

ICS 17.140.30; 93.080.20

Vornorm**Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen –****Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen (ISO/TS 13473-4:2008)**

Characterization of pavement texture by use of surface profiles –
Part 4: Spectral analysis of surface profiles (ISO/TS 13473-4:2008)

Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface –
Partie 4: Analyse spectrale des profils de la surface (ISO/TS 13473-4:2008)

Gesamtumfang 40 Seiten

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	3
Nationaler Anhang	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Grundlegender Überblick zur Methodik der Wellenzahlanalyse.....	10
5 Abtastung von Oberflächenprofilen	12
5.1 Abtastung von Straßenabschnitten	12
5.2 Messung an Laborproben	13
6 Allgemeine Prinzipien und Anforderungen.....	13
6.1 Forderungen bezüglich der Profilometer	13
6.2 Umwandlung von Wellenzahlen in Frequenzen im Zeitbereich	13
6.3 Ungültige Messwerte	15
6.4 Filterung gegen Abtastverzerrungen (Anti-Aliasing)	16
6.5 Digitale Abtastung	17
7 Spektralanalyse in Bändern konstanter relativer Breite (Oktav- oder Terzbändern) durch analoge Filterung (Verfahren 1).....	17
8 Spektralanalyse in Bändern konstanter relativer Breite (Oktav- oder Terzbändern) durch digitale Filterung (Verfahren 2).....	19
9 Spektralanalyse in schmalen Bändern konstanter absoluter Breite mit dem Verfahren der Diskreten (Schnellen) Fouriertransformation (Verfahren 3)	20
9.1 Überblick über die Methodik.....	20
9.2 Steigungs- und Versatzunterdrückung	20
9.3 Bewertung durch ein Zeitfenster.....	21
9.4 Diskrete Fouriertransformation und spektrale Leistungsdichte	23
9.5 Auflösung im Wellenlängenbereich.....	24
10 Umwandlung spektraler Daten mit konstanter absoluter Bandbreite in spektrale Daten mit konstanter relativer Bandbreite	24
11 Unsicherheit der Ergebnisse der Analyse	26
12 Berichterstattung der Ergebnisse einer Analyse	27
Anhang A (normativ) Unsicherheit der Ergebnisse der Spektralanalyse	28
Anhang B (informativ) Entstehung von Abtastverzerrungen (Aliasing).....	33
Anhang C (informativ) Abschätzung des Energiefehlers in einem Frequenzband durch Veränderungen der Geschwindigkeit	35
Anhang D (informativ) Ausgleich der Geschwindigkeits-Schwankungen bei der Verarbeitung der Messdaten.....	36
Anhang E (informativ) Erläuterung der Beziehung zwischen der Auflösung der Wellenlänge und der Auflösung der Wellenzahl.....	37
Anhang F (informativ) Spektralanalyse und Profilasymmetrie.....	38
Literaturhinweise	40

Nationales Vorwort

Dieses Dokument beinhaltet die deutsche Übersetzung der Technischen Spezifikation ISO/TS 13473-4:2008, die in der Arbeitsgruppe WG 39 „Measurement of pavement surface macrotexture depth using a profiling method“ des ISO/TC 43/SC 1 „Noise“ unter deutscher Mitarbeit erstellt wurde.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Unterausschuss NA 001-01-05-03 UA „Straßenfahrzeuge – Kenngrößen“ im Arbeitsausschuss NA 001-01-05 AA „Geräuschemissionsmessung an Fahrzeugen einschließlich Messung im Fahrgastraum und am Arbeitsplatz“ verantwortlich.

Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Zur vorliegenden Vornorm wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser Vornorm sind erbeten

- vorzugsweise als Datei per Email an NALS@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. und VDI, 10772 Berlin.

Für die im Abschnitt 2 und in den Literaturhinweisen zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

IEC 61260:1995 + A1:2001	siehe DIN EN 61260:2003
ISO/IEC Guide 98-3	siehe DIN V ENV 13005
ISO 226	siehe DIN EN ISO 226
ISO 13473-1	siehe DIN EN ISO 13473-1
ISO 13473-2:2002	siehe DIN ISO 13473-2:2004
ISO 13473-3	siehe DIN ISO 13473-3

Die fünfteilige Normenreihe ISO 13473 *Characterization of pavement texture by use of surface profiles* wird national unter dem Haupttitel *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen* wie folgt übernommen:

- ISO 13473-1: DIN EN ISO 13473-1, *Bestimmung der mittleren Profiltiefe*
- ISO 13473-2: DIN ISO 13473-2, *Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen*
- ISO 13473-3: DIN ISO 13473-3, *Anforderungen an und Einteilung von Profilometern*
- ISO/TS 13473-4: DIN ISO/TS 13473-4, *Spektralanalyse von Oberflächenprofilen*
- ISO 13473-5^{N1}): DIN ISO 13473-5, *Bestimmung der Megatextur*

N1) Nationale Fußnote: Gegenwärtig im Stadium eines Internationalen Schluss-Entwurfes ISO/FDIS.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61260:2003, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven* (IEC 61260:1995 + A1:2001); Deutsche Fassung EN 61260:1995+A1:2001

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

DIN EN ISO 226, *Akustik — Normfrequenzen*

DIN EN ISO 13473-1, *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe*

DIN ISO 13473-2:2004, *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen* (ISO 13473-2:2002)

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

Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen

Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen

Einleitung

Die Fahrbahntextur gehört zu den grundlegenden Eigenschaften einer Fahrbahnoberfläche, sie steht als solche mit vielen funktionellen Eigenschaften wie der Geräuschemission durch den Fahrbahnkontakt der Reifen, der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, dem Rollwiderstand und dem Reifenverschleiß in Verbindung.

Die Spektralanalyse der gemessenen Oberflächenprofile wird häufig als Verfahren zur Charakterisierung eines Fahrbahnbelags eingesetzt. Die praktischen Erfahrungen der letzten Zeit haben jedoch gezeigt, dass die Methodik der Spektralanalyse auf dem Gebiet der Fahrbahnmessungen nicht so gut bekannt ist, dass mit Sicherheit reproduzierbare Ergebnisse ermittelt werden. Es erscheint deshalb ratsam, die Reproduzierbarkeit durch das Bereitstellen einer Anleitung in Form eines Normendokumentes zu verbessern.

Obwohl die Prinzipien der Frequenzanalyse auf zahlreichen Gebieten der Frequenzanalyse angewandt werden, scheint doch eine auf das Gebiet der Fahrbahntexturmessung zugeschnittene detaillierte Behandlung dieser Prinzipien der richtige Weg zu sein, um den Einsatz dieser Verfahren und die Qualität der erhaltenen Ergebnisse zu verbessern.

Ziel dieser ausführlichen Darlegung in Form einer ISO-Norm ist die Anregung des internationalen Austauschs von Wissen und Daten auf dem Gebiet der Fahrbahneigenschaften.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Technische Spezifikation der ISO beschreibt die Verfahren, die zur Durchführung einer Spektralanalyse von Fahrbahnoberflächen-Profilsignalen zur Verfügung stehen. Sie legt drei mögliche Verfahren zur Wellenzahlanalyse (oder zur Analyse der Texturwellenlängen) zweidimensionaler Oberflächenprofile fest, die die Amplitude der Fahrbahnrauheit als Funktion der Distanz entlang einer über die Oberfläche verlaufenden geraden oder gekrümmten Bahn beschreiben.

Das Ergebnis der Frequenzanalyse ist ein Wellenzahlspektrum (oder Texturwellenlängen-Spektrum) in Bändern konstanter relativer Bandbreite von einer Oktave oder einer Terz.

Diese Technische Spezifikation bietet drei alternative Verfahren zur Ermittlung dieser Spektren:

- 1) Analogfilterung mit konstanter relativer Bandbreite;
- 2) Digitalfilterung mit konstanter relativer Bandbreite;
- 3) Schmalbandanalyse mit konstanter absoluter Bandbreite mittels Diskreter Fouriertransformation und nachfolgende Umwandlung des Schmalbandspektrums in ein Oktav- oder Terzspektrum.

Diese Technische Spezifikation hat zum Ziel, die spektrale Charakterisierung von Fahrbahnoberflächenprofilen zu normen. Zu diesem Zweck wird eine detaillierte Beschreibung der Analysierverfahren und der damit zusammenhängenden Anforderungen für diejenigen gegeben, die mit der Charakterisierung von Fahrbahnen befasst sind, aber nicht mit den allgemeinen Prinzipien der Frequenzanalyse von Zufallssignalen vertraut sind. Diese Verfahren und Anforderungen sind allgemein auf alle Arten von Zufallssignalen anwendbar, werden aber in dieser Technischen Spezifikation in einer speziellen Darstellungsform behandelt, die ihre Anwendung auf Signale von Fahrbahnoberflächenprofilen im Blick hat.

ANMERKUNG Der Anwender dieser Technischen Spezifikation sollte sich dessen bewusst ein, dass die in diesem Dokument behandelte Spektralanalyse nicht alle Eigenschaften des untersuchten Oberflächenprofils wiedergeben kann. Insbesondere können die Wirkungen einer Profilasymmetrie, d. h. des Unterschieds bestimmter Funktionseigenschaften bei „positiven“ und bei „negativen“ Profilen, in der spektralen Leistungsdichte nicht ausgedrückt werden, da diese die Asymmetrie des Signals völlig außer Betracht lässt (siehe Anhang F).

2 Normative Verweisungen

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

IEC 61260, *Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters*

ISO 13473-2:2002, *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: Specifications and classification of profilometers*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 13473-2:2002 und die folgenden Begriffe. Als Hilfestellung für den Anwender werden die wichtigsten Begriffe aus ISO 13473-2:2002 in diesem Dokument nochmals aufgeführt.

3.1 (Textur-)Wellenlänge

λ

Größe, die die horizontalen Abmessungen der Amplitudenschwankungen eines Texturprofils beschreibt

ANMERKUNG 1 Die (Textur-)Wellenlänge wird üblicherweise in Meter (m) oder Millimeter (mm) angegeben.

ANMERKUNG 2 Die Wellenlänge ist ein Begriff, der in der Fachsprache der Elektrotechnik und Signalverarbeitung verbreitet ist und allgemein akzeptiert wird. Da viele Anwender dieser Technischen Spezifikation vielleicht nicht mit der Verwendung des Begriffs Wellenlänge im Zusammenhang mit Fahrbahnen vertraut sind und weil bei der Analyse von Straßenoberflächen-Profilen vielfach elektrische Signale verwendet werden, besteht Verwechslungsgefahr. Daher wird vorzugsweise der Begriff „Texturwellenlänge“ verwendet, um eine klare Unterscheidung gegenüber anderen Anwendungen des Wellenlängebegriffs zu ermöglichen.

ANMERKUNG 3 Das Profil kann als eine stationäre Zufallsfunktion der Distanz entlang der Oberfläche angenommen werden. Mit Hilfe einer Fourieranalyse lässt sich eine derartige Funktion mathematisch als eine unendliche Reihe von Sinusanteilen unterschiedlicher Frequenz (und Wellenlänge) ansehen, von denen jeder eine vorgegebene Amplitude und Anfangsphase besitzt. Bei typischen und stetigen Oberflächenprofilen weist ein in seine Fourieranteile zerlegtes Profil eine stetige Verteilung der Wellenlängen auf. Die Texturwellenlänge nach ISO 13473 ist der Kehrwert der Wellenzahl, deren Einheit m^{-1} ist (was Perioden je Meter entspricht), siehe auch 3.14.

ANMERKUNG 4 Die Wellenlängen können physikalisch als die verschiedenen Längen sich periodisch wiederholender Teile des Profils dargestellt werden.

3.2 Abtastung eines Oberflächenprofils

Auswahl eines repräsentativen Teils der Straßenoberfläche, dessen Profil gemessen wird

3.3 Profilometer

Gerät zur Messung des Profils einer Fahrbahnoberfläche

ANMERKUNG Zu den gegenwärtig im Straßenbau verwendeten Profilometern gehören unter anderem Aufnehmer auf der technologischen Grundlage von Laser, Lichtschnitt, Taststiften oder Ultraschall.

3.4

Messgeschwindigkeit

v

Geschwindigkeit, mit der der Aufnehmer des Profilometers über die zu messende Oberfläche fährt

ANMERKUNG Die Messgeschwindigkeit wird üblicherweise in Kilometer je Stunde (km/h) oder Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

3.5

digitale Signalabtastung

Ermittlung diskreter Messwerte eines Signals an Messpunkten, die in gleichem Abstand voneinander angeordnet sind (und anschließende Umwandlung dieser Werte in einen Digitalcode)

ANMERKUNG In dieser Grunddefinition der digitalen Signalabtastung kann sich die Anordnung der Messpunkte in gleichförmigen Abständen entweder auf den Zeitbereich oder den Ortsbereich beziehen, je nachdem, in welchem Bereich (Zeit oder Ort) das Signal erfasst wird.

3.6

Abtastintervall

Distanz zwischen zwei benachbarten Messpunkten auf der Oberfläche; dies entspricht der Messgeschwindigkeit dividiert durch die Abtastrate des Aufnehmers

ANMERKUNG Das Abtastintervall wird üblicherweise in Millimeter (mm) angegeben.

3.7

Profilmesslänge

l_p

Länge eines ununterbrochenen Profilmessabschnitts

ANMERKUNG Die Profilmesslänge wird üblicherweise in Meter (m) oder Millimeter (mm) angegeben.

3.8

Wiederholintervall

r

Distanz zwischen den Startpunkten zweier aufeinanderfolgender Profilmesslängen nach 3.7

ANMERKUNG Das Wiederholintervall wird üblicherweise in Meter (m) angegeben.

3.9

Auswertungslänge

l

Länge des Profilausschnitts, der analysiert wurde oder werden soll

ANMERKUNG 1 Die Auswertungslänge kann, muss aber nicht gleich der Profilmesslänge sein (aber nie größer).

ANMERKUNG 2 Die Auswertungslänge wird üblicherweise in Meter (m) oder Millimeter (mm) angegeben.

3.10

ungültiger Messwert

gemessener Punkt (Abtastwert) des Profils, der als ungültig identifiziert und üblicherweise bei der nachfolgenden Datenverarbeitung übergangen wird

3.11

Anteil ungültiger Messwerte

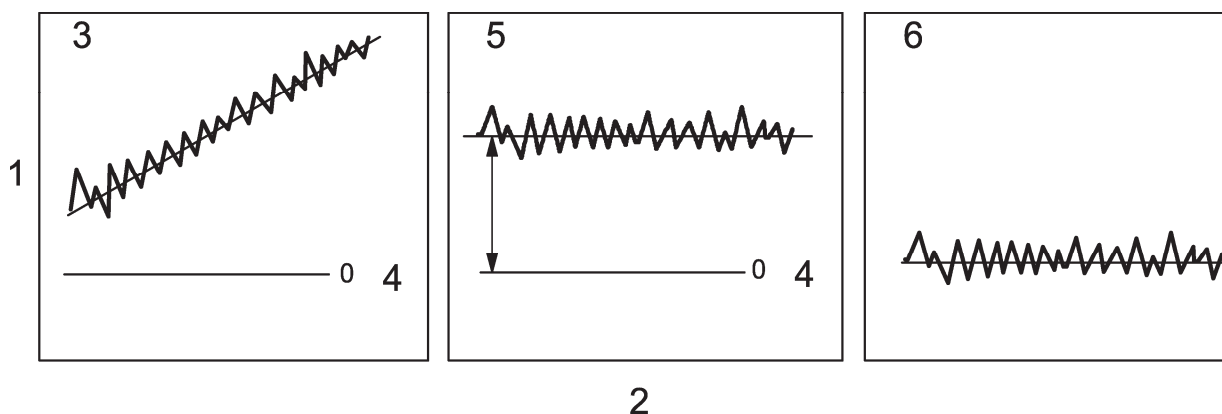
Prozentsatz (%) der gemessenen Punkte innerhalb der Auswertungslänge, die als ungültig identifiziert wurden

3.12**Profilkurve nach Steigungsunterdrückung und mit mittlerem Niveau bei null** $Z(x)$

Profilkurve, $Z(x)$, bei der das mittlere Niveau des Profils über die Auswertungslänge auf null gesetzt und aus der langwellige Trends entfernt wurden

ANMERKUNG 1 Um eine für mathematische Berechnungen geeignete Profilkurve zu erhalten, ist es notwendig, die Steigung und andere langwellige Anteile zu eliminieren (Steigungsunterdrückung) sowie das über die Auswertungslänge gemittelte Niveau des Profils auf null zu setzen (Versatzunterdrückung). Dies kann durch Subtraktion einer nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate berechneten Geraden von dem Profil erreicht werden, siehe 9.2. Die so entstandene Profilmittellinie muss dann auf dem Nullniveau liegen. Siehe Darstellung in Bild 1.

ANMERKUNG 2 Die Merkmale sind in Bild 1 zur klareren Veranschaulichung überzogen dargestellt. Bei Subtraktion einer nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate berechneten Geraden von dem Profil werden die beiden im Bild von links nach rechts dargestellten Vorgänge in einem Schritt ausgeführt (dies ist auch durch eine Hochpassfilterung möglich).

**Legende**

- 1 Vertikaldistanz
- 2 Horizontaldistanz
- 3 Originalprofil
- 4 Nullniveau
- 5 mit Steigungsunterdrückung
- 6 mit Versatzunterdrückung

Bild 1 — Bildliche Darstellung der Steigungs- und Versatzunterdrückung

3.13**Oberflächenprofilspektrum****Texturspektrum****Unebenheitsspektrum**

sich ergebendes Spektrum, wenn eine Profilkurve mit Hilfe entweder digitaler oder analoger Filterungsverfahren analysiert wird, um die Größenordnung ihrer Spektralanteile bei verschiedenen Wellenlängen (siehe 3.1) oder Wellenzahlen (siehe 3.14) zu bestimmen

ANMERKUNG Ein Texturspektrum stellt die Größenordnung jeder Spektralkomponente als Funktion entweder der Texturwellenlänge oder der Wellenzahl dar.

3.14**Wellenzahl**

Kehrwert der (Textur-)Wellenlänge

ANMERKUNG 1 Die Wellenzahl wird üblicherweise in m^{-1} ausgedrückt, siehe auch 3.1, Anmerkung 3.

ANMERKUNG 2 Der im Zeitbereich verwendete Begriff „Frequenz“, genauer „zeitliche Frequenz“, entspricht der „Wellenzahl“ im Ortsbereich.

3.15

Oberflächen-(Textur-)Profilpegel

$L_{\text{tx},\lambda}$

logarithmische Darstellung des Amplitudenverlaufs einer Profilkurve, $Z(x)$, wobei letztere in Effektivwerten angegeben ist

BEISPIEL $L_{\text{tx},80}$ bezeichnet den Textur-Profilpegel eines Terzbandes, das in Bandmitte eine Wellenlänge von 80 mm hat, siehe ISO 13473-2:2002, Tabelle 1.

ANMERKUNG 1 Der Textur-Profilpegel kann durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$L_{\text{TX},\lambda} \text{ oder } L_{\text{tx},\lambda} = 10 \lg \frac{a_{\lambda}^2}{a_{\text{ref}}^2} \text{ dB} = 20 \lg \frac{a_{\lambda}}{a_{\text{ref}}} \text{ dB} \quad (1)$$

Dabei ist

$L_{\text{tx},\lambda}$ Textur-Profilpegel in Terzbändern, bezogen auf 10^{-6} m, in dB;

$L_{\text{TX},\lambda}$ Textur-Profilpegel in Oktavbändern, bezogen auf 10^{-6} m, in dB;

a_{λ} Effektivwert der vertikalen Auslenkung des Oberflächenprofils, in m;

a_{ref} Bezugswert ($= 10^{-6}$ m);

λ Index, der einen mit einem Terz- oder Oktavfilter ermittelten Wert kennzeichnet, wobei der Filter in Bandmitte die Wellenlänge λ hat.

ANMERKUNG 2 Oktavbandfilter und Terzbandfilter sind in ISO 13473-2:2002, 4.4, angegeben.

ANMERKUNG 3 Die Effektivwerte gefilterter wie ungefilterter Profilamplituden können einen Bereich mehrerer Größenordnungen umfassen, typischerweise zwischen 10^{-5} m und 10^{-2} m. Bei akustischen, schwingungstechnischen und elektrotechnischen Untersuchungen wird die spektrale Darstellung von Signalen häufig angewandt. In all diesen Fachgebieten ist es üblich, logarithmische Amplitudenmaßstäbe zu verwenden. Die gleiche Vorgehensweise wird auch in diesem Teil von ISO 13473 bevorzugt.

ANMERKUNG 4 In der Praxis der Straßenbautechnik liegen die Textur-Profilpegel nach dieser Definition typischerweise im Bereich von 20 dB bis 80 dB.

3.16

spektrale Leistungsdichte

PSD

Größe, die als Funktion der Frequenz oder der Wellenlänge die Leistung angibt, die in einem Signal je Frequenzeinheit oder je Wellenlängeneinheit enthalten ist

ANMERKUNG 1 Für den Fall eines bandgefilterten Signals im Zeitbereich kann die PSD definiert werden als Grenzwert des zeitgemittelten quadrierten Signals in einem bestimmten Frequenzintervall, dividiert durch die Bandbreite dieses Intervalls, wobei die Bandbreite gegen null und die Mittelungszeit gegen unendlich gehen, was zu einer Darstellung des Spektrums in Einheiten der quadrierten Amplitude pro Frequenzeinheit führt, wie in Gleichung (2) angegeben.

$$X_{\text{PSD}} = \lim_{\Delta f \rightarrow 0, T \rightarrow \infty} \frac{1}{(\Delta f)T} \int_0^T x^2(f_0, \Delta f, t) dt \quad (2)$$

Dabei ist

- X_{PSD} spektrale Leistungsdichte eines Zeitsignals x ;
 Δf Bandbreite des Frequenzintervalls, in Hz;
 T Mittelungszeit, in s.

ANMERKUNG 2 Wird ein Abtastsignal der Diskreten Fouriertransformation unterzogen, kann die PSD als quadrierte Größe der Anteile der Fourierreihe, dividiert durch die effektive Bandbreite der (schmalen) Bänder des Fourierspektrums definiert werden (siehe 9.4).

ANMERKUNG 3 Bei der Spektralanalyse eines Fahrbahnoberflächen-Profils ist das Signal nicht eine Funktion der Zeit, sondern der Auswertungslänge, l . Die spektrale Leistungsdichte kann hier als Funktion der Wellenzahl oder der (Textur-) Wellenlänge angegeben werden und wird in der Einheit $\text{m}^2/\text{m}^{-1} = \text{m}^3$ bzw. der Einheit m^2/mm ausgedrückt.

ANMERKUNG 4 Das Wort „Leistung“ stammt in dieser Bedeutung aus der Fachsprache zu elektrischen und akustischen Signalen, bei denen die Signale eine tatsächliche Leistung darstellen und die quadrierte Amplitude ein Maß für diese Leistung ist.

4 Grundlegender Überblick zur Methodik der Wellenzahlanalyse

Im Prinzip gibt es drei alternative Verfahren zur Ermittlung eines Wellenzahlspektrums in Bändern konstanter relativer Bandbreite von einer Oktave oder einer Terz. Diese drei Verfahren sind:

- Verfahren 1: Analogfilterung mit konstanter relativer Bandbreite;
- Verfahren 2: Digitalfilterung mit konstanter relativer Bandbreite;
- Verfahren 3: Schmalband-Frequenzanalyse mit konstanter absoluter Bandbreite mit Hilfe der Diskreten Fouriertransformation und nachfolgende Umwandlung des Schmalbandspektrums in ein Oktav- oder Terzbandspektrum.

Von allen drei Verfahren sind (innerhalb der Vertrauensbereiche, die sich aus der Mess- und Analysierunsicherheit ergeben) gleichwertige Ergebnisse zu erwarten, wenn vorausgesetzt werden kann, dass die Signalqualität hoch ist (unter anderem: keine ungültigen Messwerte enthält) und dass in jedem der drei Verfahren alle Einrichtungen zur Signalverarbeitung die in dieser Technischen Spezifikation festgelegten Anforderungen erfüllen. Wenn jedoch im Signal ungültige Messwerte vorkommen, ist Verfahren 1 nicht zu empfehlen, weil es keine Möglichkeit zur Aufbereitung ungültiger Werte bietet, was zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann.

Die Verfahren 2 und 3 führen zu absolut gleichwertigen Ergebnissen. Das Verfahren 3 umfasst mehr Schritte als Verfahren 2, kann jedoch eine größere Flexibilität bei der Wahl der Analysierparameter bieten.

Die drei alternativen Verfahren sind in Bild 2 schematisch dargestellt. Der linke Pfad beschreibt die Schritte zur Analogfilterung mit konstanter relativer Bandbreite und der mittlere Pfad die Schritte zur Digitalfilterung mit konstanter relativer Bandbreite, während der rechte Pfad die Schritte zur Analyse unter Anwendung der Diskreten Fouriertransformation aufzeigt.

ANMERKUNG 1 Bei der schrittweisen Umsetzung des Verfahrens 2 können die Schritte der „digitalen Abtastung“ und der „digitalen Filterung“ zusammengefasst werden.

ANMERKUNG 2 Die verschiedenen Schritte der Verfahren 2 und 3 können sowohl durch Hardware als auch mittels Software ausgeführt werden.

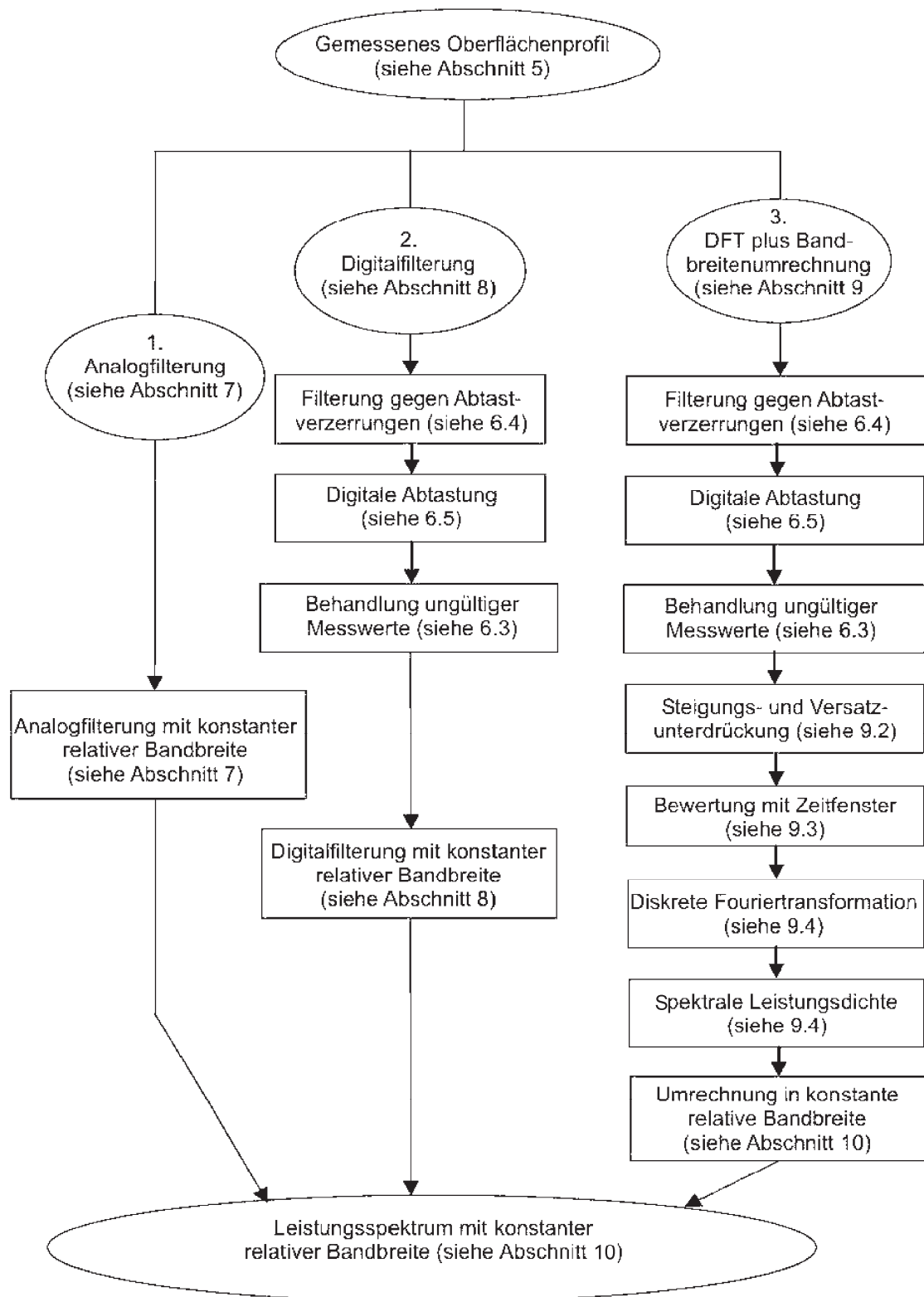


Bild 2 — Schematische Darstellung der Spektralanalyse mit Bezug auf die Abschnitte und Unterabschnitte, in denen das jeweilige Thema behandelt wird

5 Abtastung von Oberflächenprofilen

5.1 Abtastung von Straßenabschnitten

Die am weitesten bekannte und vorzugsweise angewandte Art der Abtastung des Oberflächenprofils eines Straßenabschnittes ist die entlang einer geraden Linie in Längsrichtung der Straße. Je nach Art der Untersuchung kann das Profilometer auch auf anderen Bahnen geführt werden, z. B. auf quer und schräg verlaufenden Geraden, Kreisen, Spiralen oder Sinuskurven. Die Abtastung auf Geraden in Längsrichtung kann auf der linken oder der rechten Radspur oder zwischen den Radspuren vorgenommen werden.

In jedem Fall müssen die Form und Lage der Abtastspur sorgfältig vermerkt und im Ergebnisbericht genau angegeben werden. Die Spektralanalyse darf nur an Datensätzen vorgenommen werden, die mit einer einzigen Form der Abtastspur aufgenommen wurden.

Die erforderliche Auswertungslänge hängt von der beabsichtigten Frequenzanalyse ab. Dies führt zu den folgenden Anforderungen an die Auswertungslänge l :

$$l \geq 5 \lambda_{\max} \text{ für Oktavbänder} \quad (3)$$

$$l \geq 5 \lambda_{\max} \text{ für Terzbänder}$$

Dabei ist $\lambda_{\max}$ die längste Oktavband-(Terzband-)Wellenlänge in Bandmitte, die bei der Spektralanalyse ausgewertet wird.

ANMERKUNG Diese Forderungen laufen darauf hinaus, dass die über diese Auswertungslängen ermittelten Oktavbandpegel bzw. Terzbandpegel voraussichtlich innerhalb eines 95%-Vertrauensbereichs von etwa ± 3 dB Breite um die wahren Bandpegel herum liegen (die sich für eine unendlich große Auswertungslänge ergeben würden).

Für die Abtastung von Prüfabschnitten in Längsrichtung wird folgende Verfahrensweise empfohlen.

Es sind mehrere über die Länge des Straßenabschnitts verteilte Profilmessungen durchzuführen. Jede Profilmesslänge und/oder Auswertungslänge muss so lang sein, dass die Forderung von Gleichung (3) an die maximale Wellenlänge erfüllt wird. Die gemessenen Profile müssen gleichmäßig über den Prüfabschnitt verteilt sein.

Die Anzahl der Profilmessungen ist so festzulegen, dass die gemessenen Teile des Prüfabschnitts die Oberflächeneigenschaften möglichst gut erfassen. Die gemessenen Profile sind getrennt zu analysieren. Wenn die gemessenen Profile eine repräsentative Probe des untersuchten Prüfabschnitts darstellen, kann die relative Standardabweichung als Schätzwert der Schwankungsbreite der Oberflächeneigenschaften entlang des Prüfabschnitts angesehen werden.

Es wird empfohlen, dass jede Auswertungslänge mindestens 1 m beträgt; eine solche Auswertungslänge ermöglicht eine Oktavband-Wellenlänge, $\lambda_{\max}$, von etwa 0,08 m, was zur Erfassung des Makrotexturbereiches ausreicht.

BEISPIEL	Siehe Bild 3.
Länge des Prüfabschnittes	l_r
längste (Textur-)Wellenlänge	$\lambda_{\max}$
Anzahl der Profilmessungen	N_p
Auswertungslänge	l
Profilmesslänge	l_p
Wiederholintervall	$r = l_r / N_p$