

DIN EN 13036-5

ICS 17.040.20; 93.080.10

**Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen –
Prüfverfahren –
Teil 5: Bestimmung der Längsunebenheitindizes;
Deutsche Fassung EN 13036-5:2019**

Road and airfield surface characteristics –
Test methods –
Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices;
German version EN 13036-5:2019

Caractéristiques de surface des routes et aérodrômes –
Méthodes d’essais –
Partie 5: Détermination des indices d’uni longitudinal;
Version allemande EN 13036-5:2019

Gesamtumfang 53 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13036-5:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-10-08 AA „Oberflächeneigenschaften“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

Deutsche Fassung

Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen —
Prüfverfahren —
Teil 5: Bestimmung der Längsunebenheitindizes

Road and airfield surface characteristics —
Test methods —
Part 5: Determination of longitudinal unevenness
indices

Caractéristiques de surface des routes et aérodromes —
Méthodes d'essais —
Partie 5: Détermination des indices d'uni longitudinal

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 21. Juli 2019 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Berechnung der Ebenheitsindizes	9
6 Internationaler Rauigkeitsindex (IRI)	10
6.1 Allgemeines	10
6.2 Darstellung der erhaltenen Ergebnisse	11
7 Wellenbandanalyse	12
7.1 Allgemeines	12
7.2 Wellenbandindizes	13
8 Analyse des Bewerteten Längsprofils (WLP)	13
8.1 Allgemeines	13
8.2 Voraussetzungen	13
9 Berichterstattung	13
Anhang A (normativ) Berechnung des IRI	15
Anhang B (informativ) Beispielcode für die IRI-Berechnung	19
Anhang C (informativ) Wellenbandanalyse mit Bi-Oktavbändern und RMS	21
Anhang D (informativ) Wellenbandanalyse mit Hilfe der LPV über ausgewählte Wellenlängen	41
Anhang E (informativ) Berechnung des WLP	44
Anhang F (informativ) Überprüfung der Indikatorimplementierung	50
Literaturhinweise	51

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13036-5:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN^{N1)} gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2020, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2020 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

N1) Nationale Fußnote: Der Text entspricht der englischen Referenzfassung. Das Sekretariat wird von BSI gehalten.

Einleitung

Die Ebenheit des Straßenprofils beeinträchtigt infolge der dynamischen Wechselwirkung von Straße/Fahrzeug und Fahrzeugschwingungen die Sicherheit (Reifenkontaktkräfte), den Fahrkomfort, den Energieverbrauch und Fahrzeugverschleiß sowie die Fahrbahn- und Straßenhaltbarkeit. Die Ebenheit des Straßenprofils ist demzufolge eine entscheidende Information für Managementsysteme der Straßeninstandhaltung und Leistungskontrolle.

Der Zweck des vorliegenden Dokuments besteht darin, ein Standardverfahren für die Berechnung und Berichterstattung von Schätzwerten der Straßenebenheit von digitalisierten Längsprofilen zu liefern.

Diese Vorgehensweise umfasst die mathematische Verarbeitung von Längsprofilmessungen, um Ebenheitsstatistiken (Indizes) für den Wellenlängenbereich von 0,5 m bis 50 m zu erstellen. Diese Wellenlängen decken die meisten Fahrzeugsituationen ab¹⁾. Die Vorgehensweise beschreibt das Berechnungsverfahren für den Internationalen Rauigkeitsindex (IRI), die Wellenbandanalyse (quadratischer Mittelwert (RMS) und Varianz des Längsprofils (LPV) und das Bewertete Längsprofil (WLP).

Der Zweck dieser Vorgehensweise besteht darin, sicherzustellen, dass bei Anwendung eines der möglichen Verfahren die genau gleichen Schritte ausgeführt werden, mit dem Ziel, den Vergleich von Ebenheitsmessungen zu erleichtern, die mit unterschiedlichen Oberflächenprofilmessgeräten in europäischen Ländern durchgeführt wurden. Die Verfahren für Wellenbandanalysen sind informativ und daher wird der IRI als Benchmarkingparameter bevorzugt.

ANMERKUNG Als Kontrolle für die Implementierung der Berechnung der Ebenheitsindizes stehen drei Längsprofile, einschließlich der „wahren Werte“, zur Verfügung. Sie können unter www.erpug.org dem Dateiverzeichnis *reference profiles* entnommen werden. Mehr Informationen dazu können Anhang F entnommen werden.

1) Bei höherer Geschwindigkeit, z. B. auf Landebahnen von Flughäfen oder Autobahnen, könnten auch längere Wellenlängen von Bedeutung sein.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die mathematische Verarbeitung von digitalisierten Längsprofilmessungen fest, um Ebenheitsindizes zu erstellen. Das Dokument beschreibt das Berechnungsverfahren für den Internationalen Rauigkeitsindex (IRI, en: International Roughness Index), den quadratischen Mittelwert (RMS, en: Root Mean Square) und die Varianz des Längsprofils (LPV, en: Longitudinal Profile Variance) von drei separaten Wellenbändern und σ WLP und Δ WLP des Bewerteten Längsprofils (WLP, en: Weighted Longitudinal Profile).

Der Zweck des vorliegenden Dokuments besteht darin, ein Standardverfahren für die Berechnung und Berichterstattung von Schätzwerten der Straßenebenheit von digitalisierten Längsprofilen zu liefern. Weitere Ziele dieses Dokuments bestehen darin, den Vergleich der Ergebnisse von Ebenheitsmessungen, die mit verschiedenen Profilometern in europäischen Ländern durchgeführt wurden, zu ermöglichen.

Der in diesem Dokument abgedeckte Ebenheitsbereich umfasst den festgelegten Wellenlängenbereich von 0,5 m bis 50 m. Es wird darauf hingewiesen, dass auch kürzere und längere Wellenlängen den Fahrkomfort beeinflussen können, jedoch in diesem Dokument nicht abgedeckt sind.

Die nach diesem Dokument abgeleiteten quantifizierten Ebenheitsindizes sind eine nützliche Unterstützung für Fahrbahnmanagementsysteme. Das Ergebnis kann auch für die Typprüfung und Leistungskontrolle von neuen und alten Fahrbahnbelägen genutzt werden. Die Indizes können auf starre, flexible und Schotterstraßenoberflächen angewendet werden.

Dieses Dokument legt nicht fest, von welcher Stelle auf der Straße das Längsprofil erhalten werden sollte.

Die abgeleiteten Indizes sind in dem Sinne übertragbar, dass sie von Längsprofilen erhalten werden können, die mit verschiedenen Messgeräten gemessen wurden.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

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:

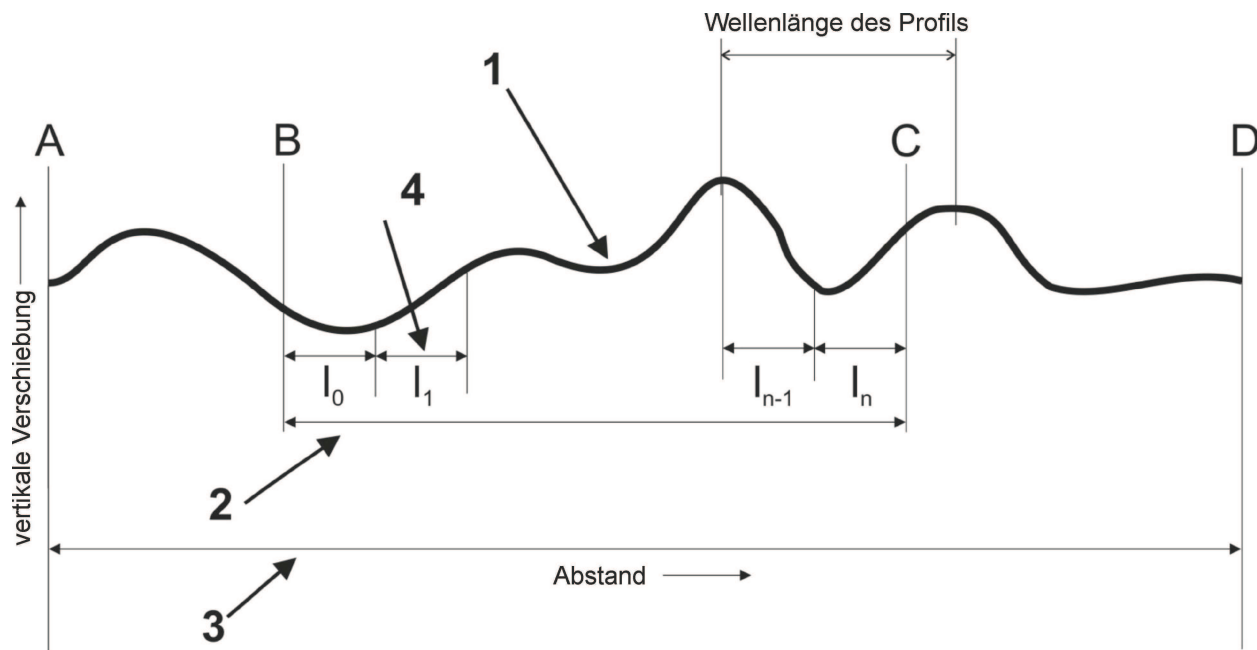
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Auswertungswiederholintervall

über die Straßenoberfläche durchgeführte Messungen, die häufig mit Hilfe kürzerer Abschnitte oder Abtastlängen analysiert werden, um eine präzisere Beschreibung des gemessenen Profils zu ermöglichen, und die die Länge einer derartigen Abtastung sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Informationen über die Abtastungen siehe Legende 4, l_0 bis l_n in Bild 1.



Legende

- 1 Längsprofil
- 2 B bis C Profilmesslänge
- 3 A bis D vom Profilometer zurückgelegte Gesamtstrecke
- 4 $l_0 \dots l_n$ Auswertungswiederholintervall

Bild 1 — Definitionen von Profillängen

3.2

Längsebenheit

Abweichung des Längsprofils von einer geraden Bezugslinie in einem festgelegten Wellenlängenbereich von z. B. 0,5 m bis 50 m

3.3

Längsprofil

Schnittfläche zwischen Fahrbahnoberfläche und einer konventionellen Bezugsebene, die senkrecht auf der Fahrbahnoberfläche und parallel zur Fahrtrichtung steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Gewöhnlich wird eines der in den Radspuren gemessenen Profile verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Straßenlängsprofil wird typischerweise alle 50 mm oder 100 mm (Erfassungswiederholintervall) gespeichert.

3.4

Messweg

aus allen möglichen Profilen in Querrichtung ausgewählter Schnittpunktpfad

3.5

aufbereitetes Profil

Profil, das durch die Anwendung von Wiederabtastung und Filterverfahren erhalten wird

3.6

Profil

Profil der Oberfläche, das durch zwei Koordinaten beschrieben wird: eine in der Oberflächenebene in Richtung der Lauflinie des Profilometers, als Abstand bezeichnet (die Abszisse), und die andere in Richtung senkrecht zur Oberflächenebene, als vertikale Verschiebung bezeichnet (die Ordinate)

3.7

Profilometer

Gerät zur Messung und Erfassung von Profilen, das die Ebenheit von z. B. Straßen und Flugplätzen erfasst

3.8

Profilmesslänge

Länge einer ununterbrochenen Profilmessung, über deren Verlauf das Profilometer das Profil durchgehend und genau digitalisiert und aufzeichnet (in Bild 1 von Punkt B nach C)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die meisten Profilometer benötigen eine Mindeststrecke, die sie vor und nach dem eigentlich zu messenden Profil abfahren müssen; diese Anfangs- (in Bild 1 von Punkt A nach B) und Endphase (in Bild 1 von Punkt C nach D) sollten in der Profilmesslänge nicht enthalten sein.

3.9

Rohlängsprofil

von einem Profilometer beim Vermessen eines Straßenlängsprofils ermitteltes Profil, dessen Kennwerte vom verwendeten Profilometer abhängen

3.10

Wiederabtastung

auf das ursprünglich gemessene Profil (Rohlängsprofil) angewendetes Verfahren zur Erzeugung eines neuen Profils mit einem alternativen Abtastabstand

3.11

Ortsfrequenz

N

Reziprokwert einer Wellenlänge in Perioden je Meter; die Ortsfrequenz N definiert die Anzahl an Wellen der Wellenlänge λ je Meter:

$$N = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

3.12

Erfassungswiederholintervall

absoluter Wert der Differenz der Abszisse zwischen zwei benachbarten Punkten der digitalisierten Längsprofilinie

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition setzt voraus, dass der mit dem Profilometer gemessene Abstand, der sich gewöhnlich auf die krummlinige Abszisse bezieht, im mathematischen Sinn zur Abszisse nahe genug ist.

3.13

Wellenlänge

messbare Größe, die das horizontale Maß der Unebenheiten eines Längsprofils beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die longitudinale Wellenlänge wird üblicherweise in Meter (m) oder Millimeter (mm) ausgedrückt; sie beschreibt die Wellenlängenkomponenten des Profils und steht in Beziehung zum Konzept der Fouriertransformation einer Reihe regelmäßig entlang einer Ortsachse abgetasteter Messpunkte.

3.14

Radspuren

Bereich einer Fahrbahnoberfläche, in dem sich die Mehrheit der Überfahrten der Fahrzeugräder konzentriert

4 Symbole und Abkürzungen

B	ist die Basis, die für die IRI-Berechnung, in Meter (m), eingesetzt wird. Sie ist die Länge, über die die IRI-Berechnung vorgenommen wird (oder Erfassungslänge nach der Terminologie des vorliegenden Dokuments)
L	bezeichnet die Messlänge
N	ist die Ortsfrequenz, in Zyklen je Meter (m): $N = \frac{1}{\lambda}$; N wird gewöhnlich als Wellenzahl bezeichnet
x_i	ist die Abszisse am Abtastpunkt i , in Meter (m)
z_i	ist die Höhe des Profils, bestimmt am Abtastpunkt i , in Meter (m) oder Millimeter (mm)
δ_x	ist das Erfassungswiederholintervall für die Digitalisierung des Profils, in Meter (m) oder Millimeter (mm)
λ	ist die Wellenlänge, in Meter (m)
Δ	Abtastintervall
IRI	ist der Internationale Rauigkeitsindex (en: International Roughness Index)
WB	ist der Wellenbandindex, berechnet mit Hilfe der RMS-Analyse (quadratischer Mittelwert), angewandt auf die aufbereiteten Profilhöhen für das Wellenband W , in Meter (m)
RMS	quadratischer Mittelwert
SW	ist der quadratische Mittelwert des Kurzwellenbands (en: short wavelength band)
LPV	Varianz des Längsprofils
MW	ist der quadratische Mittelwert des Mittelwellenbands (en: medium wavelength band)
LW	ist der quadratische Mittelwert des Langwellenbands (en: long wavelength band)
w	ist die Welligkeit des Bezugsspektrums, verwendet für das WLP
WLP	ist das Bewertete Längsprofil (en: Weighted Longitudinal Profile)
σ_{WLP}	ist die Standardabweichung des WLP
Δ_{WLP}	ist die Variationsbreite des WLP

5 Berechnung der Ebenheitsindizes

Ein Profil kann von einer beliebigen Seitenlage in der Fahrspur beginnend erhalten werden. Dieses Dokument legt nicht fest, welches dieser Profile verwendet werden sollte, sondern nur, wie einer der vier festgelegten Ebenheitsindizes zu berechnen ist.

Die Berechnung der Ebenheitsindizes umfasst die folgenden Schritte:

- die Messung des Profils, einschließlich Identifikation der Start- und Endpunkte der Profilmesslänge und mögliche Ereignisse (z. B. Kreisverkehre, Bodenschwellen, Ecksteine usw.)
- für Benchmarkingzwecke wird empfohlen, das Profil mit einer Schrittweite von 0,1 m abzutasten. Das Wiederabtastverfahren ist besonders zu berücksichtigen, um fehlerhafte Energie im Signal zu vermeiden;
- die Berechnung eines oder mehrerer Indizes.

Im Falle der Wellenbandanalyse ist die Aufbereitung, einschließlich Wiederabtastung und Filterung, unerlässlich und wird empfohlen, um die Profile zu homogenisieren und Vergleiche zu erleichtern. Für Benchmarkingzwecke ist eine Wiederabtastung nach der Wiederabtastfunktion in Matlab®²⁾ erforderlich. Für andere Anwendungen könnte ein lineares Modell verwendet werden. Je nach Anwendungszweck gibt es vier mögliche Gruppen von Ebenheitsindizes, die zur Auswahl stehen. Die erste ist die Berechnung des Internationalen Rauigkeitsindex IRI, beschrieben in Anhang A (normativ), der bei internationalen Vergleichen und Benchmarktests verwendet werden sollte, die zweite ist die Berechnung der Ebenheitsenergie in drei verschiedenen Wellenbändern mit Hilfe der Bi-Oktavzerlegung (RMS), beschrieben in Anhang C (informativ). Die dritte ist ein alternatives Verfahren zur Berechnung der Ebenheitsenergie in drei Wellenbandbändern mit Hilfe der Profilvarianz (LPV), siehe Anhang D (informativ). Das letzte der vier Verfahren ist die Berechnung der Variationsbreite und Standardabweichung der Ebenheit mit Hilfe des Bewerteten Längsprofils (WLP), beschrieben in Anhang E (informativ). In Anhang B ist ein Beispielcode für die Berechnung des IRI angegeben. Das allgemeine Verfahren zur Berechnung der Ebenheitsindizes ist in Bild 2 dargestellt.

2) Matlab® ist ein Beispiel für ein geeignetes handelsübliches Produkt. Diese Angabe dient nur zur Unterrichtung der Anwender dieser Europäischen Norm und bedeutet keine Anerkennung des genannten Produkts durch CEN.

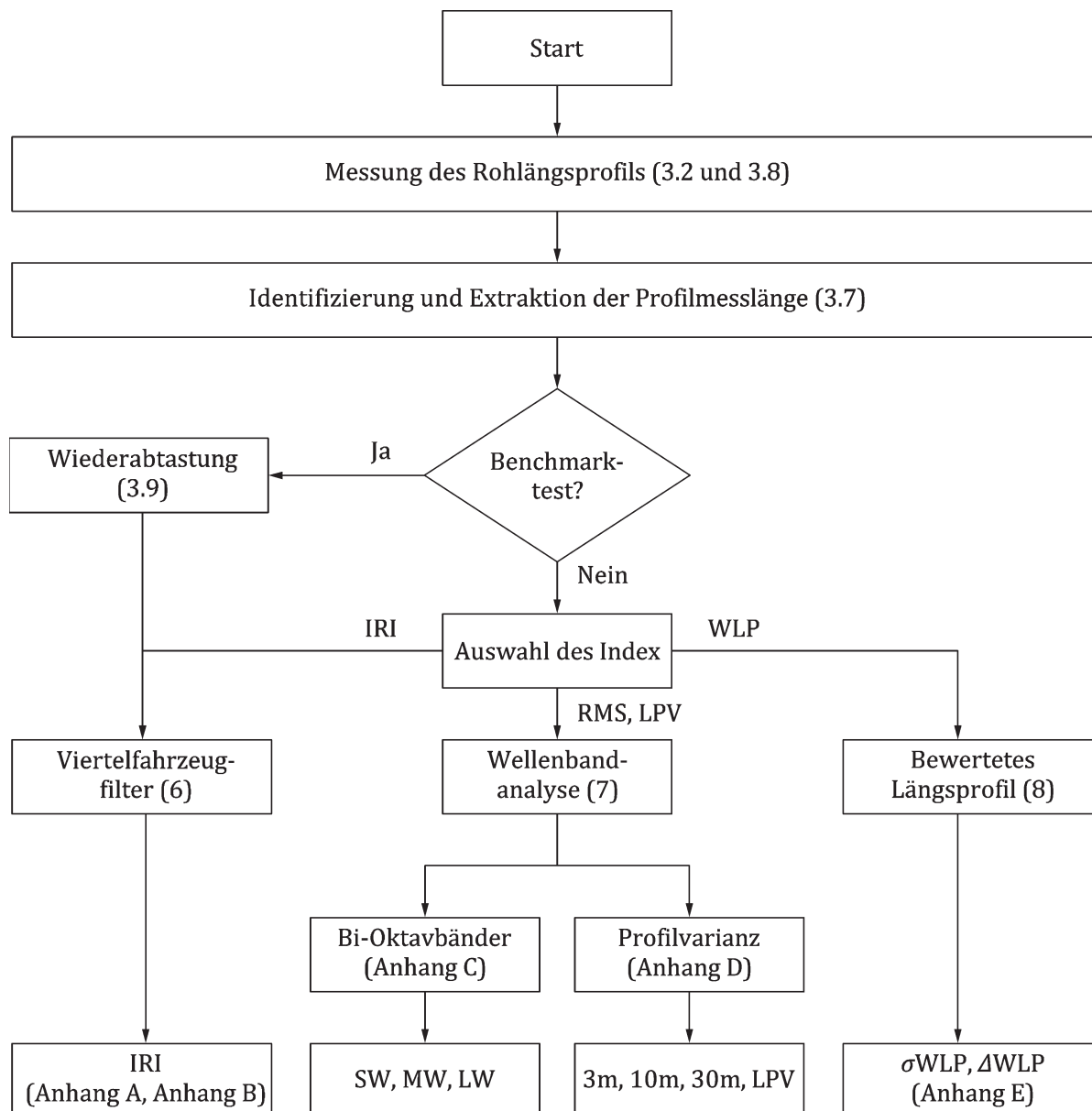


Bild 2 — Übersicht zum Berechnungsverfahren der Indizes (Verweisungen auf Abschnitte in Klammern)

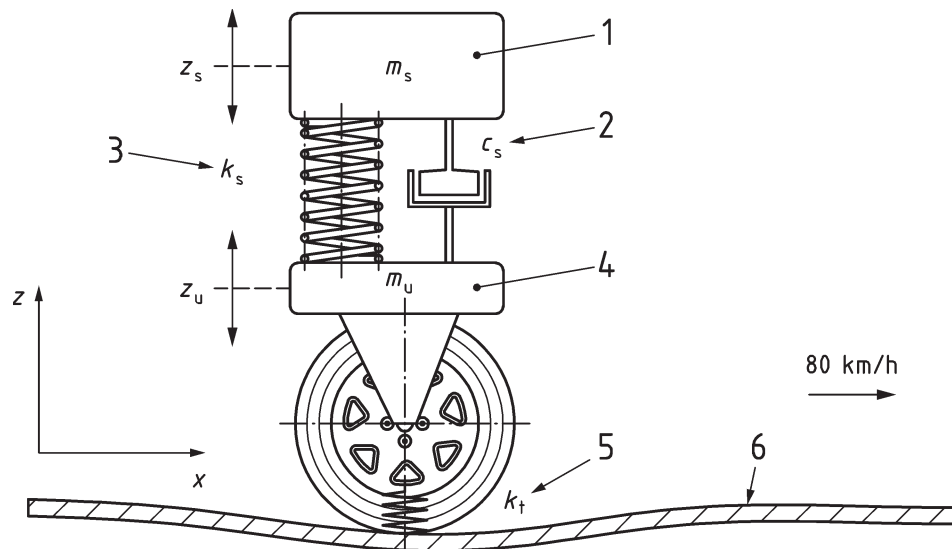
6 Internationaler Rauigkeitsindex (IRI)

6.1 Allgemeines

Der IRI ist ein Index, der aus einer Messung des Straßenlängsprofils mit Hilfe eines virtuellen Ansprechsystems (Viertelfahrzeugsimulation), das mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h fährt, berechnet wird (siehe Bild 3). Die auf das digitalisierte Straßenprofil angewendete Viertelfahrzeugsimulation berechnet die kumulierten Stoßbewegungen Z_s und Z_u in Bild 3 dividiert durch die zurückgelegte Strecke. Die Beschreibung der IRI-Berechnung basiert auf [7]:

- Der IRI wird aus einem einzelnen Straßenlängsprofil berechnet. Für genaue Berechnungen sollte das Erfassungswiederholintervall nicht größer als 125 mm sein. Die erforderliche vertikale Sensorauflösung hängt von dem Ebenheitsniveau ab, wobei eine feinere Auflösung bei glatten Straßen erforderlich ist. Eine vertikale Sensorauflösung von 0,5 mm ist für alle Bedingungen geeignet;

- es wird vorausgesetzt, dass das Profil eine konstante Steigung zwischen den abgetasteten Höhenpunkten hat;
- das Profil wird mit einem gleitenden Mittelwert der Basislänge 250 mm geglättet;
- das geglättete Profil wird mit einer Viertelfahrzeugsimulation gefiltert, mit spezifischen Parameterwerten, bei einer simulierten Geschwindigkeit von 80 km/h;
- die simulierte Aufhängungsbewegung wird linear kumuliert und durch die Länge des Profils dividiert, um den IRI zu ergeben. Somit hat der IRI Einheiten der Steigung, z. B. Millimeter je Meter oder Meter je Kilometer.



Legende

1	gefederte Masse m_s	4	ungefederte Masse m_u
2	Dämpfungskonstante der Aufhängung c_s	5	Federkonstante des Reifens k_t
3	Federkonstante der Aufhängung k_s	6	Längsprofil $Z(x)$
Z_s und Z_u	kumulierte Stoßbewegungen		

Bild 3 — Viertelfahrzeug (virtuelles Ansprechsystem)

Weitere Einzelheiten zu dem Verfahren der IRI-Berechnung und zu dem Abtastcode sind in Anhang A und Anhang B angegeben.

6.2 Darstellung der erhaltenen Ergebnisse

Der IRI kann mit einer anderen Auswertungslänge L berechnet werden. Für eine detailliertere Analyse der Straßenprofilaten kann die Auswertungslänge L verändert werden. Daher sollte sie als der erste Subindex angegeben werden, z. B. IRI_{20} für $L = 20$ m. Für das europäische Benchmarking wird eine Auswertungslänge von 100 m empfohlen; sie sollte mit IRI_{100} bezeichnet werden.

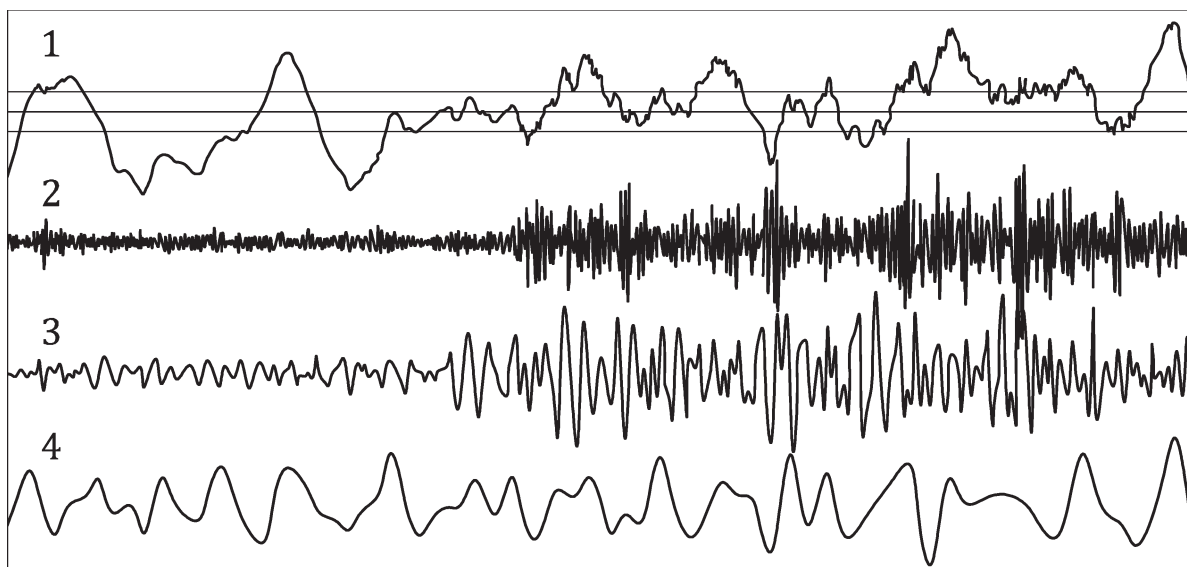
Veränderungen der in Bild 3 dargestellten IRI-Parameter oder der Simulationsgeschwindigkeit liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Dokuments. Wenn die Viertelfahrzeugsimulation jedoch aus irgendeinem Grund mit anderen als den genannten Parametern berechnet wird, sollte sie nicht als IRI bezeichnet werden.

7 Wellenbandanalyse

7.1 Allgemeines

Um die Wellenbandanalyse durchzuführen, wird das aufbereitete Profil mit Hilfe von Filtern (siehe Bild 4) in verschiedene wellenbandbegrenzte Profile aufgeteilt. Die Wellenbänder werden im Allgemeinen gewählt, um verschiedene Merkmale der Fahrqualität darzustellen. Beispielsweise kann die Anwendung eines Kurzwellenfilters einen Index ergeben, der das Vorhandensein von kleinen Wellenbewegungen auf der Straßenoberfläche berücksichtigt, die bei geringeren Geschwindigkeiten von größerer Bedeutung sein könnten. Im Gegensatz dazu kann die Anwendung eines Langwellenfilters einen Index ergeben, der das Vorhandensein von großen Wellenbewegungen berücksichtigt, die höchstwahrscheinlich die Fahrqualität bei hohen Geschwindigkeiten beeinträchtigen würden.

Die Definition der benutzten Wellenbänder und die Kennwerte der Filter, die benutzt werden, um vom ursprünglichen Längsprofil bandbegrenzte Signale zu erhalten, müssen angegeben werden. Außerdem muss festgelegt werden, wie die Indizes aus den bandbegrenzten Signalen abgeleitet werden.



Legende

- 1 aufbereitetes Profil
- 2 kurzwellengefiltertes Profil
- 3 mittelwellengefiltertes Profil
- 4 langwellengefiltertes Profil

Bild 4 — Aufteilung der Wellenbänder

Die Filter, die auf das Längsprofil angewendet werden, sind im Allgemeinen entweder:

- Bandpassfilter, bei denen Wellenlängen außerhalb eines festgelegten Bereiches abgeschwächt werden; oder
- Hochpassfilter, bei denen Wellenlängen größer als eine festgelegte Wellenlänge abgeschwächt werden.

Die für die Aufteilung des ursprünglichen Längsprofils in die zuvor festgelegten Bänder verwendeten Filter sollten sorgsam ausgewählt werden, damit möglichst wenige Verzerrungen in die gefilterten Signale eingebracht werden; eine diesbezüglich übliche Verfahrensweise ist die Anwendung einer digitalen bidirektionalen Filterung (en: digital forward and reverse filtering) zusammen mit einer Messstrecke über das zu bewertende Profil hinaus.

7.2 Wellenbandindizes

Um die verschiedenen wellenbandgefilterten Profile zu charakterisieren, werden zwei Verfahren, einschließlich Indizes, festgelegt:

- quadratischer Mittelwert (RMS) über Bi-Oktavbänder (siehe Anhang C);
- Varianz des Längsprofils (LPV) über ausgewählte Wellenlängen (siehe Anhang D).

8 Analyse des Bewerteten Längsprofils (WLP)

8.1 Allgemeines

Das Bewertete Längsprofil (WLP) ist das Längsprofil, das nach einer Gewichtungsfunktion im Frequenzbereich bewertet wurde. Die Gewichtungsfunktion verstärkt kleine Wellenlängen und schwächt große Wellenlängen so ab, dass ihre entsprechenden Energieinhalte später mit der gleichen Skala im Wegbereich messbar sind. Nach der Gewichtung des Spektrums wird das WLP nach folgenden Schritten berechnet:

- Filtern des bewerteten Signals in Oktavbändern;
- Multiplizieren der oktavbandgefilterten Signale mit Umrechnungsfaktoren (die deren entsprechende Leistungsverteilungen im Verhältnis zum gesamten Leistungsinhalt berücksichtigen); und
- Zusammenaddieren der Signale, um das WLP zu ergeben.

Das WLP ist durch die Standardabweichung σ_{WLP} und die Variationsbreite ΔWLP charakterisiert.

8.2 Voraussetzungen

Die WLP-Berechnung basiert auf dem aufbereiteten Profil. Die Aufbereitung umfasst:

- Detrendierung des Rohprofils mit Hilfe einer linearen Regression, um Offset und Trend des Signals zu entfernen;
- Wiederabtastrung durch Anwendung eines konstanten Intervalls von 0,1 m mit Hilfe eines linearen Interpolationsalgorithmus;
- Vorfilterung durch Anwendung eines Hochpassfilters, um Wellenlängen größer als 100 m abzuschwächen. Der Filter muss die Amplitude der Wellenlängen größer als 150 m um mindestens 50 % abschwächen. Der Filter sollte die Phase von Profilmmerkmalen mit Wellenlängen kürzer als 100 m nicht verzerren.

9 Berichterstattung

Der berechnete Ebenheitsindex sollte für eine vereinbarte Auswertungslänge angegeben werden. Bei internationalem Benchmarking sollte diese 100 m betragen. Sie sollte als Subindex angegeben werden, wie in Bild 1 beschrieben und für den IRI in 6.2 erläutert. Es wird empfohlen, die folgenden verwaltungstechnischen Daten beizufügen:

- geographische Lage und Informationen über das gemessene Objekt;
- die seitliche Lage des Längsprofils, z. B. rechte oder linke Radspur. Für Benchmarkzwecke sollte das die äußerste Radspur sein;
- Messstrecke;

- Datum und Uhrzeit;
- Bedingungen, die das Ergebnis beeinträchtigen könnten.

Weitere vorgeschriebene Angaben können EN 13036-6 entnommen werden und sollten in dem Bericht angegeben werden. Letztlich sollte jede Abweichung von diesem Dokument, EN 13036-5, dokumentiert und in dem Prüfbericht angegeben werden.