resampling kann auch im räumlichen Bereich erforderlich sein, wenn die ursprüngliche Abtastung in kürzeren Intervallen als dem erforderlichen Abstand von 0,5 mm oder 1 mm erfolgte.

Identifizierung von Störzonen und Umformung des Profils (7.5): Störgrößen (so genannte „Störzonen“, siehe Anhang E) werden identifiziert und ihr Einfluss wird durch Umformung des Profils eliminiert.

Entfernung von langen Wellenlängenelementen und Normalisierung der Profilschärfe (7.6): Ein Hochpassfilter wird angewendet, um unerwünschte Steigungen und lange Wellenlängen im Profil zu entfernen. Die Tiefpassfilterung wird angewendet, um Frequenzkomponenten zu entfernen, die über einer bestimmten Texturwellenlänge liegen, um das Profil auf eine einheitliche Schärfe zu normalisieren.

Segmentbegrenzung (7.7): Es werden Profilsegmente mit einer Länge von 100 mm ausgewählt.

Spitzenwertbestimmung (7.8): Jedes Segment wird in zwei Hälften unterteilt und identifiziert die Spitzenwerte des Profils über jeder Segmenthälfte.

Bestimmung der MPD (7.8): Die mittlere Segmenttiefe (*MSD*) wird als Mittelwert der beiden Spitzenwerte nach 7.8 berechnet.

Entfernung extremer MSD-Werte (7.9): *MSD*-Ausreißer werden identifiziert und entfernt (optional).

Bestimmung der MPD (7.10): Der Mittelwert aller *MSD*-Werte für das Profil wird bestimmt und die Standardabweichung berechnet.

ETD-Bestimmung (optional) (7.11): Der *MPD*-Wert wird durch Anwendung einer Transformationsgleichung in eine geschätzte Texturtiefe (*ETD*) umgerechnet.

Die folgenden Abschnitte behandeln diese einzelnen Schritte. Darüber hinaus wird auf die Flussdiagramme in Anhang H verwiesen.

7.3 Korrektur ungültiger Messwerte

Es muss darauf geachtet werden Ungültige Messwerte aus dem Profil zu entfernen. Ungültige Messungen können beispielsweise aufgrund der photometrischen Merkmale der Fläche oder der Abschattung des Lichts in tiefen Furchen auftreten. Der ungültige Teil des Profils muss stattdessen durch aus den nächstgelegenen gültigen Punkten interpolierte Daten ersetzt werden. Das entsprechende Verfahren ist in D.3.1 erklärt.

Wie Bild 2 zeigt, können mehrere ungültige Messwerte nacheinander auftreten. Wenn einer Reihe ungültiger Proben gültige Proben vorausgehen und folgen, muss jede ungültige Probe durch einen interpolierten Wert ersetzt werden. Zwei Interpolationsverfahren werden empfohlen: lineare Interpolation und PCHIP-Interpolation.

ANMERKUNG 1 PCHIP = Piecewise Cubic Hermite Interpolating Polynomial[11]. Das PCHIP-Verfahren mag etwas besser sein, erfordert aber auch mehr Berechnungszeit.

Bei der linearen Interpolation werden die ungültigen Proben durch einen nach der Gleichung (2) interpolierten Wert z_i ersetzt:

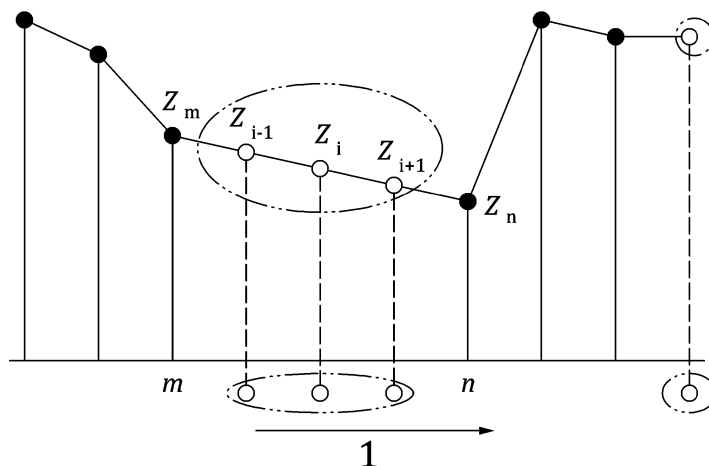
$$z_i = \frac{z_n - z_m}{n - m} (i - m) + z_m \quad (2)$$

Dabei ist

- i die Nummer der Probe, deren Wert ungültig ist;
- m die Nummer der Probe mit dem nächsten gültigen Wert vor i ;
- n die Nummer der Probe mit dem nächsten gültigen Wert nach i ;
- z_i der interpolierte Wert der Probe i ;
- z_m der Wert der Probe m ;
- z_n der Wert der Probe n .

Wenn die ungültige(n) Probe(n) den Beginn oder das Ende des abgetasteten Profils darstellt/darstellen, müssen die ungültigen Proben durch den Wert der nächsten gültigen Probe ersetzt werden. Dieses Extrapolationsverfahren muss auf eine maximale Länge von 5 mm auf beiden Seiten der gemessenen Profildatenreihe begrenzt werden.

ANMERKUNG 2 Bei der Bewertung von Besonderheiten von Fahrbahnbelägen (wie etwa Fugen) dürfen solche Besonderheiten absichtlich in die Analyse aufgenommen werden, sofern keine ungültigen Messwerte am Aufnehmer auftreten.



Legende

1 Probennummer

Bild 2 — Darstellung der Interpolation und Extrapolation ungültiger Messwerte. Ungültige Messwerte werden durch unausgefüllte Symbole dargestellt

ANMERKUNG 3 In dem in Bild 2 dargestellten Fall bestehen drei aufeinander folgende ungültige Zwischenwerte, die linear zwischen den Proben an der Position m und n interpoliert werden und ein extremer ungültiger Messwert, der aus der vorhergehenden Probe extrapoliert wird.

Die Messung eines bestimmten Fahrbahnbelagsegments gilt nur als gültig, wenn die Rate der ungültigen Messwerte des Segments das folgende Kriterium[12] erfüllt:

- Segmente mit einem Datenverlust aufgrund eines Anteils ungültiger Messwerte von mehr als 10 % (der Gesamtzahl der Messungen) müssen verworfen werden. Diese Berechnung sollte auf den zur Erstellung des Segments verwendeten tatsächlichen Rohdaten basieren.

7.4 Resampling auf eine bestimmte räumliche Auflösung

Diese Anforderung ist für die meisten Profilometersysteme und insbesondere Systeme, die auf dem Einzelaufnehmer-Triangulationsprinzip basieren, geeignet. Modernere Systeme dürfen diesen Schritt nicht erfordern, wenn ein vergleichbarer Prozess innerhalb des Messsystems ausgeführt wird.

Das Signal wird dem Resampling auf entweder 0,5 mm oder 1,0 mm Abstand, vorzugsweise 0,5 mm, unterzogen. Der arithmetische Mittelwert aller Proben, die innerhalb des geforderten Abstands liegen, wird berechnet.

Sofern das Profil aus einer Anzahl paralleler Profile wie etwa durch Messung einer dreidimensionalen Oberflächendarstellung extrahiert wird, sollte die Gesamtbreite der gewählten Profillinien nicht mehr als 1 mm betragen.

ANMERKUNG Dieses Resampling kann auch im räumlichen Bereich erforderlich sein, wenn die ursprüngliche Abtastung in kürzeren Intervallen als dem erforderlichen Abstand von 0,5 mm oder 1 mm erfolgte.

7.5 Identifizierung von Störzonen und Umformung des Profils

Anhang E enthält eine Beschreibung des Verfahrens zur Entfernung von Störzonen. Die Entfernung von Störzonen ist zwingend erforderlich.

7.6 Entfernung von Komponenten mit langer Wellenlänge und Normalisierung der Profilschärfe

Wenn das Profil kontinuierlich gemessen wurde (4.2.1), muss die Hochpassfilterung angewendet werden, um die Auswirkung von Steigungen oder Gradienten in der Profilkurve (Komponenten mit langer Wellenlänge), die für die Bestimmung der *MSD* und *MPD* irrelevant sind, zu reduzieren. Das verwendete Filter muss vom Typ Butterworth, 2. Ordnung, sein und eine Höchstgrenzeinstellung bei einer Texturwellenlänge von 140 mm haben. Die Filterung muss in einem Vorlauf-/Rücklaufilter erfolgen, um die Phasenverzerrung des Profilsignals zu reduzieren[13].

Die Länge des zu filternden Signals muss mindestens 1 m betragen.

ANMERKUNG 1 Bei einem Filter zweiter Ordnung sollte die Filterung die ersten beiden und die letzten beiden Signalpunkte außer Acht lassen. Alternativ können die ersten beiden und die letzten beiden Signalpunkte gespiegelt werden.

ANMERKUNG 2 Die maximale Länge ist nicht festgelegt, da dies durch praktische Überlegungen und nicht durch die technische Leistung bestimmt wird.

Wenn das Profil nur an einzelnen Punkten bestimmt wurde (4.2.2), ist die Steigungsunterdrückung das bevorzugte Verfahren zur Entfernung der langen Wellenlängenkomponenten. Das Verfahren muss für jedes Segment angewendet werden. Die Steigung der Profilkurve innerhalb eines Segments nach Bild A.4 muss durch Berechnung der Regressionsgeraden durch alle Profilwerte und die Subtraktion dieser Geraden von dem Profil unterdrückt werden.

Die Tiefpassfilterung muss angewendet werden, um den möglichen Einfluss von Geräuschen und Transienten zu reduzieren und einen relativ gleichmäßigen Einfluss niedriger Profilsitzen zu erzielen. Das verwendete Filter muss vom Typ Butterworth, 2. Ordnung, sein und eine Höchstgrenzeinstellung bei einer Texturwellenlänge von 3,0 mm haben. Die Filterung muss in einem Vorlauf-/Rücklaufilter erfolgen, um die Phasenverzerrung des Profilsignals zu reduzieren[13].

ANMERKUNG 3 Die Auswahl der Tiefpassfilter-Merkmale ist äußerst kritisch für die Bestimmung des *MPD* und die Konsistenz zwischen verschiedenen Geräten. Aus diesem Grund sollte kein anderes als das hier geforderte Filter verwendet werden.

ANMERKUNG 4 Die nötigen Parameter zur Gestaltung der Filter sind als Anleitung in Anhang D enthalten.

ANMERKUNG 5 Die beiden Filterungsverfahren dürfen alternativ mit einem einzelnen Bandfilter (Vorlauf-Rücklauf-Ausführung) durchgeführt werden. Ein einzelner Bandfilter muss jedoch von 5. Ordnung sein, um dem 2. Ordnung für separate Filter zu entsprechen.

ANMERKUNG 6 Bei einem Hochpassfilter hat die Butterworth-Ausführung der 3. Ordnung nur eine minimale Auswirkung auf die *MPD* im Vergleich zu einem Filter der 2. Ordnung (üblicherweise eine Erhöhung der *MPD* um 0,5 bis 1,0 %). Die Gestaltung ist jedoch entscheidender für das Filter der 3. Ordnung. Aufgrund der geringen Erhöhung der *MPD* und der kritischeren Gestaltung wird das Filter 2. Ordnung gefordert.

7.7 Segmentbegrenzung

Jedes einzelne Profil, an dem die folgenden Berechnungen durchgeführt werden, muss ein Segment mit einer Länge von 100 mm $\pm$ 10 mm haben. Dies wird in Bild A.4 in Anhang A dargestellt.

7.8 Bestimmung des Spitzenwert und *MSD*

Die Höhe des Spitzenwerts des Profils über jeder Hälfte des Segments muss identifiziert werden. Dazu ist es erforderlich, das Segment von 100 mm in zwei gleiche Teile zu unterteilen und den höchsten Spitzenwert in jedem Teil zu bestimmen.

Die mittlere Segmenttiefe (*MSD*) für jedes einzelne Segment entspricht dem arithmetischen Mittelwert der beiden Spitzenwerte abzüglich der mittleren Profilhöhe (die nach der Hochpassfilterung nahe bei null liegt).

ANMERKUNG Bei einigen Messgeräten kann das Profilsignal umgekehrt worden sein und es ist wichtig, darauf zu achten, dass die betrachteten Spitzenwerte über den Schärfen des Profils mit der höchsten Erhebung liegen.

7.9 Entfernung extremer *MSD*-Werte (optional)

Einige *MSD*-Werte können Ausreißer sein. Die möglichen Gründe hierfür umfassen Blätter oder andere fliegende Fremdkörper, die das Laserlicht durchqueren, gelegentliche lose Steine auf der Fläche, ein „Loch“ oder eine breite Fuge in der Fläche etc. Um den Einfluss von *MSD*-Ausreißern auf die *MPD* zu vermeiden, wird empfohlen, einem beweglichen Dreipunkt-Medianfilter zu verwenden. Der Medianfilter dient dazu, alle *MSD*-Werte zu durchlaufen, die als *MPD*-Wert gelten; drei mal drei in sequentieller Reihenfolge, um jeden einzelnen Wert durch den Medianwert der drei benachbarten Werte zu ersetzen und hierbei jeweils um einen *MSD*-Wert gleichzeitig voranzuschreiten. Auf diese Weise werden ungewöhnlich hohe oder niedrige Einzelwerte aussortiert und der Medianwert beibehalten. Der *MPD*-Wert wird somit nicht durch einzelne extreme Werte beeinflusst.

Wenn ein *MPD*-Wert bearbeitet wurde, um extreme *MSD*-Werte auszuschließen, muss dies angegeben werden.

Dieses Verfahren wird nicht empfohlen, wenn extreme Texturmerkmale von Interesse sind.

7.10 Mittelwertbildung der *MSD* zur Bestimmung der *MPD*

Eine Reihe von *MSD*-Werte müssen gemessen und berechnet werden, um die Anforderungen nach 4.2 und 4.3 zu erfüllen. Die abschließenden angegebenen Werte müssen:

- der arithmetische Mittelwert für alle relevanten Messungen (*MPD*) sein;
- die entsprechende Standardabweichung sein;
- die Anzahl der einzelnen Werte sein, auf denen der Mittelwert basiert, einschließlich der Anzahl der Messläufe und der Anzahl der Segmente in jedem Lauf.

7.11 Berechnung der *ETD* (optional)

Die *ETD* ist eine Methode, um *MPD*-Messungen in Relation zu Messungen der mittleren Texturtiefe (*MTD*) zu setzen, die nach dem volumetrischen Verfahren [14] durchgeführt wurden. Der Vorteil des volumetrischen Verfahrens besteht darin, dass hierfür nur sehr einfache Geräte benötigt werden. Die resultierende Gleichung hängt jedoch in hohem Maße von dem Bediener der Fleckprüfung, der Art der Ausführung der Prüfung und den für diese Untersuchung verwendeten Flächen ab.

Der *MPD*-Wert darf durch die folgende Transformationsgleichung (3) in eine geschätzte Texturtiefe (*ETD*) umgerechnet werden:

$$ETD = 1,1 \cdot MPD(\text{mm}) \quad (3)$$

dabei werden die *ETD* und die *MPD* in Millimetern angegeben.

Der Texturbereich, in dem die Gleichung (3) ausreichend präzise ist, beträgt etwa $0,3 \text{ mm} < MPD < 3,0 \text{ mm}$ bei dichten Flächen (siehe B.1 in Bezug auf die eingeschränkte Gültigkeit für poröse Oberflächen).

ANMERKUNG 1 Die Gleichung (3) ergibt einen Mittelwert der letzten zusammengestellten Ergebnisse bei der Entwicklung dieser Norm. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Schwankungen aufgrund von Fehlern bei der Bestimmung der *MTD* groß sind. Einzelne Untersuchungen dieser Relation ergeben üblicherweise Schwankungen des Koeffizienten zwischen 0,9 und 1,3.

ANMERKUNG 2 Die Gleichung lautete ursprünglich $ETD = 0,2 \text{ mm} + 0,8 \text{ MPD}$ und basierte auf umfangreichen Messungen in einem internationalen PIARC-Experiment, das in Anhang E von [1] präsentiert wird. Darüber hinaus akzeptierte AS/TM 1845-15 diese Gleichung [14]. Spätere Prüfungen haben jedoch zu der leicht veränderten Gleichung (3) geführt. Literaturhinweise hierzu werden 2017 veröffentlicht und in der nächsten Version hinzugefügt.

8 Bewertung der Messunsicherheit nach ISO/IEC Guide 98-3

Das in dieser Norm beschriebene Messverfahren wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, die zu Schwankungen der Ergebnisse für dasselbe zu prüfende Objekt führen. Die Quelle und die Art dieser Störungen sind nicht vollständig bekannt. Die Messunsicherheit kann nach ISO/IEC Guide 98-3 bestimmt werden.

Nach *Guide 98-3* muss jede bedeutende Unsicherheitsquelle festgestellt werden. Die folgenden Unsicherheitsquellen werden festgestellt und müssen gemäß dem im ISO/IEC Guide 98-3 festgelegten Verfahren bearbeitet werden:

- Unsicherheit aufgrund von Schwankungen im Betrieb;
- Geräteunsicherheit;
- Unsicherheit aufgrund von externen Störungen.

Ein Beispiel für eine quantitative Analyse befindet sich in Anhang F.

Der allgemeine Ausdruck für die Berechnung der *MPD* wird durch die folgende Gleichung angegeben:

$$MPD = MPD_{\text{meas}} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6 + \delta_7 + \delta_8 \quad (4)$$

Dabei ist

- | | |
|----------------------------|---|
| <i>MPD</i> | die zu bestimmende Menge; |
| <i>MPD</i> _{meas} | die nach dem in dieser Norm festgelegten Verfahren gemessene und berechnete <i>MPD</i> ; |
| δ_1 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeder eventuellen Unsicherheit aufgrund lateraler und longitudinaler Abweichungen in der Textur eines Fahrbahnbelags, die nicht von der Messung erfasst werden; |
| δ_2 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeglicher Unsicherheit in Texturmessgeräten; |
| δ_3 | eine Eingangsgröße in Verbindung mit der zulässigen Toleranz für die Segmentlänge; |
| δ_4 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeglicher Unsicherheit aufgrund sekundärer Reflexionen des Laserlichts auf dem Fahrbahnbelag; |
| δ_5 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeglicher Unsicherheit aufgrund der Korrektur ungültiger Messwerte und der Entfernung von Störzonen, |
| δ_6 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeglicher Unsicherheit aufgrund von Variationen im Datenverarbeitungsverfahren; |
| δ_7 | eine Eingangsgröße zur Berücksichtigung jeglicher Unsicherheit aufgrund von Umgebungseinflüssen auf das Instrument; |
| δ_8 | die Umgebung darf die Messungen beeinflussen; beispielsweise kann Feuchtigkeit auf der Fläche in einigen Fällen eine Auswirkung haben. |

Der Wert dieser Eingangsgrößen muss mittels des im ISO/IEC Guide 98-3 angegebenen Verfahrens bewertet werden. Er kann auf bestehenden statistischen Daten, Analysen der in dieser Internationalen Norm angegebenen Toleranzen und technischem Ermessen basieren. Die zur Ableitung der Gesamtunsicherheit erforderlichen Informationen sind in Tabelle 1 angegeben. Tabelle F.1 im Anhang F ist eine Kopie von Tabelle 1, enthält jedoch auch einige übliche Werte.

Die kombinierte Standardunsicherheit wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$u(p) = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (c_i u_i)^2} \quad (5)$$

dabei ist p die Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Tabelle 1 — Unsicherheitsbudget für die Bestimmung des *MPD*-Werts

Größe	Schätzung	Wahrscheinlichkeitsverteilung	Standardunsicherheit u_i	Übertragungskoeffizient c_i	Unsicherheitsbeitrag $c_i u_i$
δ_1	0	normal		1	
δ_2	0	normal		1	
δ_3	0	normal		1	
δ_4	0	normal		1	
δ_5	0	normal		1	
δ_6	0	normal		1	
δ_7	0	normal		1	
δ_8	0	normal		1	
Kombinierte Standardunsicherheit ($u(p)$)					

Die erweiterte Unsicherheit U wird für die gewählte Überdeckungswahrscheinlichkeit wie im ISO/IEC Guide 98-3 beschrieben durch Multiplikation der kombinierten Standardunsicherheit $u(p)$ mit dem entsprechenden Erweiterungsfaktor ermittelt.

Anhang F enthält eine detaillierte Liste der Standardunsicherheiten und Empfindlichkeitskoeffizienten jeder Quelle und übliche Werte für eine Fläche mit einem *MPD*-Wert von ungefähr 1,0 mm. Bei Anwendung dieser Werte führt die Analyse des Unsicherheitsbudgets zu einer Standardunsicherheit im *MPD*-Wert von 0,05 mm.

Tabelle 2 präsentiert die erweiterte Unsicherheit und Überdeckungswahrscheinlichkeit für den Fall, in dem das Verfahren angewendet wird und die einzelnen Quellenunsicherheiten mit Tabelle F.1 übereinstimmen.

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

Überdeckungswahrscheinlichkeit	Erweiterte Unsicherheit U
80 %	0,06 mm
95 %	0,08 mm

9 Sicherheitserwägungen

WARNUNG — Dieser Teil von ISO 13473 kann gefährliche Arbeitsschritte beinhalten, wenn Messungen auf Fahrbahnbelägen während des laufenden Verkehrs ausgeführt werden. Die an der Messstelle anwesenden Mitarbeiter und Fahrzeuge müssen mit Sicherheits- oder Warneinrichtungen in Übereinstimmung mit den geltenden Vorschriften für Arbeiten im fließenden Verkehr (sofern anwendbar) an der jeweiligen Stelle zu dem jeweiligen Zeitpunkt ausgestattet sein. Hierbei ist insbesondere das Erfordernis des Augenschutzes gegen Laserlicht (IEC 60825[15]) zu beachten. Dieser Teil von ISO 13473 erhebt darüber hinaus nicht den Anspruch, auf alle Sicherheitsprobleme in Zusammenhang mit seiner Anwendung einzugehen. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieses Teils von ISO 13473, vor der Anwendung geeignete Maßnahmen für die Sicherheit und den Gesundheitsschutz zu ergreifen und dafür Sorge zu tragen, dass die verordnungsrechtlichen Beschränkungen eingehalten werden.

10 Prüfbericht

Der Prüfbericht für jede zu prüfende Fahrbahnoberfläche muss Daten zu den folgenden Aspekten enthalten:

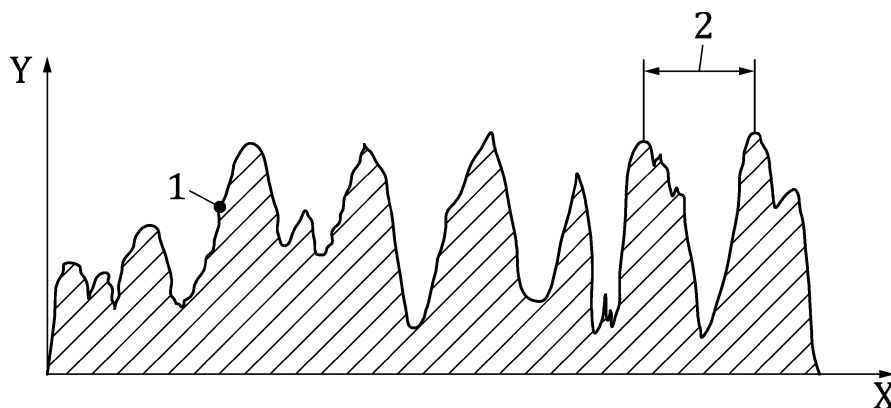
- Angabe des Messgeräts, seiner betreibenden Organisation und seiner Bediener;
- Datum der Messung;
- Ort und Bezeichnung des Prüfabschnitts (Ausgangspunkt und Länge);
- die Strecke (Querposition) an der Prüfstelle, an der die Messung vorgenommen wurde;
- Beschreibung der Art der Oberfläche;
- Beschreibung der Verunreinigung der Oberfläche (sofern anwendbar), z. B. Blätter, Schmutz, Geröll, Sand, mögliche Feuchtigkeit;
- Bemerkungen zu deutlich sichtbaren Oberflächenbedingungen wie etwa vorhandene Fugen, übermäßige Rissbildung, Schlaglöcher;
- Art des gemessenen Profils (Längsprofil, Querprofil, kreisförmig etc.);
- Messgeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbereich;
- räumliche Auflösung (0,5 mm oder 1,0 mm)
- Art, Zeit und (sofern die Abweichung mehr als 0,1 mm beträgt) Ergebnis der Leistungsprüfung;
- Anteil ungültiger Messungen/interpolierter Werte (Drop-outs) und Art der verwendeten Interpolation;
- Angabe, ob extreme MSD-Werte entfernt wurden;

- Angabe, ob das Verfahren zur Entfernung von Störzonen angewendet wurde;
- Art und Reihenfolge der verwendeten Filter;
- Anzahl der Messungen (einschließlich der Anzahl der Durchläufe über der geprüften Oberfläche und der Anzahl der Profilaufzeichnungen bei jedem Durchlauf);
- mittlere Profiltiefe (*MPD*) in Millimetern für die gesamte geprüfte Fahrbahnoberfläche;
- Standardabweichung der *MSD*-Werte in Millimetern;
- geschätzte erweiterte Unsicherheit der Ergebnisse mit dem damit verbundenen Erweiterungsfaktor und der Überdeckungswahrscheinlichkeit.

Anhang A (informativ)

Texturbereiche

Bild A.1 zeigt eine typische Profilaufnahme einer Fahrbahnoberfläche (die Ordinate ist überzogen dargestellt) einschließlich der Begriffe *Profil*, *Distanz*, *vertikale Verschiebung* und *Wellenlänge*. Die „Wellenlänge“ ist in dem Bild als Bestandteil des Profils in Verbindung mit dem Wellenlängenkonzept dargestellt, was jedoch aus streng mathematischer Sicht nicht korrekt ist. Darüber hinaus sollte beachtet werden, dass die Referenzlinie (Grundlinie) willkürlich gewählt ist.



Legende

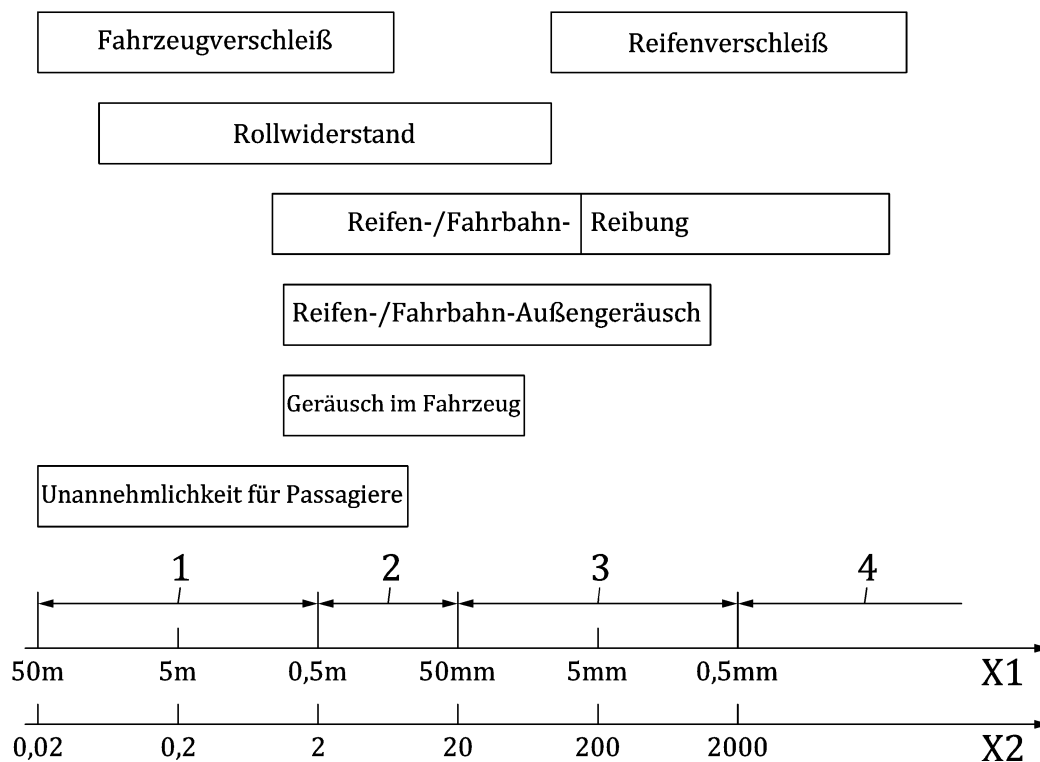
- X Distanz
- Y vertikale Verschiebung
- 1 Profil
- 2 Texturwellenlänge

Bild A.1 — Darstellung einiger Grundbegriffe zur Beschreibung der Eigenschaften von Fahrbahnoberflächentexturen

Die World Road Association (PIARC) hat die Bereiche der Mikro-, Makro- und Megatextur bereits zuvor auf der Grundlage der physikalischen Beziehungen zwischen der Textur und der Reibung/dem Geräusch etc. festgelegt, siehe Literaturhinweis [10]. Bild A.2 zeigt, wie diese Definitionen bestimmte Bereiche der Oberflächen-Texturwellenlänge und Wellenzahl abdecken und verschiedene Eigenschaften innerhalb dieser Bereiche beeinflusst werden.

Bild A.3 versucht, die Textur einer Fahrbahn dreidimensional darzustellen; insbesondere den Begriff der Texturtiefe, d. h. der Abstand zwischen einem willkürlichen Punkt auf der Ebene bis hinunter zur Oberfläche (im rechten Winkel zur Ebene). Die Ebene soll durch die drei höchsten Spitzen der Oberfläche verlaufen.

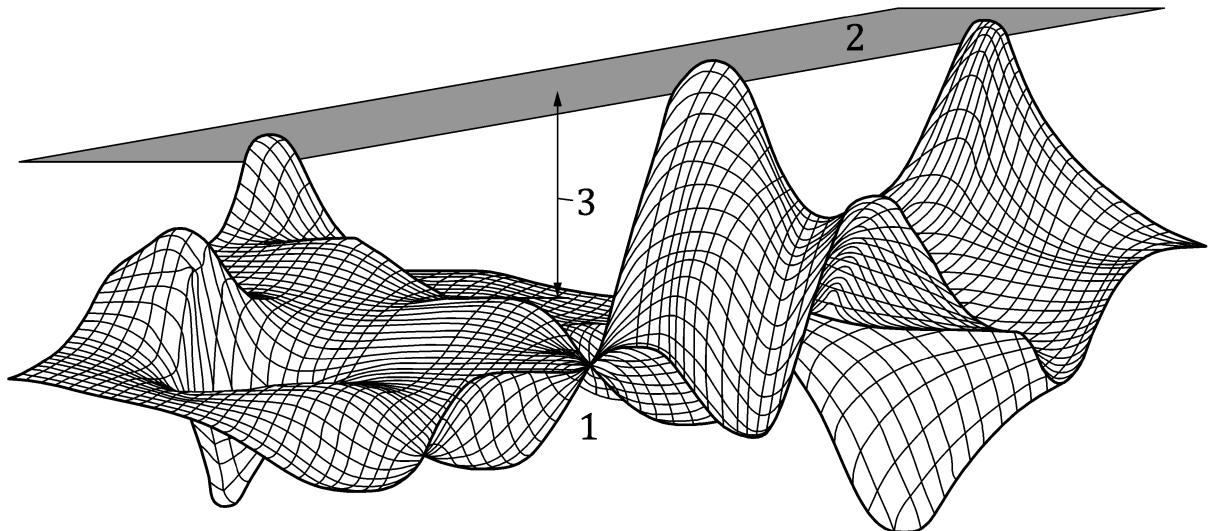
Bild A.4 zeigt die Definitionen der Begriffe *Segment* und *Mittlere Segmenttiefe (MSD)*. Die Referenzlinie (Grundlinie) ist willkürlich gewählt und dient hier nur zu Illustrationszwecken. Das mittlere Niveau wird üblicherweise auf null gesetzt, da dies dem Ergebnis der Steigungsunterdrückung (siehe 6.6) entspricht. Das Segment hat eine Länge von 100 mm.



Legende

- X1 Wellenlänge
- X2 Wellenzahl (1/m)
- 1 Unebenheit
- 2 Megatextur
- 3 Makrotextur
- 4 Mikrotextur

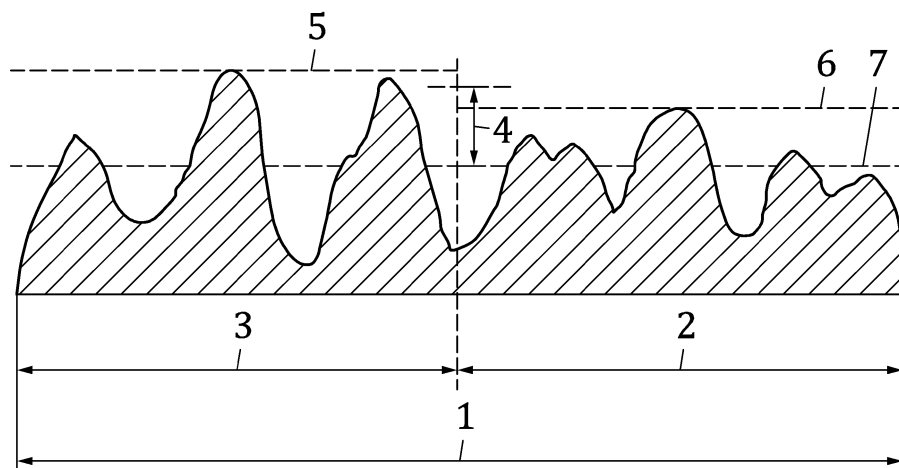
Bild A.2 — Bereiche der Wellenlänge und der Wellenzahl der Textur und Unebenheit und ihrer wesentlichsten erwarteten Effekte, wobei eine hellere Schattierung auf einen vorteilhafteren Effekt über diesen Bereich und eine dunkle Farbe auf einen nachteiligen Effekt hinweist



Legende

- 1 Oberfläche
- 2 Ebene durch die drei höchsten Spitzen auf der Oberfläche
- 3 Texturtiefe (*TD*)

Bild A.3 — Darstellung der Begriffe Oberfläche und Texturtiefe (*TD*)



Legende

- 1 Segment
- 2 zweite Segmenthälfte
- 3 erste Segmenthälfte
- 4 mittlere Segmenttiefe (*MSD*)
- 5 Spitzenpegel (1.)
- 6 Spitzenpegel (2.)
- 7 mittlerer Pegel

$$\text{Mittlere Segmenttiefe (MSD)} = \frac{\text{Spitzenpegel (1.)} + \text{Spitzenpegel (2.)}}{2} - \text{mittlerer Pegel}$$

Bild A.4 — Darstellung der Begriffe Segment und mittlere Segmenttiefe (*MSD*) (angegeben in Millimetern)

Anhang B (informativ)

Bei speziellen Oberflächen festgestellte Probleme

B.1 Offenporige Oberflächen

Bei offenporigen Oberflächen ist die Porosität (Lufteinschlüsse) in der Mischung oftmals die wichtigste Eigenschaft. Reibung und einige Geräuschmerkmale basieren auf höherer Porosität, während der Rollwiderstand, der Reifenverschleiß und andere Geräuschmerkmale nicht wesentlich durch die Porosität beeinflusst werden. Die Porosität ist eine Materialeigenschaft, die in dem Material auftritt und, obwohl sie an der Oberfläche sichtbar ist, nicht mit dem Profilerstellungsverfahren gemessen werden kann. Bei dem volumetrischen Verfahren kann ein Teil des Materials in die Poren eindringen. Aufgrund der Partikelreibung, der Viskosität und der Partikelgröße von Sand oder Glasperlen kann die „tatsächliche“ Porosität niemals auf diese Weise gemessen werden.

Aus diesem Grund kann weder das volumetrische Verfahren noch das Profilerstellungsverfahren die relevanten Eigenschaften in allen Fällen messen. Manchmal darf das volumetrische Verfahren ein relevanteres Ergebnis bei offenporigen Oberflächen ergeben, während in anderen Fällen das Profilerstellungsverfahren bevorzugt wird.

Bei der Auswertung der Messungen auf der Grundlage von Profilerstellungsverfahren auf Oberflächen mit einem hohen Maß an Porosität sollte daher Vorsicht geboten sein. Dies gilt gleichermaßen für Berechnungen der *MPD* und der Texturspektren. Ein profilbasierter Messwert wie etwa die *MPD* kann zu erheblichen Über- oder Unterschätzungen der relevanten Effekte führen.

Wenn beabsichtigt wird, die Wasserableiteigenschaften solcher Oberflächen zu charakterisieren, um beispielsweise ihre Auswirkungen auf die Griffigkeit bei nasser Fahrbahn, Aquaplaning oder Geräuschemissionen und -ausbreitung abzuschätzen, muss beachtet werden, dass das Profil eine Unterbewertung der verfügbaren Wasserableiteigenschaften liefert. Der Grund hierfür ist, dass die Profilkurve den Effekt der Poren in der Struktur nicht angemessen wiedergibt, da diese zu tief sind, um durch Profilerstellungsverfahren erfasst werden zu können. Die Profilkurve wird nur den horizontalen Teil der Wasserableiteigenschaften wiedergeben. In solchen Fällen dürfen Messungen des vertikalen Teils der Wasserableiteigenschaften durch ein Wasserablaufverfahren eine geeignete Ergänzung sein[17][18].

Wenn jedoch andererseits das Ziel darin besteht, die potenzielle Schwingungserregung in Reifen zu charakterisieren, um beispielsweise ihre Wirkung auf den Rollwiderstand, den Hystereseteil der Griffigkeit oder die Geräuschemission abzuschätzen, liefert die Profilerstellung eine Überbewertung. Dies liegt daran, dass das Reifengummi nicht in der Lage ist, größere Teile der Textur zu umhüllen. Um die begrenzte Hüllfähigkeit üblicher Reifen auszugleichen, dürfen Profilkurven durch Algorithmen, die die Hülleigenschaften von Reifen simulieren, in der Nachbearbeitung angewendet werden[19][20].

Ein weitere Fehlerquelle besteht zumindest im Fall der Anwendung des Laserprofilerstellungsverfahrens in dem wahrscheinlichen zusätzlichen Anteil ungültiger Messwerte auf offenporigen Oberflächen aufgrund der potenziellen Abschattung des Laserlichtflecks aus Sicht der Aufnehmerposition.

Die vorgenannten Effekte dürfen auch in einem gewissen Rahmen bei nicht-offenporigen Oberflächen mit sehr tiefen Texturen (erheblich „negative“ Texturen) auftreten, je nachdem, wie gut der Profilaufnehmer in der Lage ist dem tatsächlichen Profil ohne Aussetzer in den tieferen Teilen der Textur zu folgen.