

DIN EN 12299

ICS 45.060.20

Entwurf

Einsprüche bis 2023-03-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12299:2009-08

**Bahnanwendungen –
Fahrkomfort für Fahrgäste –
Messung und Auswertung;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12299:2022**

Railway applications –
Ride comfort for passengers –
Measurement and evaluation;
German and English version prEN 12299:2022

Applications ferroviaires –
Confort de marche des voyageurs –
Mesurage et évaluation;
Version allemande et anglaise prEN 12299:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-01-06 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 fsf@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-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

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 170 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12299:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 087-00-02-02 UA „Fahrtechnik“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

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

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

ISO 5348	siehe	DIN ISO 5348
ISO 8002	siehe	DIN ISO 8002

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12299:2009-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich überarbeitet;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Abschnitt 3, Begriffe und Definitionen, aktualisiert;
- d) Abschnitt 4, Symbole, Einheiten und Abkürzungen, überarbeitet;
- e) Abschnitt 5, Allgemeine Beschreibung, überarbeitet;
- f) Abschnitt 6, Mittlerer Komfort und ständiger Komfort, überarbeitet;
- g) Abschnitt 7, Komfort an Kurvenübergängen, aktualisiert;
- h) Abschnitt 8, Komfort bei diskreten Ereignissen, überarbeitet;
- i) Abschnitt 9, Leitfaden für die Interpretation der Ergebnisse, aktualisiert;
- j) Anhang B, Messverfahren, aktualisiert;
- k) Anhang C, Gewichtungskurven, aktualisiert;
- l) neuer Anhang D hinzugefügt.
- m) (früherer) Anhang D überarbeitet und in Anhang F umbenannt;
- n) Anhang E überarbeitet;
- o) (früherer) Anhang F überarbeitet und in Anhang G umbenannt;

- p) neue Anhänge H, I, J und K beigefügt;
- q) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 5348, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Mechanische Ankopplung von Beschleunigungsaufnehmern*

DIN ISO 8002, *Mechanische Schwingungen — Landfahrzeuge — Verfahren zur Darstellung von Messdaten*

Bahnanwendungen – Fahrkomfort für Fahrgäste – Messung und Auswertung

Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurement and evaluation

Applications ferroviaires – Confort de marche des voyageurs – Mesurage et évaluation

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole, Einheiten und Abkürzungen	10
5 Allgemeine Beschreibung	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Auswirkungen auf Fahrgäste durch Schwingungen	13
5.3 Anwendung	14
5.4 Eigenschaften von Schienenfahrzeugbewegungen	14
5.5 Fahrkomfort	15
5.6 Direkte und indirekte Messungen	15
5.7 Zusammenfassende Verfahrenstabelle	15
5.8 Anwendung der Komfortkenngrößen	16
6 Mittlerer und Kontinuierlicher Komfort	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Grundlage des Verfahrens	18
6.3 Methodik	19
6.4 Versuchsbedingungen	19
6.4.1 Allgemeines	19
6.4.2 Auswahl der Versuchsabschnitte	19
6.4.3 Versuchsgeschwindigkeit	20
6.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	20
6.4.5 Fahrzeugzustand	20
6.5 Zu messende Parameter	20
6.5.1 Allgemeines	20
6.5.2 Anordnung der Messpunkte	20
6.5.3 Filterung	21
6.6 Definition von Zwischengrößen	21
6.6.1 Symbole und Indizes	21
6.6.2 rms-Werte der gewichteten Beschleunigungen	22
6.6.3 95. und 50. Perzentil	23
6.7 Definition der Komfortkenngrößen	24
6.7.1 Kontinuierlicher Komfort	24
6.7.2 Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort	24
6.7.3 Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort	24
6.8 Versuchsbericht	24
7 Komfort in Übergangsbögen	24
7.1 Allgemeines	24
7.2 Grundlage des Verfahrens	25
7.3 Methodik	25
7.4 Prüfbedingungen	26
7.4.1 Allgemeines	26
7.4.2 Auswahl der Prüfabschnitte	26
7.4.3 Prüfgeschwindigkeit	26
7.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	26
7.4.5 Fahrzeugzustand	26
7.5 Zu messende Parameter	26
7.5.1 Allgemeines	26
7.5.2 Anordnung der Messpunkte	26
7.5.3 Filterung	27

7.6	Definition von Zwischengrößen	27
7.6.1	Symbole und Indizes	27
7.6.2	$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$ Mittelungs-Verfahren	27
7.6.3	Identifikation der Übergangszeit	28
7.6.4	Zwischengrößen	28
7.7	Definition der Komfortkenngröße P_{CT}	28
7.8	Alternative Komfortkenngröße 'gleitende P_{CT} über 3 Sekunden'	28
7.9	Versuchsbericht	29
7.10	Beispieldiagramme	30
8	Komfort bei diskreten Ereignissen	31
8.1	Allgemeines	31
8.2	Grundlage des Verfahrens	32
8.3	Methodik	32
8.4	Versuchsbedingungen	32
8.4.1	Allgemeines	32
8.4.2	Auswahl der Versuchsabschnitte	32
8.4.3	Versuchsgeschwindigkeit	32
8.4.4	Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	33
8.4.5	Fahrzeugzustand	33
8.5	Zu messende Parameter	33
8.5.1	Allgemeines	33
8.5.2	Anordnung der Messpunkte	33
8.5.3	Filterung	33
8.6	Definition von Zwischengrößen	33
8.6.1	Symbole und Indizes	33
8.6.2	Mittelungs-Verfahren	33
8.6.3	Zwischengrößen	34
8.7	Definition der Komfortkenngröße P_{DE}	34
8.8	Versuchsbericht	34
9	Anleitung für die Interpretation der Ergebnisse	35
9.1	Allgemeines	35
9.2	Mittlerer Komfort	35
9.3	Kontinuierlicher Komfort	36
9.4	Komfort in Übergangsbögen	36
9.5	Komfort bei diskreten Ereignissen	37
Anhang A (normativ) Bezugssystem		38
Anhang B (normativ) Messtechnik		40
B.1	Allgemeines	40
B.2	Messausrüstung	40
B.2.1	Allgemeines	40
B.2.2	Beschleunigungsmesser und Verarbeitungsverstärker	40
B.2.3	Aufzeichnungsgerät	41
B.2.4	Messwertgeberbefestigung am Boden	41
B.3	Sitzmessvorrichtungen und ihre Anwendungen	41
Anhang C (normativ) Gewichtungskurven		45
C.1	Allgemeines	45
C.2	Filterfunktionen	45
C.2.1	Allgemeines	45
C.2.2	Bandbegrenzungsfiler	46
C.2.3	Beschleunigungs-Geschwindigkeitsübergang	46
C.2.4	Oberer Übergang	46
C.2.5	Gesamte Frequenzbewertung	46
C.2.6	Verringerung der Obergrenze des Frequenzbereichs in vertikaler Richtung	47
C.3	Toleranzen	47
C.4	Diagramme	49
Anhang D (normativ) Spezifikation des Fahrkomforts eines Fahrzeugs		52
D.1	Allgemeines	52

D.2	Kenntnis der zur Komforteinschätzung vorgesehenen Strecke	52
D.3	Spezifikation der Strecke	52
D.4	Fahrzeugspezifikation	52
D.5	Allgemeine Spezifikation	53
Anhang E (normativ)	Fahrzeugbeurteilung bezüglich des Fahrkomforts	54
E.1	Allgemeines	54
E.2	Qualität der Gleisgeometrie	54
E.3	Prüfbedingungen	55
E.3.1	Auswahl der Prüfabschnitte und Prüfbereiche	55
E.3.2	Prüfgeschwindigkeit	55
E.3.3	Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	55
E.3.4	Fahrzeugzustand	56
E.4	Akzeptable Abänderungen der Verfahren zur Auswertung für Kontinuierlichen oder Mittleren Komfort	56
E.5	Prüfbericht	58
Anhang F (informativ)	Darstellung des Versuchsbericht	59
F.1	Allgemeines	59
F.2	Versuchsziel	59
F.3	Versuchsausführer	59
F.4	Quellenangaben	59
F.5	Versuchsbedingungen	59
F.5.1	Allgemeine Angaben	59
F.5.2	Fahrzeug	59
F.5.3	Sitz (bei vollständigem Verfahren für Mittleren Komfort)	60
F.5.4	Sitzbenutzer (bei vollständigem Verfahren für Mittleren Komfort)	60
F.5.5	Gleis	60
F.5.6	Geschwindigkeitsprofil	60
F.5.7	Versuchsanordnung	60
F.6	Messung und Datenverarbeitung	60
F.6.1	Messung	60
F.6.2	Datenverarbeitung	61
F.7	Bericht bei Mittlerem Komfort und Kontinuierlichem Komfort	61
F.7.1	Allgemeines	61
F.7.2	Zeitreihen	61
F.7.3	Statistische Ergebnisse	61
F.7.4	Komfortauswertung	62
F.7.5	Spektralanalyse	62
F.8	Bericht für Komfort in Übergangsbögen	66
F.9	Berichterstattung für Komfort bei diskreten Ereignissen	67
Anhang G (informativ)	Anleitung für die Anwendung direkter Versuche	69
Anhang H (informativ)	Ablaufplan für die Berechnung von RMS-Werten aus gemessenen (oder simulierten) Beschleunigungszeitspannen	70
Anhang I (informativ)	Bestimmende Größen	71
Anhang J (informativ)	Hinweise zur Verwendung von Simulationen	73
J.1	Einführung	73
J.2	Nutzen	73
J.3	Anwendungen	73
J.4	Genauigkeit und Einschränkungen	73
J.5	Stand der Technik für Schienenfahrzeug-ENS	74
Anhang K (normativ)	Gesamtfahrzeugwert für die Mittlere Komfortkenngröße	76
K.1	Definition des Gesamtfahrzeugwert	76
K.2	Einfaches Beispiel	76
Literaturhinweise		80

Bilder

Bild 1 — Lage der Messpunkte Reisezugwagen (konventionell oder als Gelenkwagen)	21
Bild 2 — Bedeutung der Benennungen $ \ddot{y}_{1s} _{\max}$ und $ \ddot{y}_{1s} _{\max}$ in der P_{CT} -Gleichung	30
Bild 3 — Bedeutung der Benennung $ \dot{\phi}_{1s} _{\max}$ in der P_{CT} -Gleichung	30
Bild 4 — Relevante Zeitspannen A_i beim Bogenübergang	31
Bild 5 — Bedeutung von $ \ddot{y}_{2s}(t) $ und $\ddot{y}_{pp}(t)$ bei der Berechnung von P_{DE}	35
Bild A.1 — Lokales Bezugssystem für einen Wagenkasten	38
Bild A.2 — Lokale Bezugssysteme für eine sitzende Person	39
Bild A.3 — Lokales Bezugssystem für eine stehende Person	39
Bild B.1 — Sitzschalen-Messvorrichtung (für y- und z-Richtung)	42
Bild B.2 — Sitzschalen-Messvorrichtung	43
Bild B.3 — Sitzrückenlehnen-Messvorrichtung	44
Bild C.1 — Toleranzen für W_b	47
Bild C.2 — Toleranzen für W_c	48
Bild C.3 — Toleranzen für W_d	48
Bild C.4 — Toleranzen für W_p	49
Bild C.5 — Größen der alternativen Frequenzbewertung W_b für vertikale Schwingung entlang der z-Achse für Boden und Sitzschale	49
Bild C.6 — Größen der Frequenzbewertung W_c für horizontale Schwingung entlang der x-Achse für den Sitzrücken	50
Bild C.7 — Größen der Frequenzbewertung W_d für horizontale Schwingung entlang der x- oder y-Achse für den Boden oder entlang der y-Achse für die Sitzschale	50
Bild C.8 — Größen der Frequenzbewertung W_p für Querbeschleunigung für P_{CT} und P_{DE} und für Rollgeschwindigkeit für P_{CT} -Auswertung	51
Bild E.1 — Beispiel für die Positionen der Beschleunigungssensoren bei Doppelstockfahrzeugen	57
Bild E.2 — Beispiel für die Position der Beschleunigungssensoren bei einstöckigen Fahrzeugen	58
Bild F.1 — Kontinuierlicher Komfort — Erfassung von Fünf-Minuten-Zeitabschnitten (gewählte Abschnitte grau gekennzeichnet)	63
Bild F.2 — Beispiel für Kontinuierlichen Komfort und statistische Verteilung für einen Fünf-Minuten-Zeitabschnitt	65
Bild F.3 — Beispiel der gewichteten (dicke Linie) und ungewichteten (dünne Linie) Leistungsspektraldichte für Beschleunigung in Bodenhöhe in x-, y- und z-Richtung (Dauer: 307,2 s / Abtastrate: 400 Hz / FFT: 2 048 Punkte)	66
Bild F.4 — Beispiel von Zeitreihen für P_{DE} -Auswertung	68
Bild K.1 — Lokale NMVs	77

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole, Einheiten und Abkürzungen	10
Tabelle 2 — In dieser Norm berücksichtigte Elemente	14
Tabelle 3 — Bewegungsgrößen und Messstelle zur Bewertung des Fahrkomforts	16
Tabelle 4 — Vorgaben für verschiedene Komfortkenngrößen zur Bewertung des Fahrkomforts und darauf bezogener Fahrzeugbeurteilung	17
Tabelle 5 — Anleitung zum Gebrauch der verschiedenen Komfortkenngrößen für andere Anwendungen	17
Tabelle 6 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{CT}	28
Tabelle 7 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{DE}	34
Tabelle 8 — Bewertungsmaßstab für die Komfortkenngröße N_{MV}	35
Tabelle 9 — Maßstab für die Komfortkenngrößen $C_{Cy}(t)$ und $C_{Cz}(t)$	36
Tabelle B.1 — Frequenzbereich für die globale Übertragungsfunktion	40
Tabelle C.1 — Gewichtungskurven	45

Tabelle C.2 — Parameter und Übertragungsfunktionen der Frequenzbewertungen	45
Tabelle C.3 — Toleranzen an Gewichtungskurven	47
Tabelle I.1 — Bestimmende Größen bei Mittlerem Komfort	71
Tabelle H.2 — Bestimmende Größen für den Komfort in Übergangsbögen und bei diskreten Ereignissen	72
Tabelle K.1 — Gemessener Mittlerer Komfort in 5 Versuchsbereichen	76
Tabelle K.2 — Sich ergebende NMV	77
Tabelle K.3 — Triebzug-NMV, 1. Beispiel	78
Tabelle K.4 — Triebzug-NMV, 2. Beispiel	79

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12299:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12299:2009 ersetzen.

prEN 12299:2022 enthält gegenüber EN 12299:2009 folgende wesentliche Änderungen:

- a) der Anwendungsbereich wurde überarbeitet;
- b) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- c) Abschnitt 3 „Begriffe“ wurde aktualisiert;
- d) Abschnitt 4 „Symbole, Einheiten und Abkürzungen“ wurde überarbeitet;
- e) Abschnitt 5 „Allgemeine Beschreibung“ wurde überarbeitet;
- f) Abschnitt 6 „Mittlerer und Kontinuierlicher Komfort“ wurde überarbeitet;
- g) Abschnitt 7 „Komfort im Übergangsbogen“ wurde aktualisiert;
- h) Abschnitt 8 „Komfort bei diskretem Ereignis“ wurde überarbeitet;
- i) Abschnitt 9 „Anleitung für die Interpretation der Ergebnisse“ wurde aktualisiert;
- j) Anhang B „Messverfahren“ wurde aktualisiert;
- k) Anhang C „Gewichtungskurven“ wurde aktualisiert;
- l) der neue Anhang D wurde hinzugefügt;
- m) der (vorherige) Anhang D wurde überarbeitet und in Anhang F umbenannt;
- n) Anhang E wurde überarbeitet;
- o) der (vorherige) Anhang F wurde überarbeitet und in Anhang G umbenannt;
- p) dem Dokument wurden die neuen Anhänge H, Anhang I, Anhang J und Anhang K hinzugefügt.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden Methoden zur Quantifizierung des Fahrkomforts für einen Fahrgastes eines Schienenfahrzeugs definiert. Der Fahrkomfort ergibt sich hierbei aus der Fahrzeugreaktion auf die befahrenen Streckenabschnitte. F

Ziel der Verfahren ist es, die Auswirkungen der Wagenkastenbewegungen auf den Fahrkomfort zu quantifizieren und die Beurteilung des Komforts für Fahrgäste vorhersehbar, wiederholbar, objektiv und aussagekräftig zu machen.

Die Verfahren und Komfortmaßstäbe werden im Hinblick auf gesunde Menschen ausgewertet.

Dieses Dokument gilt für Fahrgäste in Schienenfahrzeugen, die auf Vollbahnnetzen betrieben werden.

Dieses Dokument kann auch als Leitfaden zum Beispiel in einem System städtischer Schienenbahnen verwendet werden, deren Betriebsrouten/-umgebungen können die Einhaltung der Anforderungen an die Prüfverfahren jedoch erschweren.

Dieses Dokument gilt für gemessene Bewegungen. Es gilt auch für simulierte Bewegungen. Es werden Richtlinien zu Folgendem vorgegeben:

- welches der im Dokument beschriebenen Verfahren für verschiedene Szenarien angewendet werden sollte;
- typische Werte für verschiedene Komfortniveaus;
- der Anwendung von Simulationen.

Das Dokument befasst sich nicht mit Gesundheits- und Sicherheitsthemen, Fahrzeugen ohne Fahrgäste, Fahrzeugzulassung und -sicherheit, Grenzwerten, Reisekrankheit, Unwohlsein durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge, Konstruktionsrichtlinien und Messtechnologien.

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).

EN 14363:2016+A2:2022, *Bahnanwendungen — Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen — Fahrverhalten und stationäre Versuche*

ISO 5348, *Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers*

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:

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

3.1

Fahrgäste

Personen, die in einem Schienenfahrzeug reisen und keine spezifischen Tätigkeiten in Bezug auf den Schienenverkehr ausüben

3.2

Fahrkomfort

komplexe Empfindung, die aufgrund der während der Fahrt über die Gleise über die Wagenkasten übertragenen Bewegungen (Schwingungen, Rollgeschwindigkeit und Trägheitskräfte usw.) von den Fahrgästen wahrgenommen wird (siehe auch 5.5)

3.3

Kontaktflächen

Kontaktbereiche zwischen dem Wagenkasten und dem Fahrgast, die den Fahrgast stützen und führen und sein Gewicht auf den Wagenkasten übertragen, z. B. der Fußboden

3.4

Mittlerer Komfort

durchschnittliches, kontinuierlich angepasstes Empfinden, das durch Messen auf Langzeit-Basis (wenigstens einige Minuten) ausgewertet wird

3.5

Kontinuierlicher Komfort

Frequenz gewichtetes Beschleunigungsniveau, das als Werte aus den Effektivwerten (nachfolgend rms-Werte genannt) in Höhen-, Quer- und Längsrichtung über ein kurzes Zeitintervall (typisch: 5 s) kontinuierlich ausgewertet wird

3.6

Komfort im Übergangsbogen

Komfortauswertung auf Grundlage des empfundenen Übergangsbogens, ausgedrückt als Prozentsatz der Fahrgäste, die sich unwohl fühlen

3.7

Komfort bei diskretem Ereignis

Komfortauswertung auf Grundlage der empfundenen Übergangsbeschleunigung, ausgedrückt als Prozentsatz der Fahrgäste, die sich unwohl fühlen

3.8

Ganzkörperübertragung

Bewegung, die durch die Kontaktflächen auf den ganzen Körper übertragen wird

3.9

indirekte Messung

Messung des Bewegungsumfeldes über verschiedene Bewegungsgrößen, wie Beschleunigung oder Rollgeschwindigkeit

3.10

direkte Messung

Messung der tatsächlichen Fahrgastreaktionen, z. B. per Fahrgastbefragung, um einen Fragebogen auszufüllen

3.11

Fahrzeugbeurteilung bezüglich des Fahrkomforts

Beitrag des Fahrzeugs zum Fahrkomfort durch Vergleich des gemessenen Fahrkomforts zur Gleisbeschaffenheit (Trassierung, Lageabweichungen, Weichen, Brücken usw.) und zu Betriebsbedingungen (Geschwindigkeit, Überhöhungsfehlbetrag usw.)

3.12

Prüfabsnitte

Teil einer Schienenstrecke, die für den Fahrgast-Komforttest genutzt wird

3.13

Prüfbereich

Zeitspanne von 5 Minuten, die zur Bewertung des Mittleren Komforts genutzt wird

3.14

Bezugssystem

lokale Bezugssystem für einen Wagenkasten wird definiert durch:

Bezugspunkt: auf dem Boden des Wagenkastens in zentraler Lage zwischen den beiden Drehzapfen (real existierend oder ideell definiert);

Achsen:

- x-Achse: längs;
- y-Achse: seitlich;
- z-Achse: vertikal;

Wankbewegungen (ϕ) werden definiert als Drehung um die x-Achse

Für das Bezugssystem des menschlichen Körpers wird die „Rechte-Hand-Regel“ angewendet, mit aufwärts definierter vertikaler Richtung

Eine genauere Definition des Bezugssystems wird im Anhang A angegeben

4 Symbole, Einheiten und Abkürzungen

Tabelle 1 definiert die in dieser Norm verwendeten Symbole, Einheiten und Abkürzungen.

Tabelle 1 — Symbole, Einheiten und Abkürzungen

Allgemeine Parameter		
Parameter	Symbol	Einheit
Zeit	t	s
Zeitspanne	T	s
Integrationsvariable	τ	s
Fahrzeuggeschwindigkeit	V	km/h
Frequenz	f	Hz
Kontaktfläche, der Boden („Plancher“ im Französischen)	P	—
Kontaktfläche, die Sitzfläche („Assise“ im Französischen)	A	—
Kontaktfläche, die Rückenlehne („Dossier“ im Französischen)	D	—
Frequenzbewertungskurve in vertikaler Richtung	W_b	—
Frequenzbewertungskurve in Längsrichtung (Rückenlehne)	W_c	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Allgemeine Parameter			
Frequenzbewertungskurve in Quer-/Längsrichtung	W_d	—	
Tiefpassfilter	W_p	—	
k-ter Anteil	k	—	
Perzentil	n	%	
Anzahl der Proben	N	—	
imaginäre Einheit	i	—	
Effektivwert (rms-Wert)	rms	—	
Parameter	Längsachse	Querachse	Hochachse
Translatorische Beschleunigung am Fahrgestell [m/s²]			
Radsatz i	—	$\ddot{y}_i$	—
Translatorische Beschleunigung im Wagenkasten [m/s²]			
Vorderes Ende des Fahrgastraums	—	$\ddot{y}_{EI}^*$	$\ddot{z}_{EI}^*$
über dem vorderen Drehgestell	—	$\ddot{y}_I^*$	$\ddot{z}_I^*$
Wagenkastenmitte	$\ddot{x}_M^*$	$\ddot{y}_M^*$	$\ddot{z}_M^*$
über dem hinteren Drehgestell	—	$\ddot{y}_{II}^*$	$\ddot{y}_{II}^*$
hinteres Ende des Fahrgastraums	—	$\ddot{y}_{EII}^*$	$\ddot{z}_{EII}^*$
Translatorische gewichtete Beschleunigung [m/s²]			
Sitz, gewichtet mit W_c, W_b	$\ddot{x}_{D,Wc}^*$	—	$\ddot{z}_{A,Wb}^*$
Wagenkasten, gewichtet mit W_d, W_b	$\ddot{x}_{P,Wd}^*$	$\ddot{y}_{P,Wd}^*$	$\ddot{z}_{P,Wb}^*$
Wagenkasten, gewichtet mit W_p	—	$\ddot{y}_{P,Wp}^*$	—
Parameter	Längsachse	Querachse	Hochachse
Sitz, gewichtet mit W_c, W_d, W_b , rms-Wert	$a_{XD}^{w_c}$	$a_{YA}^{w_d}$	$a_{ZA}^{w_b}$
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert	$a_{XP}^{w_d}$	$a_{YP}^{w_d}$	$a_{ZP}^{w_b}$
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert, 50. Perzentil	$a_{XP50}^{w_d}$	$a_{YP50}^{w_d}$	$a_{ZP50}^{w_b}$
Sitz, gewichtet mit W_c, W_d, W_b , rms-Wert, 95. Perzentil	$a_{XD95}^{w_c}$	$a_{YA95}^{w_d}$	$a_{ZA95}^{w_b}$
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert, 95. Perzentil	$a_{XP95}^{w_d}$	$a_{YP95}^{w_d}$	$a_{ZP95}^{w_b}$
Mittelwert über eine Sekunde	—	$\ddot{y}_{1s}(t)$	—
Mittelwert über zwei Sekunden	—	$\ddot{y}_{2s}(t)$	—
Spitzenwert zu Spitzenwert	—	$\ddot{y}_{pp}(t)$	—
Mittelwert über eine Sekunde, maximaler Betrag	—	$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	—
Mittelwert über zwei Sekunden, Betrag	—	$ \ddot{y}_{2s}(t) $	—
Translatorischer Ruck im Wagenkasten [m/s³]			
Mittelwert über eine Sekunde	—	$\ddot{\ddot{y}}_{1s}(t)$	—
Mittelwert über eine Sekunde, maximaler Betrag	—	$ \ddot{\ddot{y}}_{1s} _{\max}$	—
Winkelgeschwindigkeit im Wagenkasten [rad/s]			
Wagenkasten	$\dot{\phi}^*(t)$	—	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Allgemeine Parameter			
gewichtetes W_p	$\dot{\phi}_{Wp}^*(t)$	—	—
Mittelwert über eine Sekunde	$\dot{\phi}_{1s}(t)$	—	—
Mittelwert über eine Sekunde, maximaler Betrag	$ \dot{\phi}_{1s} _{\max}$	—	—
Komfortkenngrößen [-]			
Mittlerer Komfort vereinfachtes Verfahren	N_{MV}		
Mittlerer Komfort vereinfachtes Verfahren, Kenngrößenanteil	N_{MVx}	N_{MVy}	N_{MVz}
Mittlerer Komfort vollständiges Verfahren, sitzender Fahrgast (In französischer Sprache: VA = voyageur assis)	N_{VA}		
Mittlerer Komfort vollständiges Verfahren, stehender Fahrgast (In französischer Sprache: VD = voyageur debout)	N_{VD}		
Kontinuierlicher Komfort	C_{Cx}	C_{Cy}	C_{Cz}
Komfort in Übergangsbögen	P_{CT}, P_{CT_3Sek}		—
	P_{CT_Rol}	P_{CT_Lat}	—
Komfort bei diskreten Ereignissen	—	P_{DE}	—
Konstanten für Fahrkomfort im Übergangsbogen und bei diskreten Ereignissen			
Parameter	Symbol	Einheit	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten im Übergangsbogen	A	s^2/m	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten im Übergangsbogen	B	s^3/m	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten im Übergangsbogen	C	—	
Konstante bei Rollgeschwindigkeiten im Übergangsbogen	D	s/rad	
Konstante bei Rollgeschwindigkeiten im Übergangsbogen	E	—	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten bei diskreten Ereignissen	a	s^2/m	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten bei diskreten Ereignissen	b	s^2/m	
Konstante bei Beschleunigungskomponenten bei diskreten Ereignissen	c	—	
Übertragungsfunktion			
Parameter	Symbol	Einheit	
Grenzfrequenzen, n=1,2,3,4,5,6	f_n	Hz	
Resonanzgütefaktoren, n=1,2,3,4	Q_n	—	
Verstärkung	K	—	

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Allgemeine Parameter		
Hochpass-Übertragungsfunktion	$H_h(f)$	—
Tiefpass-Übertragungsfunktion	$H_l(f)$	—
Übertragungsfunktion des Übergangs von Beschleunigung zu Geschwindigkeit	$H_t(f)$	—
Übertragungsfunktion des oberen Übergangs	$H_s(f)$	—
Grenzfrequenzen, $n=1,2,3,4,5,6$	f_n	Hz
Resonanzgütefaktoren, $n=1,2,3,4$	Q_n	—

5 Allgemeine Beschreibung

5.1 Allgemeines

Der Komfort der Fahrgäste von Schienenfahrzeugen wird durch eine Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst (Temperatur, Geräusch, Schwingungen usw.). Diese Norm berücksichtigt nur den Teil des Komforts, der durch Schwingungen und Bewegungen des Fahrzeuges beeinflusst wird. Dieser wird als Fahrkomfort oder als Komfort bezeichnet. Diese Norm kann auch zur Fahrzeugbeurteilung für den Fahrkomfort angewendet werden.

Diese Norm definiert als vereinfachtes Verfahren:

- a) Das vereinfachte Verfahren für Bewertung des Mittleren Komforts, wobei die Auswirkungen der am Boden des Wagenkastens gemessenen Schwingungen berücksichtigt werden.

Sie definiert ebenso einige Verfahren/Methoden für spezielle Anwendungen, wobei berücksichtigt werden:

- b) Kurzzeiteinflüsse der am Boden des Wagenkastens gemessenen Schwingungen als Kontinuierlicher Komfort für Höhen-, Quer- und Längsrichtung.
- c) Am Sitz oder an anderen Schnittstellen für den Fahrkomfort gemessenen Schwingungen als vollständiges Verfahren für die Bewertung des Mittleren Komforts.
- d) Die Auswirkungen auf den Fahrkomfort bei:
 - 1) diskreten Ereignissen (Komfort bei diskreten Ereignissen); und
 - 2) dem Befahren der Übergangsbögen (Komfort im Übergangsbogen).
- e) Am Boden des Wagenkastens gemessene Schwingungen für die Fahrzeugbeurteilung bezüglich des Fahrkomforts.

5.2 Auswirkungen auf Fahrgäste durch Schwingungen

Während der Fahrt in einem Schienenfahrzeugen sind Fahrgäste Schwingungen ausgesetzt, die mit den dynamischen Bewegungen des Wagenkastens in Zusammenhang stehen.

Die Bewegungen des Wagenkastens übertragen ihre Einwirkungen auf den menschlichen Körper durch die folgenden Kontaktflächen:

- a) in stehender Lage:

- 1) Boden — Füße
- b) in sitzender Lage:
 - 1) Kopfstütze — Kopf
 - 2) Armstütze — Oberarme
 - 3) Sitz — Hüfte
 - 4) Sitzlehne — Rücken
 - 5) Boden — Füße

Es handelt sich um eine Ganzkörperübertragung, die über die Kontaktflächen auf den ganzen Körper erfolgt.

5.3 Anwendung

Tabelle 2 enthält Elemente, die in dieser Norm berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 2 — In dieser Norm berücksichtigte Elemente

Elemente	Berücksichtigt	Nicht berücksichtigt
Auswirkungen von Schwingungen	— auf den Fahrkomfort — auf die Fahrzeugbeurteilung bezüglich Fahrkomfort	— auf die Gesundheit — auf Tätigkeiten — auf Reisekrankheit
Schwingungsübertragung	— auf den ganzen Körper über die Kontaktflächen — durch Fußbodenkontakt	— auf einzelne Körperteile — auf die Gesamtoberfläche
Versuchsverfahren	— Definitionen — Bezugssystem — Anforderungen — Mess- und Bewertungsregeln — Hinweise zur Berichterstellung	— Bemerkungen oder Attribute bezogen auf die Betriebsqualität und/oder Erwartungen der Fahrgäste — Grenzwerte
Haltung und Tätigkeiten des Fahrgastes	— stehend — sitzend	— liegend — spezifische Tätigkeiten ausführend (lesen, schreiben usw.)
Art der Messung	— indirekte Messungen, d. h. Messung der Bewegungsumgebung über verschiedene Bewegungsgrößen	— direkte Messungen (durch Befragen von Testpersonen) — kombinierte Messungen

5.4 Eigenschaften von Schienenfahrzeugbewegungen

Die typischen Grundeigenschaften der Bewegung bezogen auf den Mess- und Bewertungstyp sind:

- a) Verschiedene Eigenschaften je nach Bewertungstyp:
 - 1) quasi-stationär (Mittlerer Komfort);

- 2) nicht stationär (Komfort im Übergangsbogen und bei diskreten Ereignissen).
- b) Der Frequenzbereich von erwarteten Bewegungen des Schienenfahrzeugs beinhaltet in seitlicher Richtung:
 - 1) Bis zu 15 Hz: Infolge der Gleiseigenschaften, Gieren und Wanken in niedrigen Frequenzen, Federeigenschaften und Wagenkastenschwungsformen in den höheren Frequenzen.
- c) Der Frequenzbereich von erwarteten Bewegungen des Schienenfahrzeugs beinhaltet in vertikaler Richtung:
 - 1) bis zu 40 Hz: Infolge der Gleiseigenschaften, Federeigenschaften, Radunrundheiten, Wagenkastenschwungsformen.
- d) Frequenzbereich von 0 Hz (quasi-statisch) bis 2 Hz für den Komfort im Übergangsbogen und für diskrete Ereignisse.

5.5 Fahrkomfort

Der Fahrkomfort für Fahrgäste ist die komplexe Empfindung, die bei dem Fahrgast durch die Bewegungen des Wagenkastens des Schienenfahrzeugs hervorgerufen wird, wobei die Bewegungen über die Kontaktflächen auf den ganzen Körper übertragen werden.

Diese Empfindung wird klassifiziert als:

- a) durchschnittliche Empfindung auf der Basis der langfristig einwirkenden Schwingungen (einige Minuten);
- b) quasi-statische seitliche Beschleunigung durch Bogenfahrt;
- c) vorübergehende Empfindung: eine plötzliche Änderung der Durchschnittsempfindung aufgrund eines kurzfristigen Ereignisses (Änderung des mittleren Querschleunigungswertes mit möglicher Schwingung, Rollbewegung mit erheblicher Geschwindigkeit und Querruck).

Der erste Empfindungstyp wird bei der Bewertung des Durchschnittlichen Komforts berücksichtigt.

Der zweite und dritte Empfindungstyp wird beim Komfort im Übergangsbogen und beim Komfort bei diskreten Ereignissen berücksichtigt.

ANMERKUNG Für Situationen, in denen die Kurvenradien erheblich enger und die Übergänge erheblich kürzer sind als auf Vollbahnsystemen, typischerweise bei städtischen Schienenbahnen wie Straßen- und Untergrundbahnen, spielen die Spitzenwerte für seitlichen Fahrzeugruck eine wichtige Rolle für das Komfortempfinden. Daher sind die PCT- und PDE-Kriterien für gewöhnlich keine akzeptierte Bewertung für derartige Situationen, da die Ruck-Spitzenwerte durch das gleitende Mittelungsfenster für PCT erheblich reduziert und für PDE überhaupt nicht berücksichtigt werden.

5.6 Direkte und indirekte Messungen

Die Bewertung des Fahrkomforts für Fahrgäste wird durch indirekte Messungen durchgeführt, d. h. Messung und Nachverarbeitung der maßgebenden Bewegungsgrößen. Andere Versuchs- und Bewertungstypen, z. B. direkte Versuche auf der Basis der direkten Beurteilung der Wahrnehmungen untersuchter Fahrgäste, und kombinierte Versuche, bestehend aus direkten und indirekten Versuchen, werden in dieser Norm nicht behandelt. Jedoch ist ein Leitfaden für direkte Versuche im Anhang F angegeben.

5.7 Zusammenfassende Verfahrenstabelle

Die Bewertung des Fahrkomforts für Fahrgäste wird in dieser Europäischen Norm wie folgt berücksichtigt:

- a) durch ein Verfahren für die Bewertung des Mittleren Komforts über das vereinfachte Verfahren (N_{MV}), siehe Abschnitt 6 und Anhang H;
- b) durch ein Verfahren für die Bewertung des Mittleren Komforts über das vollständige Verfahren (N_{VA} , N_{VD}), siehe Abschnitt 6 und Anhang H;
- c) durch ein Verfahren für die Bewertung des Komforts im Übergangsbogen (P_{CT}), siehe Abschnitt 7 und Anhang H;
- d) durch ein Verfahren für die Bewertung des Komforts bei diskreten Ereignissen (P_{DE}), siehe Abschnitt 8 und Anhang H;
- e) durch ein Verfahren für die Bewertung des Kontinuierlichen Komforts (C_{Cx} , C_{Cy} , C_{Cz}) siehe Abschnitt 8 und Anhang H.

Dieses Dokument liefert zudem Anforderungen zur Fahrzeugbeurteilung bezüglich des Fahrkomforts, insbesondere für das vereinfachte Verfahren für kontinuierlichen Komfort (C_C) und den Mittleren Komfort (N_{MV}) Anhang E.

Bewegungsgrößen und Messstellen der unterschiedlichen Komfortkenngrößen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 — Bewegungsgrößen und Messstelle zur Bewertung des Fahrkomforts

	Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort	Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort		Kontinuier- licher Komfort	Komfort in Übergangs- bögen	Komfort bei diskreten Ereignissen
Komfortkenn- größe	N_{MV}	N_{VD}	N_{VA}	C_{Cx} , C_{Cy} , C_{Cz}	P_{CT}	P_{DE}
Bewegungs- größe	Beschleunigungen in drei Richtungen	Beschleunigungen in drei Richtungen		Beschleunigungen in drei Richtungen	Querbeschleunigung, Querruck, Rollgeschwindigkeit	Querbeschleunigung
Messstelle	Boden	Boden	Boden und Kontaktflächen	Boden	Boden	Boden

5.8 Anwendung der Komfortkenngrößen

Die unterschiedlichen Verfahren der Fahrkomfortbewertung und deren Anwendung werden in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4 — Vorgaben für verschiedene Komfortkenngrößen zur Bewertung des Fahrkomforts und darauf bezogener Fahrzeugbeurteilung

	Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort	Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort	Kontinuierlicher Komfort	Komfort in Übergangsbögen ^a	Komfort bei diskreten Ereignissen ^a
Komfortkenngröße	N_{MV}	N_{VA}, N_{VD}	C_{Cx}, C_{Cy}, C_{Cz}	P_{CT}	P_{DE}
Komfort für Fahrgäste	✓	✓	✓		✓
Fahrzeugbeurteilung	✓		✓	✓ (Neigetechnik)	
^a P_{CT} und P_{DE} gelten nicht für Situationen mit scharfem Kurveneintritt/-austritt mit starkem seitlichen Ruck, wie sie für städtische Schienenbahnen typisch sind; siehe Anmerkung zu 5.5.					

Zur Fahrzeugbeurteilung sollte nur das vereinfachte Verfahren für Mittleren Komfort und der Kontinuierliche Komfort verwendet werden. Das vollständige Verfahren für Mittleren Komfort ist zur Beurteilung einer angemessenen Menge an Fahrgästen/Positionen zu komplex, sodass eine Fahrzeugbeurteilung mithilfe des vollständigen Verfahrens nicht vernünftig durchführbar wäre. Die Verfahren zur Beurteilung des Komforts in Übergangsbögen und des Komforts bei diskreten Ereignissen werden hauptsächlich durch die Gleisgestaltung und die Fahrzeuggeschwindigkeit beeinflusst, da die unkompensierte Querbeschleunigung berücksichtigt wird. Daher gelten diese Verfahren für die von den Fahrgästen wahrgenommene Komforteinschätzung, aber nicht allgemein für die Fahrzeugbeurteilung. Bei Zügen mit Neigetechnik kann der Komfort in Übergangsbögen auch zur Beurteilung des Neigesystems verwendet werden, sofern die Anforderungen an die Fahrzeugbeurteilung in Anhang E erfüllt werden.

Weitere Anwendungen, bei denen dieser vorteilhaft sein kann, werden in Tabelle 5 gezeigt.

Tabelle 5 — Anleitung zum Gebrauch der verschiedenen Komfortkenngrößen für andere Anwendungen

	Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort	Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort	Kontinuierlicher Komfort	Komfort in Übergangsbögen	Komfort bei diskreten Ereignissen
Komfortkenngröße	N_{MV}	N_{VA}, N_{VD}	C_{Cx}, C_{Cy}, C_{Cz}	P_{CT}	P_{DE}
Streckenführung				✓	
Wartung — Gleis	✓		✓		✓
Wartung — Fahrzeug	✓		✓	✓ (Neigetechnik)	

ANMERKUNG Für die Zustandsüberwachung eines Fahrzeugs oder Gleisabschnitts können andere als die in dieser Norm beschriebenen Verfahren angemessener sein.

6 Mittlerer und Kontinuierlicher Komfort

6.1 Allgemeines

Der Mittlere Fahrkomfort ist in zwei Verfahren unterteilt; das vereinfachte Verfahren berücksichtigt die Beschleunigung an der Kontaktfläche des Fußbodens, das vollständige Verfahren (sitzend und stehend) berücksichtigt Beschleunigungen an Sitzplätzen und/oder der Kontaktflächen des Fußbodens.

Die Gleichung des vereinfachten Verfahrens stellt eine Vereinfachung des allgemeinen, aber komplizierteren vollständigen Verfahrens dar. Das vollständige Verfahren korreliert besser mit der Komfortwahrnehmung der Fahrgäste als das vereinfachte Verfahren.

Der Kontinuierliche Komfort ist ein rms-Wert der gemessenen frequenzgewichteten Beschleunigungen, zur Bewertung des Mittleren Komforts.

Diese Verfahren können an geraden und bogenreichen Streckenabschnitten angewendet werden.

Bei der Anwendung für Strecken mit vielen Bögen ist zu bedenken, dass die Effekte der quasistatischen Seitenbeschleunigung in Bögen durch die FrequenzbewertungsfILTER ausgenommen sind. Die Verfahren sind für relativ gerade Trassen bestätigt.

Die Anwendung des vereinfachten Verfahrens ist abhängig von der Bedingung, dass keine übermäßigen Längsbeschleunigungen auftreten.

Bei Anwendung des vollständigen Verfahrens sollte das vereinfachte Verfahren für Referenzzwecke ebenfalls angewendet werden.

Zweck ist die Definition der:

- a) Bedingungen für die Durchführung von Fahrversuchen zur Beurteilung des Mittleren Komforts (vereinfachtes und vollständiges Verfahren) und des Kontinuierlichen Komforts;
- b) zu messenden Parameter, sowie des für die Erzielung der Beurteilungswerte einzusetzenden Verfahrens.

Dieser Abschnitt bildet einen Anwendungsleitfaden für den Eisenbahnsektor, in dem die Beschleunigungsmessung, -analyse und -bewertung behandelt wird, wobei berücksichtigt wird, dass die mechanischen Schwingungen in einem Schienenfahrzeug bestimmte spezifische Merkmale aufweisen.

Die Anwendung dieses Abschnitts, auf der Basis der Messung bestimmter Beschleunigungen, ermöglicht die Durchführung einer Bewertung des Mittleren Komforts und Kontinuierlichen Komforts in einem bestimmten Fahrzeug unter bestimmten Betriebsbedingungen.

Die Anwendung dieses Verfahrens liefert eine Komfortbewertung (rms-Werte) für das System Fahrzeug/Fahrweg. Der separate Einfluss des Fahrzeugs und des Fahrweges kann nicht ohne weitere Kenntnis der Fahrzeug- und Sitzplatzmerkmale, Trassierung und Qualität der Gleislageabweichungen beurteilt werden.

Die Anwendung dieses Verfahrens unter den vorgeschriebenen Bedingungen ist möglicherweise hilfreich bei der Identifikation der Ursachen von Unannehmlichkeiten.

6.2 Grundlage des Verfahrens

Komfort wird von verschiedenen Menschen auf unterschiedliche Weise wahrgenommen. Deshalb ist es unmöglich, ein einheitliches, für jedermann gültiges Bewertungssystem zu spezifizieren.

Folglich beruht die in dieser Norm vorgenommene Bewertung des Mittleren Komforts auf dem Verhältnis zwischen den in einem Fahrzeug gemessenen Beschleunigungen und den mittleren Komfortwerten, die von einer repräsentativen Gruppe von Fahrgästen für Zeitspannen von 5 min erteilt wird.

ANMERKUNG Vereinfachtes und vollständiges Verfahren werden in den Berichten des ERRI B153 beschrieben und bewertet, insbesondere in Rp10, Rp12, Rp13, Rp17 und DT219 (B153) (nur in französischer Sprache erhältlich).

6.3 Methodik

Die Bewertung von Mittlerem und Kontinuierlichem Komfort besteht aus:

- a) Messung der Beschleunigung auf dem Fahrzeugboden und für das vollständige Verfahren auch an den Sitzkontaktflächen;
- b) Digitalisierung zusammen mit geeigneten Anti-Aliasing-Filtern.

Die Berechnung wird ausgeführt mit:

- c) Frequenzbewertung der Signale;
- d) Berechnung der rms-Werte in einem gleitenden Fenster mit Fensterlängen von 5 s, die den Kontinuierlichen Komfort ergeben.

Die Fortschrittsweite kann definiert werden als:

- die Abtastrate $1/f_s$ (z. B. 0,002 s bei einer Abtastrate $f_s = 500$ Hz);
- oder 5 s (z. B. zum Vergleich mit vorherigen Ergebnissen);
- oder einem Bruchteil von 5 s nicht über 1 s.
- e) Berechnung des 95. Perzentils und beim vollständigen Verfahren auch des 50. Perzentils jeweils über eine Zeitspanne von 5 min;
- f) Berechnung der Kenngröße für den Mittleren Komfort an jeder Messstelle.

6.4 Versuchsbedingungen

6.4.1 Allgemeines

Die allgemeinen Versuchsbedingungen sind in diesem Abschnitt beschrieben. Die detaillierten Bedingungen können je nach Anwendung abweichen und sollten in der Versuchsspezifikation beachtet werden. Die angewandten Versuchsbedingungen müssen im Versuchsbericht angegeben werden, siehe 6.8. Für die Fahrzeugbeurteilung hinsichtlich des Fahrkomforts sind die Versuchsbedingungen in Anhang E weiter ausgearbeitet.

6.4.2 Auswahl der Versuchsabschnitte

Die Wahl der Versuchsabschnitte sollte so erfolgen, dass die für das geprüfte Fahrzeug repräsentativen Betriebszustände berücksichtigt werden, etwa Trassierung und Gleislageabweichungen.

Die Dauer der Messungen zur Bewertung des Mittleren Komforts muss ein Vielfaches von 5 Minuten sein. Es sind mindestens vier Prüfabschnitte von je 5 Minuten erforderlich. Diese vier Versuchsabschnitte dürfen getrennt sein, aber jeder von ihnen muss aus einer Kontinuierlichen Aufzeichnung hervorgehen. Akzeptable Abweichungen von dieser Anforderung zur Fahrzeugbeurteilung sind in Abschnitt E.5 angegeben.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, die Position des Fahrzeugs entlang des Gleises während des laufenden Versuchs aufzuzeichnen. Hierdurch wird die Untersuchung von Abschnitten mit Komforteinbußen, im Hinblick auf lokale Gleiseigenschaften ermöglicht.

6.4.3 Versuchsgeschwindigkeit

Der Komfort muss auf den vorgesehenen Versuchsabschnitte mit der Fahrzeug-Höchstgeschwindigkeit bewertet werden.

Zur Bewertung des Mittleren Komforts sollte die Versuchsgeschwindigkeit während der 5-Minuten-Abschnitte mit einer Toleranz von ± 5 km/h konstant gehalten werden.

ANMERKUNG Je nach Zweck des Versuchs können auch andere Versuchsgeschwindigkeiten nützlich sein.

6.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie

Der Komfort kann durch die Rad-Schiene-Kontaktgeometrie beeinflusst werden. Diese ist insbesondere zum Zwecke der Fahrzeugbeurteilung, siehe auch Anhang E, wichtig. Anforderungen an die Beurteilung der Fahrzeugstabilität sind in EN 14363:2016+A2:2022 dargelegt.

6.4.5 Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug muss unter bestimmten Bedingungen geprüft werden, einschließlich Fahrzeuglast, Radverschleiß, aktive Luftfederung und aktivierten Neigesystemen, sofern anwendbar, usw.

ANMERKUNG Je nach Zweck des Versuchs können auch andere Fahrzeugbedingungen nützlich sein.

Kupplungen und Wagenübergänge Wagen sollten wie im normalen Betriebseinsatz festgezogen werden.

6.5 Zu messende Parameter

6.5.1 Allgemeines

Mittlerer und Kontinuierlicher Komfort werden auf der Basis der Messwerte von Beschleunigungsmessungen bestimmt. Diese werden an verschiedenen Punkten auf dem Boden und/oder an den Sitzkontaktflächen durchgeführt.

Anhang B beschreibt die Messmethoden.

6.5.2 Anordnung der Messpunkte

Die Beschleunigungen an einem bestimmten Punkt in einem Fahrzeug sind stark von der örtlichen Lage dieses Punktes abhängig. Aus diesem Grund müssen die Messungen möglichst nah an den Sitzen auf der Längsachse des Wagenkastens und an beiden Enden des Fahrgastraumes durchgeführt werden. Bild 1 zeigt ein Beispiel für die Anordnungen dieser Messpunkte auf dem Boden eines herkömmlichen Fahrzeuges.

Es müssen mindestens folgende Messpunkte verwendet werden:

- a) jeweils ein Punkt an jedem Ende des Fahrgastraum;
- b) ein Punkt an der Längsachse (bei Doppelstockfahrzeugen jeweils ein Punkt je Stockwerk).

Die Bodenbeschleunigungsmesser müssen am Boden so nahe wie möglich an der vertikalen Projektion der Mitte der Sitzschale befestigt werden (vorzugsweise weniger als 100 mm von diesem Punkt).

Bei lokalen Bodenschwingungen ist es zulässig, die Masse eines Fahrgastes (75 ± 5) kg an der Position des Messpunkts hinzuzufügen, um lokale Bodenschwingungen zu stoppen, die bei Anwesenheit eines Fahrgastes an dieser Stelle nicht wahrnehmbar wären.

Weitere Messpunkte dürfen eingesetzt werden, wenn der Versuchszweck dies erforderlich macht und um ein besseres Verständnis der Fahrzeugeigenschaften zu erlangen.

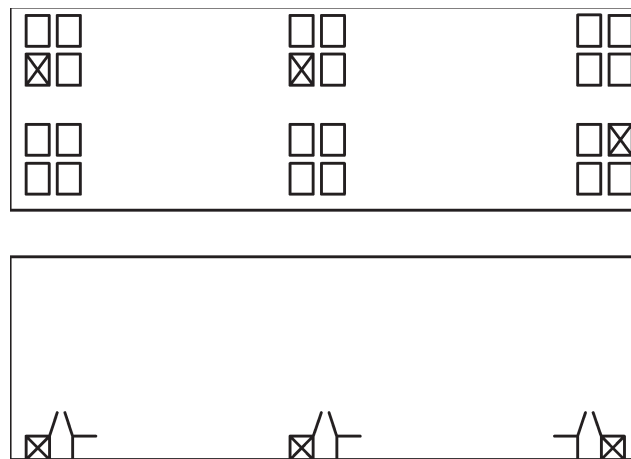


Bild 1 — Lage der Messpunkte Reisezugwagen (konventionell oder als Gelenkwagen)

6.5.3 Filterung

Die gemessenen Signale müssen gefiltert werden, wozu die Gewichtungskurven mit Toleranzbändern angewendet werden, wie in Anhang C definiert.

6.6 Definition von Zwischengrößen

6.6.1 Symbole und Indizes

Symbole

N = Komfortkenngröße

Allgemeine Ausdrücke für die rms-Werte frequenzgewichteter Beschleunigungen:

$$a_{xj}^{W_i}(t) \quad (\text{Längs})$$

$$a_{yj}^{W_i}(t) \quad (\text{Quer})$$

$$a_{zj}^{W_i}(t) \quad (\text{Vertikal})$$

Dabei ist

a rms-Wert der Beschleunigung, in m/s^2 , ermittelt über 5 s;

W_i hochgestellter Index bezieht sich auf die Frequenzgewichtung in Übereinstimmung mit der Gewichtungskurve i ;

($i = b, c, d$):

b vertikale Richtung, W_b ;

c Längsrichtung (Rückenlehne), W_c ;

d Quer-/Längsrichtung, W_d ;

j tiefgestellte Indizes bezogen auf:

- j Messstelle;
- P Bodenkontaktfläche;
- A Sitzschalenkontaktfläche;
- D Sitzrückenlehnenkontaktfläche.

ANMERKUNG Die Gewichtungskurve W_b weicht von W_k , definiert in ISO 2631-1, ab.

Die Verteilung der frequenzgewichteten rms-Werte der Beschleunigungen liefert die Perzentile, allgemein ausgedrückt:

$$a_{xjk}^{W_i} \text{ (Längs)}$$

$$a_{yjk}^{W_i} \text{ (Quer)}$$

$$a_{zjk}^{W_i} \text{ (Vertikal)}$$

Dabei ist

- a Verteilung der rms-Werte der Beschleunigung, in m/s^2 ;

W_i hochgestellter Index bezieht sich auf die Frequenzgewichtung in Übereinstimmung mit der Gewichtungskurve i ;

($i = b, c, d$):

- b vertikale Richtung, W_b ;
- c Längsrichtung (Rückenlehne), W_c ;
- d Quer-/Längsrichtung, W_d ;

j tiefgestellte Indizes bezogen auf:

- j Messstelle;
- P Bodenkontaktfläche;
- A Sitzschalenkontaktfläche;
- D Sitzrückenlehnenkontaktfläche;
- K tiefgestellter Index, der das verwendete Perzentil anzeigt
($k=95$ für das 95. Perzentil).

6.6.2 rms-Werte der gewichteten Beschleunigungen

Die Fünf-Sekunden-rms-Werte der frequenzgewichteten Beschleunigungen werden folgendermaßen berechnet:

$$a_{xj}^{W_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\ddot{x}_{W_i}^*(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (1)$$

$$a_{Yj}^{W_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\ddot{y}_{W_i}^*(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (2)$$

$$a_{Zj}^{W_i}(t) = \left[\frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t \left(\ddot{z}_{W_i}^*(\tau) \right)^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (3)$$

Dabei ist

$$T = 5 \text{ s.}$$

Und t = ein Vielfaches der gewählten Schrittlänge von bis zu 1 s (oder 5 s für historische Vergleichspräzision).

ANMERKUNG Alternativ können die rms-Werte im Frequenzbereich (auf Basis von FFT) statt im Zeitbereich berechnet werden. Flussdiagramme für die numerische Integration werden in Anhang H gezeigt.

6.6.3 95. und 50. Perzentil

Das 95. Perzentil der Verteilungen von gewichteten rms-Werten über je 5 Sekunden wird über eine Dauer von 5 min berechnet und wie nachstehend bezeichnet:

—

$$a_{XP95}^{w_d}$$

—

$$a_{YP95}^{w_d}$$

—

$$a_{ZP95}^{w_b}$$

Das 50. Perzentil (Halbwert) der Verteilungen von gewichteten rms-Werten über je 5 Sekunden wird über eine Dauer von 5 min berechnet und wie nachstehend bezeichnet:

—

$$a_{XP50}^{w_d}$$

—

$$a_{YP50}^{w_d}$$

—

$$a_{ZP50}^{w_b}$$

ANMERKUNG 1 Der k -te Anteil von N Stichproben ist der Wert, welcher einer Summenhäufigkeit von $N \cdot k/n$ entspricht, und wenn $n = 100$ wird dieses Perzentil genannt. Für eine Stichprobe von 60 (5 min aus Fünf-Sekunden-rms-Werten) ist folglich das 95. Perzentil in aufsteigender Reihe der siebenundfünfzigste Wert, das 50. Perzentil ist der dreißigste Wert.

ANMERKUNG 2 Es gibt einige Perzentildefinitionen, einschließlich Implementierungen in Standard-Softwarepaketen, die von dieser Spezifikation abweichen. Es ist erforderlich, sich bei der Berechnung des 50. und 95. Perzentils aus einem Satz von nur 60 Proben (wie im Fall von N_{MV}) auf die zuvor angegebene Spezifikation zu beziehen. Mit steigender Probenanzahl je Datensatz werden die Unterschiede zwischen den Perzentildefinitionen zunehmend weniger signifikant.

6.7 Definition der Komfortkenngrößen

6.7.1 Kontinuierlicher Komfort

Die rms-Werte der frequenzgewichteten Beschleunigungen am Boden werden definiert als:

$$C_{Cx}(t) = a_{XP}^{W_d}(t) \quad (4)$$

$$C_{Cy}(t) = a_{YP}^{W_d}(t) \quad (5)$$

$$C_{Cz}(t) = a_{ZP}^{W_b}(t) \quad (6)$$

Die Messungen für Kontinuierlichen Komfort sind Zeitfunktionen.

6.7.2 Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort

Komfortformel:

$$N_{MV} = 6 \cdot \sqrt{(a_{XP95}^{W_d})^2 + (a_{YP95}^{W_d})^2 + (a_{ZP95}^{W_b})^2} \quad (7)$$

Wenn diese Formel für Messungen verwendet wird, die an mehreren Stellen eines Fahrzeuges ausgeführt werden, so kann für $a_{XP95}^{W_d}$ ein Wert genommen werden, der in der Fahrzeugmitte erzielt wurde.

Je nach Anwendung kann es sinnvoll sein, die folgenden Komfortkenngrößenanteile zu berechnen:

$$N_{MVx} = 6 \cdot a_{XP95}^{W_d} \quad (8)$$

$$N_{MVy} = 6 \cdot a_{YP95}^{W_d} \quad (9)$$

$$N_{MVz} = 6 \cdot a_{ZP95}^{W_b} \quad (10)$$

6.7.3 Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort

Komfortformel für sitzende Lage:

$$N_{VA} = 4 \cdot (a_{ZP95}^{W_b}) + 2 \cdot \sqrt{(a_{YA95}^{W_d})^2 + (a_{ZA95}^{W_b})^2} + 4 \cdot (a_{XD95}^{W_c}) \quad (11)$$

Komfortformel für stehende Lage:

$$N_{VD} = 3 \cdot \sqrt{16 \cdot (a_{XP50}^{W_d})^2 + 4 \cdot (a_{YP50}^{W_d})^2 + (a_{ZP50}^{W_b})^2} + 5 \cdot (a_{YP95}^{W_d}) \quad (12)$$

6.8 Versuchsbericht

Der Versuchsbericht muss ausreichend genau sein, sodass die Ausführung des Komfortversuchs verständlich ist und die speziellen Gegebenheiten erkannt werden können. Die Detailgenauigkeit hängt von dem Versuchszweck ab. Eine Anleitung für den Versuchsbericht gibt Anhang F.

7 Komfort in Übergangsbögen

7.1 Allgemeines

Die Beurteilung des Komforts für Fahrgäste nach P_{CT} ist in den Situationen zweckmäßig, in denen der Übergangsbogen einen merklichen Beitrag zum allgemeinen Komfort-Empfinden leistet. Das Verfahren liefert

ein Maß des Komforts für Fahrgäste für einen einzelnen Übergangsbogen, ohne Häufigkeitsauswirkungen zu bewerten. Es ist für die Anwendung an Vollbahnfahrzeugen jeder Geschwindigkeit geeignet.

Zweck ist die Definition der:

- a) Bedingungen für die Durchführung von Fahrversuchen zur Beurteilung des Komforts im Übergangsbogen
- b) zu messenden Parameter, sowie des für die Erzielung der Beurteilungswerte einzusetzenden Verfahrens.

ANMERKUNG Der Komfort im Übergangsbogen bewertet das gesamte Bahnsystem. Hinsichtlich der Fahrzeugbeurteilung ist nur für Züge mit Neigetechnik geeignet.

7.2 Grundlage des Verfahrens

Die Methode basiert auf dem technischen Bericht BRR TR DOS 017 und wurde auch als Anleitung für Berechnung und Versuch durch das ERRI B176-Komitee übernommen und, mit einigen Klarstellungen, in Italien und der Schweiz 1991 für Neigesystemversuche angewandt.

Das Verfahren betrifft die Messungen und Bewertungen des Komforts im Übergangsbogen, die von den Fahrgästen unmittelbar als plötzliche Änderung des durchschnittlichen Fahrkomfortgefühls aufgrund des Niederfrequenzverhaltens bei Bogeneinfahrten, Bogenwechseln und Bogenübergängen mit ansteigender Querbeschleunigungen wahrgenommen werden. Empfindungen dieser Art werden von verschiedenen Menschen unterschiedlich wahrgenommen. Deshalb ist es unmöglich, eine einzige, für jedermann gültige Bewertung, auf der Grundlage direkter Versuche festzulegen. Übergangsbögen mit einem konstant abnehmenden Wert der Querbeschleunigung verursachen keine Unannehmlichkeiten für den Fahrgast.

Als Ergebnis beruht die Komfortbeurteilung bei Bogenübergängen auf dem Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Anteil unzufriedener Fahrgäste und den wesentlichen Beiträgen der unausgeglichene Querbeschleunigung, Querrucken und der Rollgeschwindigkeit des Wagenkastens.

Die Formel ist für Übergänge mit ansteigendem Wert der Querbeschleunigung bestätigt worden, wobei Bogen und Überhöhung sich gleichförmig mit der Weglänge bei einer Zeitdauer von mindestens 2 s ändern. Jedoch gibt es keine alternativen Formeln für Übergangsbögen und Überhöhungsbögen anderer Art und/oder für Übergangsbögen mit kürzerer Zeitdauer als 2 s. Es liegt im Ermessen des Anwenders, ob Übergangsbögen mit kürzerer Zeitdauer als 2 s bewertet werden (falls es sich um einen angemessen ausgerichteten Übergang, wie etwa einen Übergang zwischen einer Geraden und einem Vollbogen, handelt).

7.3 Methodik

Die Bewertung des Komforts an Bogenübergängen besteht aus:

- a) Messung der Querbeschleunigung (am Fahrzeugboden, an der Längsachse und am vorderen Ende des Fahrgastraumes) und der Rollgeschwindigkeit des Wagenkastens, von Anfang bis Ende des relevanten Zeitintervalls, siehe Anmerkung unten;
- b) Identifikation aller relevanten Zeitspannen, und für jede davon die Digitalisierung zusammen mit einem entsprechenden Anti-Aliasing-Filter;
- c) Tiefpass-Filterung der Signale;
- d) Analyse mit gleitendem Fenster und anschließende Berechnung für:
 - 1) Änderung der Querbeschleunigung des Wagenkastens von Anfang bis Ende dieser Zeitspanne;
 - 2) Maximalwerte (nicht unbedingt gleichzeitig auftretend) für die Rollgeschwindigkeit und den Querruck des Wagenkastens;

- 3) P_{CT} Komfortkenngrößen an jedem oben angezeigten Messpunkt.

ANMERKUNG Wenn ein Drehgestell unter dem Fahrgastraum angeordnet ist, darf die Messung an dessen Ende durch die Stelle über dem Drehgestell ersetzt werden.

7.4 Prüfbedingungen

7.4.1 Allgemeines

Die allgemeinen Versuchsbedingungen sind in diesem Abschnitt beschrieben. Die detaillierten Bedingungen können je nach Anwendung abweichen und sollten in der Versuchsspezifikation beachtet werden. Die angewandten Versuchsbedingungen müssen im Versuchsbericht angegeben werden, siehe 7.8.

7.4.2 Auswahl der Prüfabschnitte

Die Wahl der Prüfabschnitte hängt vom Zweck der Untersuchung ab. Es kann eine Auswahl der repräsentativen Betriebsbedingungen oder der schlechtesten Fälle für die jeweilige Gleisgeometrie sein.

7.4.3 Prüfgeschwindigkeit

Die Wahl der Prüfgeschwindigkeit hängt vom Zweck der Untersuchung ab; hierbei kann es sich um die Betriebsgeschwindigkeit oder eine andere Geschwindigkeit handeln.

7.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie

Die Rad-Schiene-Kontaktgeometrie hat üblicherweise wenig Einfluss auf den als P_{CT} evaluierten Komfort in Übergangsbögen. Es werden keine spezifischen Empfehlungen benötigt.

7.4.5 Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug muss unter bestimmten Bedingungen geprüft werden, einschließlich Fahrzeuglast, Radverschleiß, aktive Luftfederung und aktivierten Neigesystemen, sofern anwendbar, usw.

ANMERKUNG Je nach Zweck des Versuchs können auch andere Fahrzeugbedingungen nützlich sein.

Kupplungen und Durchgänge zwischen Wagen sollten wie im normalen Betriebseinsatz festgezogen werden.

7.5 Zu messende Parameter

7.5.1 Allgemeines

Der Komfort im Übergangsbogen wird auf der Basis der Messwerte von Beschleunigungs- und Gyroskopmessungen bestimmt. Diese werden an verschiedenen Punkten auf dem Fahrzeugboden durchgeführt.

Anhang B beschreibt die Messmethoden.

7.5.2 Anordnung der Messpunkte

Folgende Messungen sind durchzuführen:

- Querbeschleunigung $\ddot{y}_M^*(t)$ auf der Längsachse des Fußbodens des Wagenkastens und am vorderen Ende des Fahrgastraums $\ddot{y}_{EI}^*(t)$;
- Rollgeschwindigkeit des Wagenkastens $\dot{\phi}^*(t)$, an einer Stelle des Wagenkastens, zum Beispiel an der Längsachse des Wagenkastenbodens.

7.5.3 Filterung

Die gemessenen Signale müssen gefiltert werden, wozu der Tiefpass-Filter W_p mit Toleranzbändern, wie in Anhang C definiert, verwendet wird. Das führt zu gefilterten Querschleunigungen $\ddot{y}_{p,wp}^*(t)$ und gefilterten Rollgeschwindigkeiten $\dot{\phi}_{wp}^*(t)$.

7.6 Definition von Zwischengrößen

7.6.1 Symbole und Indizes

$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	Der maximale Betrag der Querschleunigung im Wagenkasten, in der Zeitspanne zwischen Anfang des Bogenübergangs und dessen Ende plus 1,6 s, ausgedrückt in m/s^2 (siehe Anmerkung).
$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	Der maximale Betrag des Querrucks am Übergangsbogen, in der Zeitspanne 1 s vor Anfang des Bogenübergangs und dessen Ende, ausgedrückt in m/s^3 .
$ \dot{\phi}_{1s} _{\max}$	Der maximale Betrag der Rollgeschwindigkeit, in der Zeitspanne zwischen Anfang und Ende des Bogenübergangs, in Grad je Sekunde ausgedrückt.
P_{CT}	Komfortkenngröße bei Übergangsbögen, berechnet nach Gleichung (16), die den prozentualen Anteil unzufriedener Fahrgäste angibt.

7.6.2 $|\ddot{y}_{1s}|_{\max}$ Mittelungs-Verfahren

Die Signale müssen in dem Verfahren folgendermaßen behandelt werden:

- die gefilterte Querschleunigung des Wagenkastens $\ddot{y}_{wp}^*(t)$, welche durch ein Ein-Sekunden-Mittelungsfenster betrachtet wird, führt zu der über eine Sekunde gemittelten Querschleunigung $\ddot{y}_{1s}(t)$ (siehe Bild 2); mit maximaler Fortschrittsweite von 0,1 s;
- die gefilterte Rollgeschwindigkeit $\dot{\phi}_{wp}^*(t)$, welche durch ein Ein-Sekunden-Mittelungsfenster betrachtet wird, führt zu der über eine Sekunde gemittelten Rollgeschwindigkeit $\dot{\phi}_{1s}(t)$ (siehe Bild 3);
- der gefilterte Querruck $\ddot{y}_{1s}(t)$ wird von der über eine Sekunde gemittelten Querschleunigung $\ddot{y}_{1s}(t)$ abgeleitet.

Die Mittelung, während der Dauer T von 1 s, muss nach Gleichung (13), Gleichung (14) und Gleichung (15) durchgeführt werden, wobei zu beachten ist, dass das neue Signal auf die Mitte des Mittelungsfensters verweisen muss.

$$\ddot{y}_{1s}(t) = \frac{1}{T} \cdot \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \ddot{y}_{wp}^*(\tau) d\tau \quad (13)$$

Dabei ist

$$T = 1 \text{ s.}$$

$$\dot{\phi}_{1s}(t) = \frac{1}{T} \cdot \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \dot{\phi}_{wp}^*(\tau) d\tau \quad (14)$$

Dabei ist

$$T = 1 \text{ s.}$$

$$\ddot{y}_{1s}(t) = \frac{1}{T} \cdot \left(\dot{y}_{1s}\left(t + \frac{T}{2}\right) - \dot{y}_{1s}\left(t - \frac{T}{2}\right) \right) \quad (15)$$

Dabei ist

$$T = 1 \text{ s.}$$

7.6.3 Identifikation der Übergangszeit

Für Eintritts- und Gegenbögen und Bögen mit steigender Querbesehleunigung innerhalb von Korbbögen wird der Anfangs- und Endpunkt auf Basis der nominalen Gleisgeometrie ausgewählt. Siehe Bild 5.

7.6.4 Zwischengrößen

- In der Zeitspanne zwischen Anfang des Bogenübergangs und dessen Ende plus 1,6 s, muss der maximale Betrag der Querbesehleunigung $|\ddot{y}_{1s}|_{\max}$ als maximaler Betrag von $\ddot{y}_{1s}(t)$ genommen werden
- in der Zeitspanne von 1 s vor Beginn des Bogenübergangs bis zu dessen Ende, muss der maximale Betrag des Querrucks, $|\ddot{y}_{1s}|_{\max}$, als maximaler Betrag von $\ddot{y}_{1s}(t)$ genommen werden
- in der Zeitspanne zwischen Beginn des Bogenübergangs bis zu dessen Ende, muss der maximale Betrag der Rollgeschwindigkeit des Wagenkastens $|\dot{\phi}_{1s}|_{\max}$ als maximaler Betrag von $\dot{\phi}_{1s}(t)$ genommen werden.

7.7 Definition der Komfortkenngröße P_{CT}

Die Komfortkenngröße P_{CT} wird auf der Basis der Gleichung (16) mit Konstanten nach Tabelle 6 berechnet.

$$P_{CT} = 100 \cdot \left\{ \max \left[\left(A \cdot |\dot{y}_{1s}|_{\max} + B \cdot |\ddot{y}_{1s}|_{\max} - C \right); 0 \right] + \left(D \cdot |\dot{\phi}_{1s}|_{\max} \right)^E \right\} \quad (16)$$

$$P_{CT_lat} = 100 \cdot \left\{ \max \left[\left(A \cdot |\dot{y}_{1s}|_{\max} + B \cdot |\ddot{y}_{1s}|_{\max} - C \right); 0 \right] \right\} \quad (16a)$$

$$P_{CT_rol} = 100 \cdot \left\{ \left(D \cdot |\dot{\phi}_{1s}|_{\max} \right)^E \right\} \quad (16b)$$

$$P_{CT} = P_{CT_lat} + P_{CT_rol} \quad (16c)$$

Tabelle 6 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{CT}

Zustand	A s^2/m	B s^3/m	C —	D s/rad	E —
In Ruhe – stehend	0,285 4	0,206 9	0,111	3,64	2,283
In Ruhe – sitzend	0,089 7	0,096 8	0,059	0,916	1,626

7.8 Alternative Komfortkenngröße ‚gleitende P_{CT} über 3 Sekunden‘

Komfortkenngröße ‚gleitende P_{CT} über 3 Sekunden‘ (P_{CT_3s}) wird basierend auf Gleichung (16) mit den Konstanten nach Tabelle 6 berechnet. Für jeden Zeitpunkt t , wobei alle in 7.6 für den P_{CT} -Wert festgelegten Definitionen und Berechnungen auch für P_{CT_3s} , mit den folgenden zwei zusätzlichen Annahmen, angewendet werden können und sollten:

- es wird immer davon ausgegangen, dass es sich bei dem aktuellen Zeitpunkt t um den Beginn des Übergangs-Eintrittsbogens handelt;

- es wird immer davon ausgegangen, dass die Fahrzeit durch diesen Übergangs-Eintrittsbogen 3 Sekunden beträgt.

Bei der Anwendung eines derartigen Verfahrens werden die diskreten P_{CT} -Werte, wie in 7.7 festgelegt, durch eine kontinuierliche Reihe von $P_{CT_3\ s(t)}$ -Werten im Zeitverlauf ergänzt.

Falls es sich bei t um den Startpunkt eines Übergangs-Eintrittsbogens handelt, der exakt 3 Sekunden dauert, entsprechen Definition und Wert von $P_{CT_3\ s(t)}$ denen von P_{CT} .

Falls t nahe am Startpunkt eines Übergangs-Eintrittsbogens liegt, der ungefähr 3 Sekunden dauert, wird davon ausgegangen, dass der Wert von $P_{CT_3\ s(t)}$ dem von P_{CT} stark ähnelt.

Reihe von $P_{CT_3\ s(t)}$ -Werten im Zeitverlauf kann berechnet werden, wenn keinerlei Trassierungsdaten, wie Start- und Endpunkte für Bogeneintrittsübergänge, bekannt sind.

Unabhängig davon, welcher Wert für $P_{CT_3\ s(t)}$ ausgehend von Gleichung (16) und solange nachgewiesen werden kann, dass der aktuelle Zeitpunkt t sich nicht in der Nähe des Startpunkts eines Übergangs-Eintrittsbogens befindet, kann der $P_{CT_3\ s(t)}$ -Wert auf Null gesetzt werden.

Dies kann zum Beispiel in folgenden Fällen gelten:

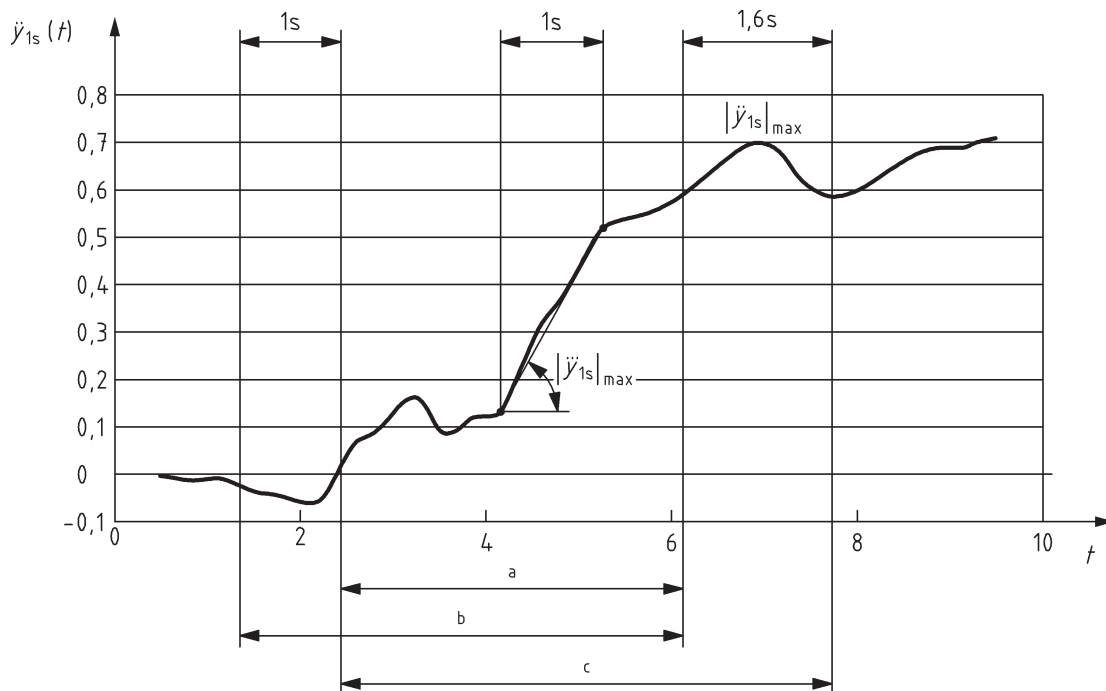
- die mittlere Querschleunigung innerhalb des angenommenen Übergangsbogens liegt unter einem bestimmten Grenzwert; und/oder
- der mittlere seitliche Ruck innerhalb des angenommenen Übergangsbogens liegt unter einem bestimmten Grenzwert.

In den Fällen, bei denen $P_{CT_3\ s(t)}$ auf Null gesetzt wird, muss die mathematische Begründung im Bericht aufgeführt werden.

7.9 Versuchsbericht

Der Versuchsbericht muss ausreichend genau sein, sodass die Ausführung des Komfortversuchs verständlich ist und die speziellen Gegebenheiten erkannt werden können. Die Detailgenauigkeit hängt von dem Versuchszweck ab. Eine Anleitung für den Versuchsbericht gibt Anhang F.

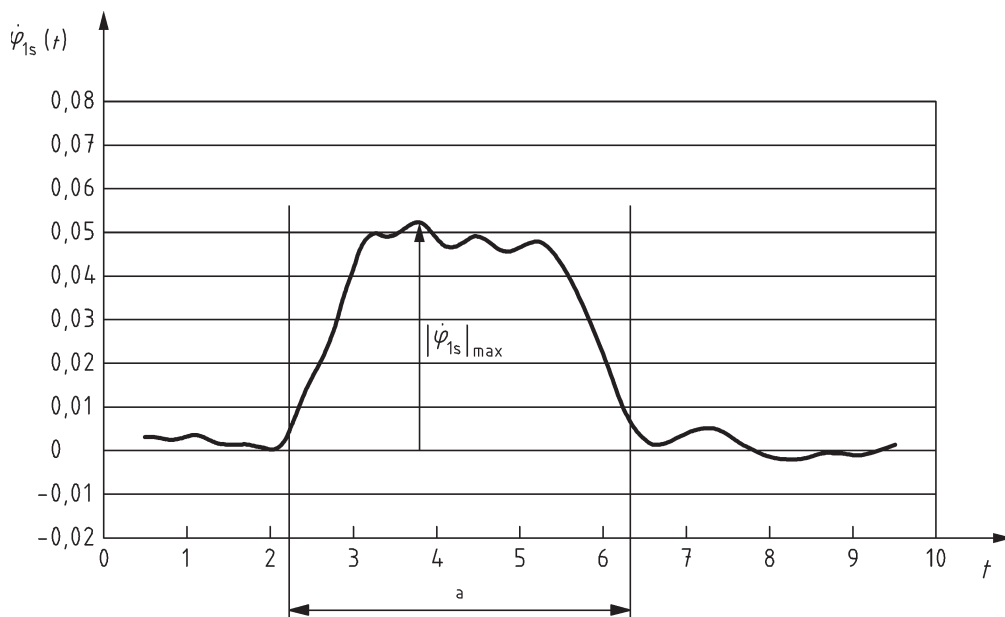
7.10 Beispieldiagramme



Legende

- a Übergangsbogen
- b Zeitspanne für die Auswertung von $|\ddot{y}_{1s}|_{\max}$
- c Zeitspanne für die Auswertung von $|\dot{\ddot{y}}_{1s}|_{\max}$

Bild 2 — Bedeutung der Benennungen $|\dot{\ddot{y}}_{1s}|_{\max}$ und $|\ddot{y}_{1s}|_{\max}$ in der P_{CT} -Gleichung



Legende

- a Übergangsbogen und Zeitspanne für die Auswertung von $|\dot{\phi}_{1s}|_{\max}$

Bild 3 — Bedeutung der Benennung $|\dot{\phi}_{1s}|_{\max}$ in der P_{CT} -Gleichung

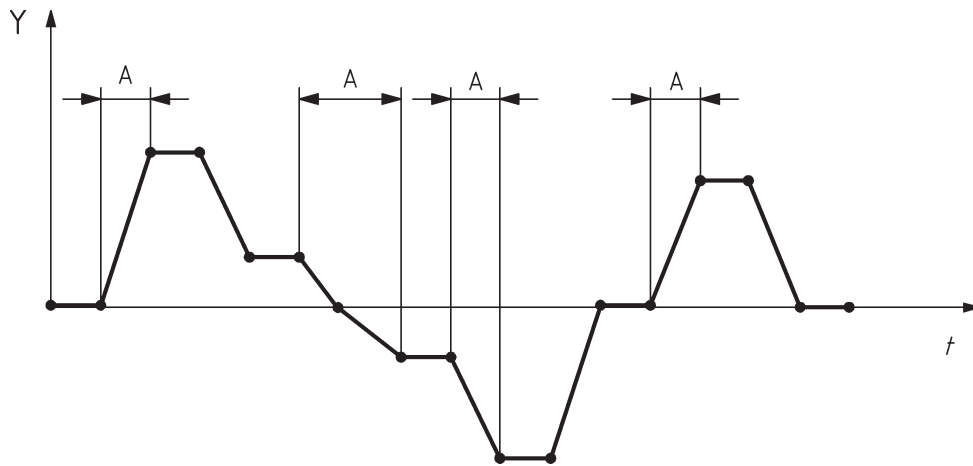


Bild 4 — Relevante Zeitspannen A_i beim Bogenübergang

Dieses Verfahren ist für die in Bild 4 mit A_i bezeichneten Bogenübergänge validiert, wenn sie länger als 2 s dauern. Der Versuchsbericht sollte klären, ob Übergänge, die weniger als 2 s dauern in die Analyse einbezogen werden oder nicht.

Für Fälle, bei denen ein gerades Gleis zwischen zwei gegenläufigen Übergangsbögen sehr kurz ist, gibt der Untersuchungsbericht des British Rail Research, (TR DOS 017) keine Anleitung, ob die Übergangsbögen als 2 getrennte Bögen oder als fortgesetzter Bogen behandelt werden sollten. Daher kann P_{CT} in Abschnitt „a“, wie in Bild 5 gezeigt, unter Verwendung der gleichen Beurteilung der Zwischengrößen wie bei den Eintrittsübergängen beurteilt werden.

In Fällen, in denen die Kurve mit konstantem Radius zwischen zwei Übergangsbögen zu einer Dauer von unter 1,6 s führt, sollte die Komfortkenngröße P_{CT} geprüft werden, um sicherzustellen, dass der Höchstwert der Querbeschleunigung für den ersten Übergang nicht durch den zweiten Übergang verursacht wird.

8 Komfort bei diskreten Ereignissen

8.1 Allgemeines

Die Beurteilung des Komforts für Fahrgäste durch P_{DE} ist in jenen Situationen zweckmäßig, in denen die umfassende Komfortwahrnehmung der Fahrgäste merklich durch das Auftreten von diskreten Ereignissen bei Querbeschleunigung beeinflusst wird. Das Verfahren liefert ein Maß des Komforts für ein einzelnes diskretes Ereignis, ohne Häufigkeitsauswirkungen zu bewerten.

Die Validität der Menge unzufriedener Fahrgäste wurde auf einem Gleisbogen mit hohen Überhöhungsfehlbeträgen nachgewiesen. Die Anwendung auf derartigen Streckenabschnitte mit konventionellen Zügen ist am angemessensten.

Obwohl es ursprünglich zur Beurteilung von einzelnen Ereignissen unter quasi-stationären Bedingungen bei Kurvenfahrten entwickelt wurde, kann P_{DE} auch für das Überfahren von Weichen, Übergangsbögen oder geraden Gleisen verwendet werden, obwohl es bisher nicht für derartige Anwendungen validiert wurde.

Zweck ist die Definition der:

- a) Bedingungen für die Durchführung von Fahrversuchen zur Beurteilung des Komforts bei diskreten Ereignissen;
- b) zu messenden Parameter, sowie des für die Erzielung der Beurteilungswerte einzusetzenden Verfahrens.

8.2 Grundlage des Verfahrens

Das Verfahren basiert auf dem technischen Bericht BRR TR DOS 017, unter der Nutzung sowohl konventioneller Fahrzeuge als auch Fahrzeuge mit Neigetechnik für einen großen Bereich an Geschwindigkeiten und Niveaus der unkompensierten Querbeschleunigung, der sowohl den konventionellen als auch den Hochgeschwindigkeitseinsatz abdeckt.

Das Verfahren umfasst die Messung und Bewertung des Komforts bei diskreten Ereignissen, die von den Fahr Gästen als plötzliche Änderung des Fahrkomfortgefühls aufgrund des dynamischen Verhaltens des Fahrzeugs bei lokalen Gleisunregelmäßigkeiten wahrgenommen werden. Empfindungen dieser Art werden von verschiedenen Menschen unterschiedlich wahrgenommen. Deshalb ist es unmöglich, eine einzige, für jedermann gültige Bewertung, auf der Grundlage direkter Versuche festzulegen.

Als Ergebnis beruht die Komfortauswertung bei diskreten Ereignissen auf dem Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Anteil unzufriedener Fahrgäste zu den relevantesten Größen von Querbeschleunigungs-Spitzen und mittlerem Querbeschleunigungsniveau.

8.3 Methodik

Die Bewertung des Komforts bei diskreten Ereignissen besteht aus:

- a) Messung der Querbeschleunigung (am Fahrzeugboden, auf der Längsachse und sowohl am vorderen als auch hinteren Ende des Fahrgastraums), siehe ANMERKUNG;
- b) der Identifizierung und Beschreibung von für die Beurteilung relevanten Bereichen, der gesamten Versuchsfahrt oder Teilen hiervon wie Brücken, Verbindungen und einzelnen Bögen;
- c) Digitalisierung zusammen mit geeigneten Anti-Aliasing-Filtern;
- d) Tiefpass-Filterung der Signale;
- e) im Zeitfenster von 2 s: Bewertung der maximalen Beschleunigung von Spitze zu Spitze und dem mittleren Beschleunigungswert;
- f) im Fall von getrennter Bewertung einzelner Ereignisse muss das lokale Maximum von $P_{DE}(t)$ als repräsentativer Wert betrachtet werden.

ANMERKUNG Wenn ein Drehgestell unter dem Fahrgastabteil angeordnet ist, darf die Messung an dessen Ende durch die Stelle über dem Drehgestell ersetzt werden.

8.4 Versuchsbedingungen

8.4.1 Allgemeines

Die allgemeinen Versuchsbedingungen sind in diesem Abschnitt beschrieben. Die detaillierten Bedingungen können je nach Anwendung abweichen und sollten in der Versuchsspezifikation beachtet werden. Die angewandten Versuchsbedingungen müssen im Versuchsbericht angegeben werden, siehe Abschnitt 8.8.

8.4.2 Auswahl der Versuchsabschnitte

Die Wahl der Versuchsabschnitte hängt vom Zweck der Untersuchung ab. Es kann eine Auswahl der repräsentativen Betriebsbedingungen oder der schlechtesten Fälle für die jeweilige Gleisgeometrie sein.

8.4.3 Versuchsgeschwindigkeit

Die Wahl der Versuchsgeschwindigkeit hängt vom Zweck der Untersuchung ab; hierbei kann es sich um die Betriebsgeschwindigkeit oder eine andere Geschwindigkeit handeln.

8.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie

Der Komfort bei diskreten Ereignissen kann durch die Rad-Schiene-Kontaktgeometrie beeinflusst werden. Es werden keine spezifischen Empfehlungen benötigt.

8.4.5 Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug muss unter bestimmten Bedingungen geprüft werden, einschließlich Fahrzeuglast, Radverschleiß, aktive Luftfederung und aktivierten Neigesystemen, sofern anwendbar, usw.

ANMERKUNG Je nach Zweck des Versuchs können auch andere Fahrzeugbedingungen nützlich sein.

Kupplungen und Wagenübergänge sollten wie im normalen Betriebseinsatz festgezogen werden.

8.5 Zu messende Parameter

8.5.1 Allgemeines

Der Komfort bei diskreten Ereignissen wird auf der Basis von Beschleunigungsmessungen bestimmt. Diese werden an verschiedenen Punkten auf dem Boden durchgeführt. Anhang B beschreibt die Messmethoden.

8.5.2 Anordnung der Messpunkte

Folgende Messungen sind durchzuführen:

- Querbeschleunigung $\ddot{y}_M^*(t)$ auf der Längsachse des Wagenkastenbogens, am vorderen Ende des Fahrgastabteils $\ddot{y}_{EI}^*(t)$ und am hinteren Ende des Fahrgastabteils $\ddot{y}_{EI}^*(t)$

8.5.3 Filterung

Die gemessenen Signale müssen gefiltert werden, wozu der Tiefpass-Filter W_p mit Toleranzbändern, wie in Anhang C definiert, verwendet wird. Das führt zu den gefilterten Querbeschleunigungen $\ddot{y}_{p,Wp}^*(t)$.

8.6 Definition von Zwischengrößen

8.6.1 Symbole und Indizes

- $|\ddot{y}_{2s}(t)|$ Betrag des Mittelwerts der Querbeschleunigung vom Wagenkasten, in m/s^2 .
- $\ddot{y}_{pp}(t)$ Maximale Querbeschleunigung (Spitze-Spitze-Wert), in m/s^2 .
- P_{DE} Komfortkenngröße bei diskreten Ereignissen, berechnet nach Gleichung (20), die den prozentualen Anteil unzufriedener Fahrgäste angibt.
- a, b, c Konstanten, in Tabelle 7 definiert.

Für jeden berechneten Wert wird die Abszisse, in Raum oder Zeit, durch die Mitte des Berechnungsintervalls angegeben.

Die Formel kann bei allen Arten der Trassierung, einschließlich gerader Gleise, angesetzt werden, mit dem Ziel der einfacheren Anwendung.

8.6.2 Mittelungs-Verfahren

Die Signale müssen in dem Verfahren folgendermaßen behandelt werden:

- die gefilterten Querschleunigungen des Wagenkastens $\ddot{y}_{P,Wp}^*(t)$, welche durch ein Zwei-Sekunden-Mittelungsfenster betrachtet und deren Betrag genommen wird, führen zu entsprechenden Beschleunigungen $|\ddot{y}_{2s}(t)|$ (Bild 5); mit maximaler Fortschrittsweite von 0,1 s.

Die Mittelung der Signale während der Dauer T von 2 s, muss nach Gleichung (18) durchgeführt werden, wobei zu beachten ist, dass das neue Signal auf die Mittelposition des Mittelungsfensters verweisen muss.

$$|\ddot{y}_{2s}(t)| = \frac{1}{T} \left| \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} \ddot{y}_{P,Wp}^*(\tau) d\tau \right| \quad (18)$$

Dabei ist

$$T = 2 \text{ s.}$$

8.6.3 Zwischengrößen

Im Allgemeinen wird der komplette Prüfabschnitt bei fortlaufender Aufzeichnung angewendet.

Die Berechnung von Spitze zu Spitze während der Dauer T von 2 s muss nach Gleichung (19) durchgeführt werden, d. h. das neue Signal muss auf die Mittelposition des Fensters verweisen.

$$\ddot{y}_{pp}(t) = \max \left(\ddot{y}_{P,Wp}^*(\tau), \tau \in \left[t - \frac{T}{2}, t + \frac{T}{2} \right] \right) - \min \left(\ddot{y}_{P,Wp}^*(\tau), \tau \in \left[t - \frac{T}{2}, t + \frac{T}{2} \right] \right) \quad (19)$$

Dabei ist

$$T = 2 \text{ s.}$$

8.7 Definition der Komfortkenngröße P_{DE}

Die Komfortkenngröße P_{DE} wird auf der Basis der Gleichung (20) mit Konstanten nach Tabelle 7 berechnet.

$$P_{DE}(t) = 100 \cdot \max [a \cdot \ddot{y}_{pp}(t) + b \cdot |\ddot{y}_{2s}(t)| - c; 0] \quad (20)$$

Tabelle 7 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{DE}

Zustand	a s^2/m	b s^2/m	c —
In Ruhe – stehend	0,166 2	0,270 1	0,37
In Ruhe – sitzend	0,084 6	0,130 5	0,217

Die Komfortkenngröße $P_{DE}(t)$ ist als Zeitfunktion ein fortlaufendes Signal und kann als solches gemeldet werden. Für die Auswertung eines besonderen lokalen Ereignisses muss das lokale Maximum von $P_{DE}(t)$ verwendet werden.

8.8 Versuchsbericht

Der Versuchsbericht muss ausreichend genau sein, sodass die Ausführung des Komfortversuchs verständlich ist und die speziellen Gegebenheiten erkannt werden können. Die Detailgenauigkeit hängt von dem Versuchszweck ab. Eine Anleitung für den Versuchsbericht gibt Anhang F.

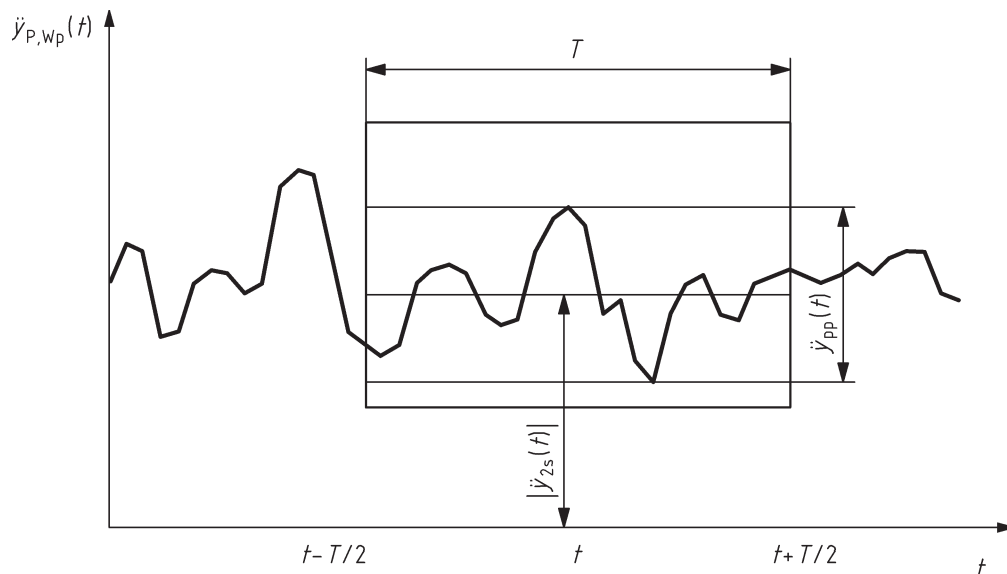


Bild 5 — Bedeutung von $|\dot{y}_{2s}(t)|$ und $\dot{y}_{pp}(t)$ bei der Berechnung von P_{DE}

9 Anleitung für die Interpretation der Ergebnisse

9.1 Allgemeines

Die folgenden Kenngrößen geben verschiedene Komfortaspekte an.

ANMERKUNG Die Komfortwahrnehmung hängt auch von den Erwartungen der Fahrgäste an eine bestimmte Betriebsart (Fernverkehr, Nahverkehr, Hochgeschwindigkeit usw.) ab.

9.2 Mittlerer Komfort

In Tabelle 8 wird ein Bewertungsmaßstab für die Komfortkenngröße N_{MV} angegeben.

Tabelle 8 — Bewertungsmaßstab für die Komfortkenngröße N_{MV}

$N_{MV} < 1,5$	Sehr komfortabel
$1,5 \leq N_{MV} < 2,5$	Komfortabel
$2,5 \leq N_{MV} < 3,5$	Durchschnittlich
$3,5 \leq N_{MV} < 4,5$	Unkomfortabel
$N_{MV} \geq 4,5$	Sehr unkomfortabel

Die Kenngröße sollte im Bericht für jeden einzelnen Versuchsbereich mit einer Dezimalstelle angegeben werden (Genauigkeit der Sensitivität des Fahrgastes).

ANMERKUNG 1 Das Ergebnis hängt stark von der Gleislagequalität, den Fahrzeugeigenschaften und der Umgebung, in der die Beurteilung stattfindet, ab, z. B. kann die Klassifizierung desselben Fahrzeugs auf unterschiedlichen Gleislagequalitäten unterschiedlich ausfallen. Weitere Anmerkungen zur Gleislagequalität sind in Anhang E enthalten.

ANMERKUNG 2 Einzelne Messpunkte können im Vergleich zu den meisten anderen Messpunkten im Triebzug möglicherweise höhere N_{MV} -Werte liefern. Zur Beurteilung eines Triebzugs wird empfohlen, den gesamten Triebzug oder mindestens mehrere Fahrzeuge/Einheiten auf geeignete Weise zu prüfen (z. B. Mittelwerte, Mittelwerte im Vergleich zu Höchstwerten, weitere statistische Beurteilung).

ANMERKUNG 3 Weitere Hinweise sind im informativen Anhang J enthalten.

In diesem Dokument wird kein Maßstab für die Komfortkenngröße N_{VA} und N_{VD} angegeben.

9.3 Kontinuierlicher Komfort

Beim Kontinuierlichen Komfort handelt es sich um eine Reihe von Zeitverläufen der 5-s-rms-Werte der gewichteten Beschleunigungen ohne weitere statistische Analyse.

Ein, auf gewissen Erfahrungen basierender Bewertungsmaßstab wird in Tabelle 9 angegeben. Der Maßstab trifft annähernd N_{MV} -Werte für mögliche Beschleunigungskombinationen in x-, y- und z-Richtung, wenn er auf das 95. Perzentil einer 5-minütigen Aufzeichnung angewendet wird.

Um der N_{MV} -Definition zu entsprechen, müssen Anforderungen für den Kontinuierlichen Komfort für das 95. Perzentil festgelegt werden. Das heißt, dass typischerweise 5 % der Werte über den Grenzwerten für den gewünschten Komfortbereich liegen werden. Die N_{MV} - und C_C -Werte sollten unter Verwendung der gleichen Fortschrittsweite verglichen werden.

Da der N_{MV} -Wert auf Messungen in drei Richtungen basiert, sollte bedacht werden, dass ein Bewertungsmaßstab für die eindimensionalen Kenngrößen $C_{Cy}(t)$ und $C_{Cz}(t)$ nicht perfekt zu der N_{MV} -Kenngröße für alle Beziehungen zwischen Beschleunigungen, die sich in den verschiedenen Richtungen ergeben können, passt.

Tabelle 9 — Maßstab für die Komfortkenngrößen $C_{Cy}(t)$ und $C_{Cz}(t)$

$C_{Cy}(t), C_{Cz}(t) < 0,20 \text{ m/s}^2$	Sehr komfortabel
$0,20 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy}(t), C_{Cz}(t) < 0,30 \text{ m/s}^2$	Komfortabel
$0,30 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy}(t), C_{Cz}(t) < 0,40 \text{ m/s}^2$	Durchschnittlich
$0,40 \text{ m/s}^2 \leq C_{Cy}(t), C_{Cz}(t)$	Weniger komfortabel

Die Kenngröße sollte im Bericht mit zwei Dezimalstellen angegeben werden.

9.4 Komfort in Übergangsbögen

P_{CT} -Werte geben den prozentualen Anteil der Fahrgäste an, die während des Durchfahrens von Übergangsbögen mit dem Komfort unzufrieden sind.

Das Ausmaß der Unzufriedenheit hängt von der Gleislage, der zulässigen Geschwindigkeit und den Fahrzeugeigenschaften ab. Auf einem vorgegebenen Gleisabschnitt mit einem vorgegebenen Geschwindigkeitsprofil bestimmt eine theoretische Beurteilung des P_{CT} -Werts das mindestens mögliche Niveau für das Ausmaß der Unzufriedenheit.

Die theoretische Beurteilung des P_{CT} -Werts basiert auf der Annahme eines Massepunkts, der dem Gleis folgt und dessen Wankwinkelergebnisse sich aus der Überhöhung des Gleises plus der Rollbewegung des Wagenkastens aufgrund der Neigesteuerung (für Fahrzeuge mit Neigetechnik) bzw. des Neigungskoeffizienten (für konventionelle Fahrzeuge) ergibt.

Auf dieser Grundlage werden zwei Ergebnisse geliefert:

- Qualifikation des gewählten Gleisabschnitts hinsichtlich der Gleislage und des Geschwindigkeitsprofils zur Erhebung der signifikanten P_{CT} -Werte.
- Quantifizierung des Einflusses der Fahrzeugeigenschaften.

Für diese bestimmte Betriebsart gibt ein höherer P_{CT} -Wert immer geringeren Fahrkomfort an. Theoretisch sind P_{CT} -Formel-Werte über 100 möglich, aber derart hohe Werte deuten darauf hin, dass alle Fahrgäste unzufrieden wären.

Annahme eines Massepunkts, der dem Gleis folgt und dessen Wankwinkelergebnisse sich aus der Überhöhung des Gleises plus der Rollbewegung des Wagenkastens aufgrund der Neigesteuerung (für Fahrzeuge mit Neigetechnik) bzw. des Neigungskoeffizienten (für konventionelle Fahrzeuge) ergibt.

9.5 Komfort bei diskreten Ereignissen

P_{DE} -Werte geben den prozentualen Anteil der Fahrgäste an, die mit dem Komfort unzufrieden sind. Für diese bestimmte Betriebsart gibt ein höherer P_{DE} -Wert immer geringeren Fahrkomfort an. Theoretisch sind P_{DE} -Formel-Werte über 100 möglich, aber derart hohe Werte deuten darauf hin, dass alle Fahrgäste unzufrieden wären.

Die Validität der Menge unzufriedener Fahrgäste wurde auf einem Gleisbogen mit hohen Überhöhungsfehlbeiträgen nachgewiesen. Die Anwendung auf derartigen Streckenabschnitten mit konventionellen Zügen ist am angemessensten.

Bei Übergangsbögen mit hoher Querbeschleunigung (im Wagenkasten) kann der mittlere Wert der Querbeschleunigung $|\ddot{y}_{2s}(t)|$ zu einem P_{DE} -Wert über 0 führen, selbst wenn die Querschwingungen gering sind. Der Querruck generiert auch eine Spitze-zu-Spitze-Querbeschleunigung innerhalb des Zwei-Sekunden-Fensters, $\ddot{y}_{pp}(t)$, welches zu einem P_{DE} -Wert über 0 beiträgt. In solch einem Fall wird der entsprechende P_{CT} -Wert höher sein und sollte als beste Quantifizierung der Komfortbeeinträchtigung betrachtet werden.

Auf geraden Gleisen ohne signifikante Mittelwerte für die Querbeschleunigung $|\ddot{y}_{2s}(t)|$ sind P_{DE} -Werte über 0 äußerst unwahrscheinlich und die Interpretation von P_{DE} ist daher als Maßstab für unzufriedene Fahrgäste nicht anwendbar.

Die Anwendung dieses Verfahrens zur relativen Beurteilung, z. B. den Vergleich verschiedener Ausführungsvarianten, ist nützlich, sofern positive P_{DE} -Werte erzeugt werden.

Anhang A (normativ)

Bezugssystem

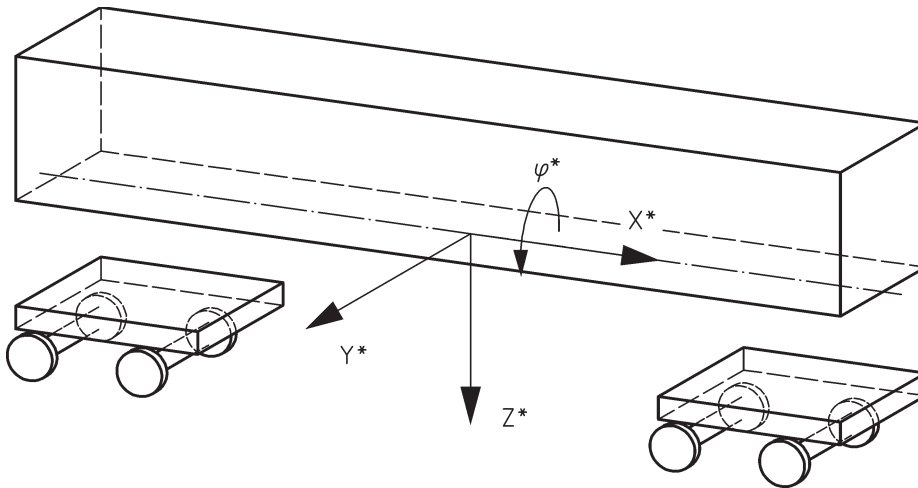
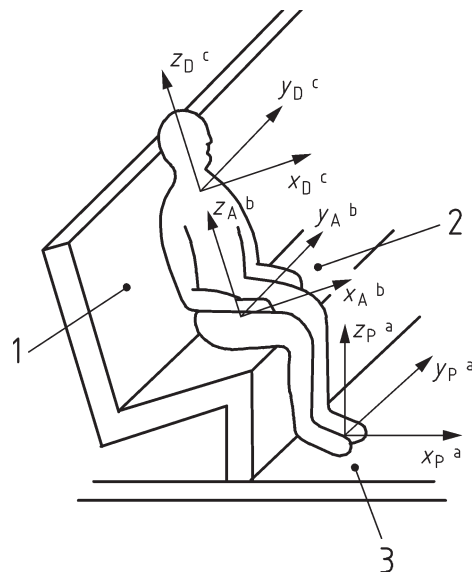


Bild A.1 — Lokales Bezugssystem für einen Wagenkasten

Das lokale Bezugssystem (siehe Bild A.1) für einen Fahrzeugaufbau wird definiert durch:

- a) Bezugspunkt: auf dem Boden des Fahrzeugaufbaus in zentraler Position zwischen den beiden Drehzapfen (real existierend oder idealerweise definiert);
- b) Achsen:
 - 1) x-Achse: längs in Fahrtrichtung, auf der Bodenebene;
 - 2) y-Achse: seitlich, rechtsgerichtet in Fahrtrichtung, auf der Bodenebene;
 - 3) z-Achse: vertikal nach unten, senkrecht zur Bodenebene.
- c) Rollbewegungen (ϕ) werden als Drehung um die x-Achse definiert.

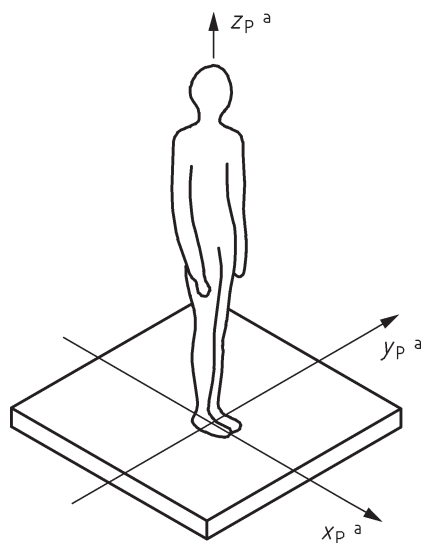
Lokale Bezugssysteme für den menschlichen Körper werden in Bild A.2 und Bild A.3 definiert.



Legende

- 1 Sitzrückenlehnen-Kontaktfläche, D (Dossier in Französisch)
- 2 Sitzschalen-Kontaktfläche, A (Assise in Französisch)
- 3 Boden-Kontaktfläche, P (Plancher in Französisch)

Bild A.2 — Lokale Bezugssysteme für eine sitzende Person



Legende

- 1 Boden-Kontaktfläche, P (Plancher in Französisch)

Bild A.3 — Lokales Bezugssystem für eine stehende Person

Anhang B (normativ)

Messtechnik

B.1 Allgemeines

Die zu vermessenden physikalischen Größen sind translatorische Beschleunigungen und Drehgeschwindigkeiten.

In dem nachstehend verwendeten Begriff „Messausrüstung“ ist die gesamte Ausrüstung eingeschlossen, die die Messung und Aufzeichnung der Signale ermöglicht.

B.2 Messausrüstung

B.2.1 Allgemeines

Die Messausrüstung umfasst Folgendes:

- a) Messwertgeber (Beschleunigungsmesser, Gyroskope);
- b) Verstärker und Verarbeitungsfiler;
- c) Aufzeichnungsgerät;
- d) Rechner für Datenaufzeichnung einschließlich Software.

Diese Ausrüstung stellt insgesamt ein Messsystem dar. Die Merkmale der Ausrüstung müssen miteinander vereinbar sein. Die Genauigkeit der Messausrüstung muss hinsichtlich der Merkmale jeder Komponente und hinsichtlich bestimmter Merkmale des Systems insgesamt definiert werden. Die Kalibrierung der Ausrüstung muss in regelmäßigen Abständen entsprechend gültigen Normen geprüft werden.

B.2.2 Beschleunigungsmesser und Verarbeitungsverstärker

Im Allgemeinen kann der Messwertgeber nicht von seinem Verstärker getrennt werden; diese Elemente werden zusammen behandelt; sie müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- a) die globale Übertragungsfunktion muss innerhalb einer Grenzabweichung von $\pm 0,5$ dB liegen wie in Tabelle B.1 dargestellt;

Tabelle B.1 — Frequenzbereich für die globale Übertragungsfunktion

Mittlerer Komfort	Komfort in Übergangsbögen und bei diskreten Ereignissen
0,4 Hz bis 100 Hz	0 Hz bis 10 Hz

- b) Nichtlinearität plus Hysterese: $\leq 0,3$ % des Skalenendwertes;
- c) Querempfindlichkeit: $\leq 0,05$ (5 %);
- d) Auswirkung der Temperatur;
 - 1) auf Nullstellung: ≤ 3 % des Skalenendwertes;

- 2) auf Empfindlichkeit: $\leq 5 \cdot 10^{-4}$ des Skalenwertes/°C.

B.2.3 Aufzeichnungsgerät

Das Aufzeichnungsgerät muss folgende Anforderungen erfüllen:

- a) flacher Durchlassbereich zwischen 0 Hz und 100 Hz;
- b) bei 100 Hz muss die Minderung unter 1 dB liegen.

Der registrierte Signalpegel muss ausreichen, um die korrekte und automatische Durchführung der Analyse zu ermöglichen.

B.2.4 Messwertgeberbefestigung am Boden

Bei der Befestigung eines Messwertgebers am Boden müssen folgende Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden:

- a) der Messwertgeber muss die gleichen Bewegungen ausführen wie der Teil der Struktur, auf welcher der Sitz befestigt ist;
- b) das Signal des Messwertgebers darf weder durch das zu nahe Messen an der ersten Resonanzfrequenz der Befestigung noch durch das Ergebnis der örtlichen Befestigungsarten an der Oberfläche beeinflusst werden. Deshalb muss sichergestellt werden, dass die Befestigung, die für den Beschleunigungsmesser genutzt wird, so fest wie möglich angezogen wird.
- c) Der Beschleunigungsmesser muss starr am Boden befestigt sein, wobei flexible Zwischenlagen, wie etwa Teppich, zu vermeiden sind.

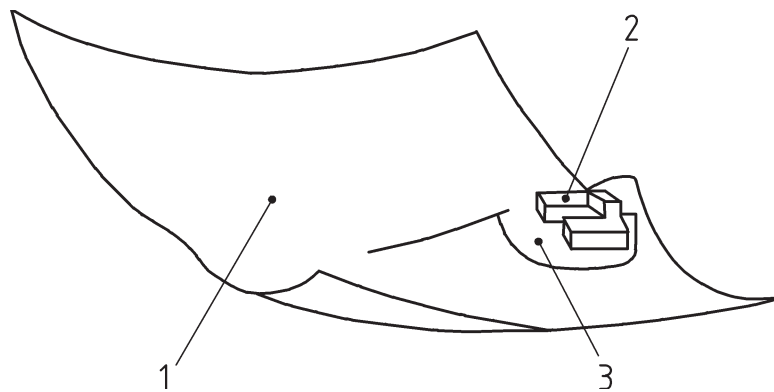
ANMERKUNG Bei lokalen Bodenschwingungen ist es zulässig, maximal die Masse eines Einzelfahrgasts (ungefähr 75 kg) an der Position der Messpunkte hinzuzufügen, um lokale Bodenschwingungen zu stoppen, die bei Anwesenheit eines Fahrgastes an dieser Stelle nicht wahrnehmbar wären.

Ausführlichere Anforderungen sind in ISO 5348 enthalten.

B.3 Sitzmessvorrichtungen und ihre Anwendungen

Beispiele für Sitzmessvorrichtungen werden in Bild B.1 bis Bild B.3 angegeben.

ANMERKUNG Sitzschalen nach ISO-Norm sind für diese Vermessungen akzeptabel.

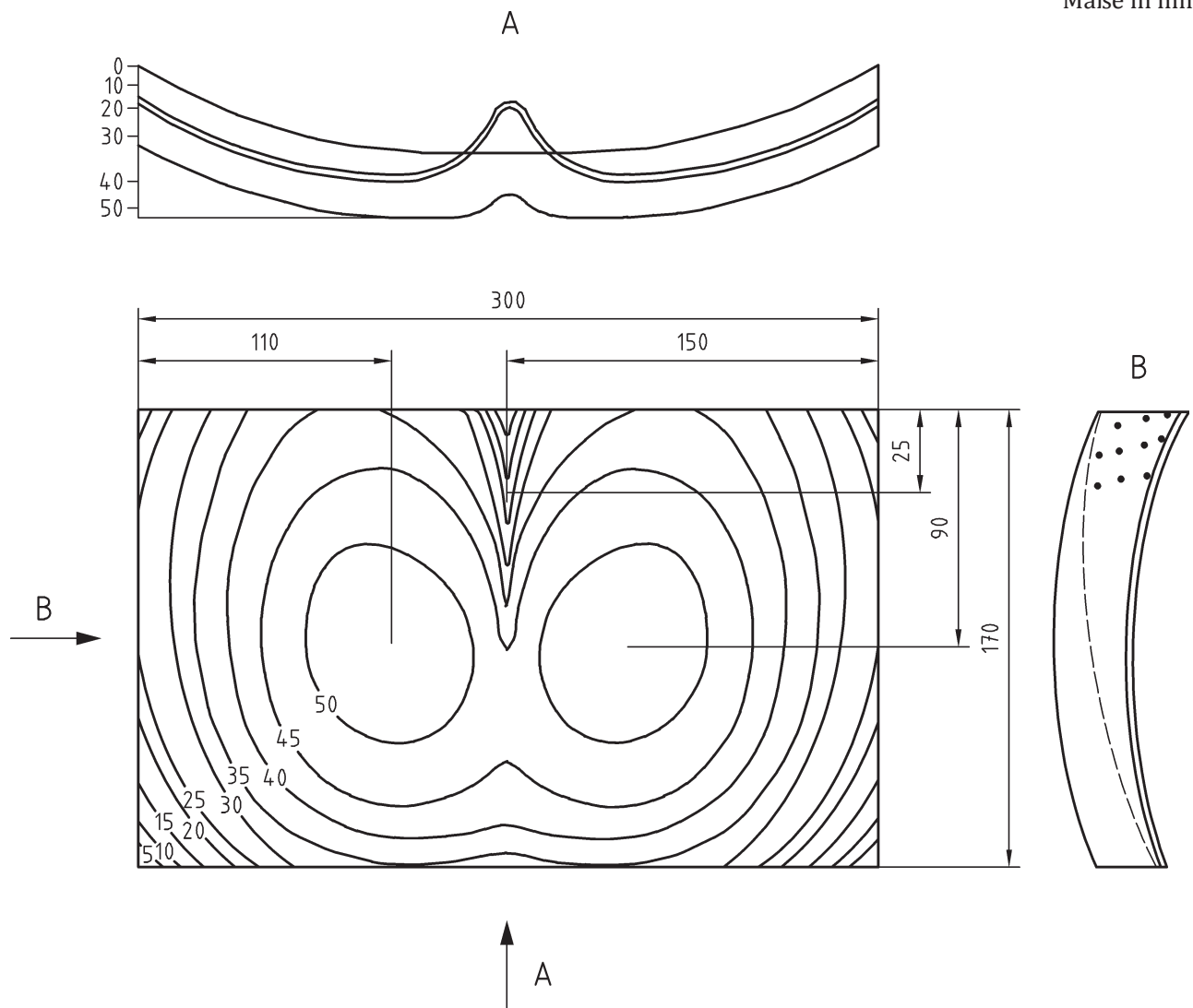


Legende

- 1 Platte
- 2 Bauteil zur Ausrichtung des Messwertgebers
- 3 Messwertgeber

Bild B.1 — Sitzschalen-Messvorrichtung (für y- und z-Richtung)

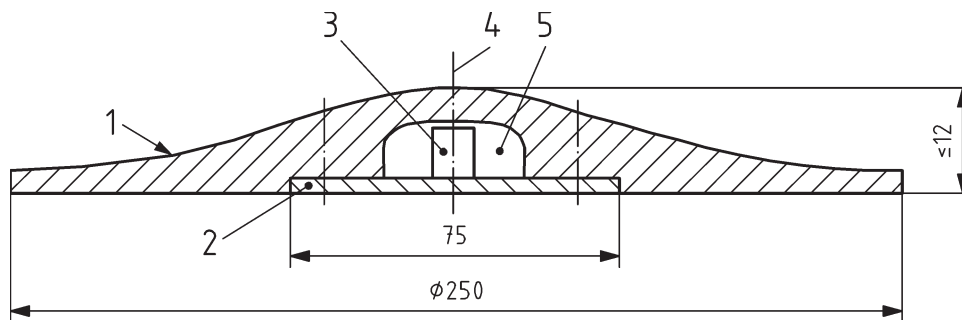
Maße in mm



ungefähr eine Lochung von 1 mm je cm²

Bild B.2 — Sitzschalen-Messvorrichtung

Maße in mm



Legende

- 1 flexibles Material
- 2 dünne Metallscheibe
- 3 einachsiger Beschleunigungsmesswertgeber
- 4 Vermessungsachsen
- 5 Hohlraum

Bild B.3 — Sitzrückenlehnen-Messvorrichtung

Vor Versuchsbeginn, aber nachdem alle Bewegungen des Sitzmaterials stattgefunden haben, muss die Lage der Achsen des Geschwindigkeitsmessers eingestellt werden, um sie an y-Achse und z-Achse der einzelnen Sitze anzupassen. Die Einstellung muss am Ende des Versuchs verifiziert werden.

Die Sitzschale muss so auf der Sitzfläche angebracht werden, dass der Messwertgeber mittig zwischen dem Sitzhöcker der sitzenden Person liegt. Aus Komfortgründen wird akzeptiert, wenn die Scheibenmitte etwas vor dem Sitzhöcker liegt (bis zu 5 cm).

Ein einfachgerichteter Beschleunigungsmesser in x-Richtung muss an der Sitzrückenlehne, an der Kontaktfläche zur Person, an der Stelle maximalen Drucks zwischen Rücken der Person und Rückenlehne, angebracht werden. Diese Stelle muss im Bericht angegeben werden. Aus praktischen Gründen ist es üblicherweise nicht möglich, die Beschleunigungsmesser auf der Platte perfekt in die Richtungen des grundlegenden Koordinatensystems auszurichten. In einem Toleranzbereich von $\pm 15^\circ$ der entsprechenden Richtungen kann man die Beschleunigungsmesser als parallel zu diesen Richtungen ausgerichtet betrachten.

Es ist notwendig, sicherzustellen, dass die Versuchsperson während der Messdauer in einer identischen Position (im Bericht beschrieben) verbleibt (Füße am Boden, Hände in die Höhe und Rücken korrekt anliegend auf der Rückenlehnenauflage).

Für verschiedene Versuchspersonen ist diese Voraussetzung schwer zu erfüllen. Beispielsweise halten Fahrer ihren Rücken während der Fahrt nicht ständig an der Rückenauflage anliegend, woraus sich die Konsequenzen ergeben, dass die Messungen die Schlagwirkung auf die freie Rückenkontaktfläche enthalten. Für diesen Fall muss sich die Sitzlehnenmessvorrichtung an der untersten Stelle am Rücken, bei der noch ständig Kontakt zur Rücksitzlehne besteht, befinden. Die empfohlene Lage des Beschleunigungsmessers ist ungefähr 150 mm oberhalb des Sitz-Index-Punkts (SIP), der in EN ISO 5353 definiert ist.

Anhang C (normativ)

Gewichtungskurven

C.1 Allgemeines

Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Grade von Empfindlichkeiten von verschiedenen Personen als Funktion von der Frequenz, sind für vertikale und horizontale Beschleunigungssignale Gewichtungskurven eingeführt worden. Die Kurven für W_c und W_d sind die gleichen wie in ISO 2631-1 und EN ISO 8041. Jedoch sollte beachtet werden, dass die Kurve nicht die gleiche ist, wie in ISO 2631-4.

Die Kurven werden für sinusförmige Schwingungen bestimmt und für stationäre Breitband-Schwingungen als gültig betrachtet.

Obwohl jede Person ihre eigene Gewichtungskurve hat, sind die ausgewählten Kurven die optimalen für die Beurteilung des Komforts.

Die Gewichtungskurven sind in untenstehender Tabelle C.1 zusammengefasst.

Tabelle C.1 — Gewichtungskurven

Gewichtungskurven	Anwendung
W_b	Z Boden, Z Sitzschale
W_c	X Sitzrückenlehne
W_d	X Boden, Y Boden, Y Sitzschale
W_p	Y Boden, ϕ Boden

C.2 Filterfunktionen

C.2.1 Allgemeines

Frequenzbewertungen werden durch die in Tabelle C.2 aufgeführten Parameter definiert, einschließlich der geeigneten bandbegrenzten Gewichtungen und Gleichung (C.1) bis Gleichung (C.4).

Tabelle C.2 — Parameter und Übertragungsfunktionen der Frequenzbewertungen

Gewichtung	Bandbegrenzung			a-v-Übergang ^a			Oberer Übergang				Verstärkung K
	f_1 Hz	f_2 Hz	Q_1 —	f_3 Hz	f_4 Hz	Q_2 —	f_5 Hz	f_6 Hz	Q_3 —	Q_4 —	
W_b	0,4	100	$1/\sqrt{2}$	16	16	0,63	2,5	4	0,8	0,8	0,4
W_c	0,4	100	$1/\sqrt{2}$	8	8	0,63	—	—	—	—	1
W_d	0,4	100	$1/\sqrt{2}$	2	2	0,63	—	—	—	—	1
W_p	—	100	$1/\sqrt{2}$	2	2	0,63	—	—	—	—	1

^a a-v-Übergang bedeutet Übergang von Beschleunigung zu Geschwindigkeit

Die Frequenzen $f_1, \dots, f_6$ und die Resonanzgütefaktoren $Q_1, \dots, Q_4$ sind Parameter der Übertragungsfunktion, welche die gesamte Beschleunigungs-Frequenzbewertung bestimmt. Die gesamte Frequenzbewertungsfunktion ist ein Produkt von Bandbegrenzung, a-v-Übergang und für W_b der Aufwärtsstufenfilter.

C.2.2 Bandbegrenzungsfilter

Das bandbegrenzende Element ist eine Kombination von Hoch- und Tiefpass 2. Ordnung mit Butterworth-Filtereigenschaften. Diese Komponenten werden definiert durch:

Hochpass:

$$H_h(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_1}{f}\right)^2 - i \cdot \frac{f_1}{Q_1 f}} \quad (\text{C.1})$$

Tiefpass:

$$H_l(f) = \frac{1}{1 - \left(\frac{f}{f_2}\right)^2 + i \cdot \frac{f}{Q_2 f_2}} \quad (\text{C.2})$$

Das Produkt $H_h(f) \cdot H_l(f)$ stellt die bandbegrenzende Übertragungsfunktion dar.

C.2.3 Beschleunigungs-Geschwindigkeitsübergang

Die Gewichtung ist zur Beschleunigung bei niedrigen Frequenzen und zur Geschwindigkeit bei höheren Frequenzen proportional. Der a-v-Übergang wird definiert durch:

$$H_t(f) = \frac{\left(1 + i \cdot \frac{f}{f_3}\right)}{1 - \left(\frac{f}{f_4}\right)^2 + i \cdot \frac{f}{Q_2 f_4}} \quad (\text{C.3})$$

C.2.4 Oberer Übergang

Der obere Übergang beträgt ungefähr 6 dB je Oktave und ist proportional zum Ruck:

$$H_s(f) = K \cdot \frac{1 - \left(\frac{f}{f_5}\right)^2 + i \cdot \frac{f}{Q_3 f_5}}{1 - \left(\frac{f}{f_6}\right)^2 + i \cdot \frac{f}{Q_4 f_6}} \quad (\text{C.4})$$

C.2.5 Gesamte Frequenzbewertung

Die gesamte Frequenzbewertungsfunktion ist ein Produkt von Bandbegrenzung, a-v-Übergang und für W_b der Aufwärtsstufenfilter.

Für W_c , W_d und W_p :

$$H(f) = H_h(f) \cdot H_l(f) \cdot H_t(f) \quad (\text{C.5})$$

Für W_b :

$$H(f) = H_h(f) \cdot H_l(f) \cdot H_t(f) \cdot H_s(f) \quad (\text{C.6})$$

Die Größen für die Gewichtungsfunktionen W_b , W_c , W_d und W_p werden in Bild C.5 bis Bild C.8 gezeigt.