

DIN EN 12299

ICS 45.060.20

Ersatz für
DIN V ENV 12299:1999-06**Bahnanwendungen –
Fahrkomfort für Fahrgäste –
Messung und Auswertung;
Deutsche Fassung EN 12299:2009**

Railway applications –
Ride comfort for passengers –
Measurement and evaluation;
German version EN 12299:2009

Applications ferroviaires –
Confort de marche des voyageurs –
Mesurage et évaluation;
Version allemande EN 12299:2009

Gesamtumfang 67 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12299:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 087-00-02-02 UA „Fahrzeugtechnik“ des Normenausschusses Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 12299:1999-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Überführung der Vornorm in eine Norm;
- b) Neugliederung von Abschnitten und Anhängen; insbesondere Einleitungstext in andere Abschnitte verschoben;
- c) zusätzliche Begriffe aufgenommen;
- d) inhaltliche und redaktionelle Anpassungen in Text, Bildern und Tabellen; einige Anhänge gestrichen.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 12299: 1999-06

Deutsche Fassung

**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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. März 2009 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 Management-Zentrum des CEN 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, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

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 Fahrgastbelastung infolge 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	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Grundlage des Verfahrens	17
6.3 Methodik	18
6.4 Versuchsbedingungen	18
6.4.1 Allgemeines	18
6.4.2 Wahl der Prüfabschnitte	18
6.4.3 Prüfungsgeschwindigkeit	18
6.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	18
6.4.5 Fahrzeugzustand	19
6.5 Zu messende Parameter	19
6.5.1 Allgemeines	19
6.5.2 Lage der Messpunkte	19
6.5.3 Filterung	20
6.6 Definition von Zwischengrößen	20
6.6.1 Symbole und Indizes	20
6.6.2 rms-Werte der gewichteten Beschleunigungen	22
6.6.3 95. und 50. Perzentil	22
6.7 Definition der Komfortkenngrößen	23
6.7.1 Kontinuierlicher Komfort	23
6.7.2 Vereinfachtes Verfahren für Mittleren Komfort	23
6.7.3 Vollständiges Verfahren für Mittleren Komfort	23
6.8 Versuchsbericht	23
7 Komfort im Übergangsbogen	24
7.1 Allgemeines	24
7.2 Grundlage des Verfahrens	24
7.3 Methodik	24
7.4 Versuchsbedingungen	25
7.4.1 Allgemeines	25
7.4.2 Wahl der Prüfabschnitte	25
7.4.3 Prüfungsgeschwindigkeit	25
7.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	25
7.4.5 Fahrzeugzustand	25
7.5 Zu messende Parameter	25
7.5.1 Allgemeines	25
7.5.2 Anordnung der Messpunkte	25
7.5.3 Filterung	26
7.6 Definition von Zwischengrößen	26

7.6.1	Symbole und Indizes.....	26
7.6.2	Mittelungs-Verfahren.....	26
7.6.3	Identifikation der Übergangszeit.....	27
7.6.4	Zwischengrößen	27
7.7	Definition der Komfortkenngröße P_{CT}	28
7.8	Versuchsbericht	28
7.9	Beispieldiagramme.....	28
8	Komfort bei diskreten Ereignissen.....	30
8.1	Allgemeines	30
8.2	Grundlage des Verfahrens	30
8.3	Methodik.....	30
8.4	Versuchsbedingungen.....	31
8.4.1	Allgemeines	31
8.4.2	Auswahl der Prüfabschnitte	31
8.4.3	Prüfgeschwindigkeit	31
8.4.4	Rad-Schiene-Kontaktgeometrie.....	31
8.4.5	Fahrzeugzustand	31
8.5	Zu messende Parameter.....	31
8.5.1	Allgemeines	31
8.5.2	Lage der Messpunkte.....	31
8.5.3	Filterung	31
8.6	Definition von Zwischengrößen	32
8.6.1	Symbole und Indizes.....	32
8.6.2	Mittelungs-Verfahren.....	32
8.6.3	Zwischengrößen	32
8.7	Definition der Komfortkenngröße P_{DE}	33
8.8	Versuchsbericht	33
8.9	Beispieldiagramme.....	33
9	Anleitung für die Interpretation der Ergebnisse (informativ)	33
9.1	Allgemeines	33
9.2	Mittlerer Komfort	34
9.3	Kontinuierlicher Komfort.....	34
9.4	Komfort an Übergangsbögen.....	34
9.5	Komfort bei diskreten Ereignissen.....	35
Anhang A (normativ) Bezugssystem		36
Anhang B (normativ) Messtechnik.....		38
B.1	Allgemeines	38
B.2	Messausrüstung	38
B.2.1	Allgemeines	38
B.2.2	Beschleunigungsmesser und Verarbeitungsverstärker	38
B.2.3	Aufzeichnungsgerät	39
B.2.4	Messwertgeberbefestigung am Boden	39
B.3	Sitzmessvorrichtungen und ihre Anwendungen	39
Anhang C (normativ) Gewichtungskurven.....		42
C.1	Allgemeines	42
C.2	Filterfunktionen	42
C.2.1	Allgemeines	42
C.2.2	BandbegrenzungsfILTER	43
C.2.3	Beschleunigungs-Geschwindigkeitsübergang	43
C.2.4	Oberer Übergang	43
C.2.5	Gesamte Frequenzbewertung	43
C.2.6	Verringerung der Obergrenze des Frequenzbereichs in vertikaler Richtung	44
C.3	Toleranzen.....	44
C.4	Diagramme	47

Anhang D (informativ) Darstellung des Versuchsberichts	49
D.1 Allgemeines	49
D.2 Versuchsziel	49
D.3 Versuchsausführer	49
D.4 Quellenangaben	49
D.5 Versuchsbedingungen	49
D.5.1 Allgemeine Angaben	49
D.5.2 Fahrzeug	50
D.5.3 Sitz (bei vollständigem Verfahren für Mittleren Komfort).....	50
D.5.4 Sitzbenutzer (bei vollständigem Verfahren für Mittleren Komfort).....	50
D.5.5 Gleis	50
D.5.6 Geschwindigkeitsprofil	50
D.5.7 Versuchsanordnung	51
D.6 Messung und Datenverarbeitung	51
D.6.1 Messung	51
D.6.2 Datenverarbeitung	51
D.7 Bericht bei Mittlerem Komfort und Kontinuierlichem Komfort	51
D.7.1 Allgemeines	51
D.7.2 Zeitreihen	51
D.7.3 Statistische Ergebnisse	52
D.7.4 Komfortauswertung	52
D.7.5 Spektralanalyse	52
D.7.6 Beispieldiagramme	53
D.8 Bericht für Komfort in Übergangsbögen	56
D.9 Berichterstattung für Komfort bei diskreten Ereignissen	56
Anhang E (normativ) Fahrzeugbeurteilung bei Vereinfachtem Verfahren für Mittleren Komfort	58
E.1 Allgemeines	58
E.2 Qualität der Gleisgeometrie	58
E.3 Prüfbedingungen	58
E.3.1 Auswahl der Prüfabschnitte und Prüfbereiche	58
E.3.2 Prüfungsgeschwindigkeit	59
E.3.3 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie	59
E.3.4 Fahrzeugzustand	59
E.4 Akzeptable Abänderungen der Verfahren zur Auswertung für Mittleren Komfort	60
E.5 Prüfbericht	60
Anhang F (informativ) Anleitung für die Anwendung direkter Versuche	61
Anhang G (informativ) Ablaufplan für numerische Integration	62
Anhang H (informativ) Bestimmende Größen	63
Literaturhinweise	65

Bilder

Bild 1 — Lage der Messpunkte Reisezugwagen (konventionell oder als Gelenkwagen)	20
Bild 2 — Lage der Messpunkte Doppelstockwagen (konventionell oder als Gelenkwagen).....	20
Bild 3 — Bedeutung der Benennungen $\ddot{y}_{1s} _{\max}$ und $\ddot{y}_{1s} _{\max}$ in der P_{CT}-Gleichung	28
Bild 4 — Bedeutung der Benennung $\dot{\phi}_{1s} _{\max}$ in der P_{CT}-Gleichung	29
Bild 5 — Relevante Zeitspannen A_i beim Kurvenübergang	29
Bild 6 — Bedeutung von $\ddot{y}_{2s}(t)$ und $\ddot{y}_{pp}(t)$ bei der Berechnung von P_{DE}	33

Bild A.1 — Lokales Bezugssystem für einen Fahrzeugaufbau.....	36
Bild A.2 — Lokale Bezugssysteme für eine sitzende Person	37
Bild A.3 — Lokales Bezugssystem für eine stehende Person.....	37
Bild B.1 — Sitzschalen-Messvorrichtung (für y- und z-Richtung).....	39
Bild B.2 — Sitzschalen-Messvorrichtung	40
Bild B.3 — Sitzrückenlehnen-Messvorrichtung	41
Bild C.1 — Toleranzen für W_b	45
Bild C.2 — Toleranzen für W_c	45
Bild C.3 — Toleranzen für W_d	46
Bild C.4 — Toleranzen für W_p	46
Bild C.5 — Größen der alternativen Frequenzbewertung W_b für vertikale Schwingung entlang der z-Achse für Boden und Sitzschale	47
Bild C.6 — Größen der Frequenzbewertung W_c für horizontale Schwingung entlang der x-Achse für den Sitzrücken	47
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	48
Bild C.8 — Größen der Frequenzbewertung W_p für Querschleunigung für P_{CT} und P_{DE} und für Rollgeschwindigkeit für P_{CT} -Auswertung.....	48
Bild D.1 — Kontinuierlicher Komfort — Erfassung von Fünf-Minuten-Zeitabschnitten (gewählte Abschnitte grau gekennzeichnet).....	53
Bild D.2 — Beispiel für Kontinuierlichen Komfort und statistische Verteilung für einen Fünf-Minuten-Zeitabschnitt.....	54
Bild D.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).....	55
Bild D.4 — Beispiel von Zeitreihen für P_{DE} -Auswertung.....	57

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	16
Tabelle 5 — Anleitung zum Gebrauch der verschiedenen Komfortkenngrößen für andere Anwendungen.....	16
Tabelle 6 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{CT}	28
Tabelle 7 — Konstanten für Komfortkenngröße P_{DE}	33
Tabelle 8 — Bewertungsmaßstab für die Komfortkenngröße N_{MV}	34

Tabelle 9 — Vorläufiger Bewertungsmaßstab für die Komfortkenngrößen $C_{Cy}(t)$ und $C_{Cz}(t)$	34
Tabelle B.1 — Frequenzbereich für die globale Übertragungsfunktion.....	38
Tabelle C.1 — Gewichtungskurven.....	42
Tabelle C.2 — Parameter und Übertragungsfunktionen der Frequenzbewertungen	42
Tabelle C.3 — Toleranzen für Gewichtungskurven.....	44
Tabelle H.1 — Bestimmende Größen bei Mittlerer Komfort	63
Tabelle H.2 — Bestimmende Größen für den Komfort in Übergangsbögen und bei diskreten Ereignissen.....	64

Vorwort

Dieses Dokument (EN 12299:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt ENV 12299:1999.

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

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Methoden zur Bewertung der Auswirkungen von Bewegungen des Fahrzeugs auf den Fahrkomfort der Fahrgäste und für die Fahrzeugbewertung fest. Die hier betrachteten Auswirkungen sind:

— Unannehmlichkeiten in Verbindung mit relativ kleinen Beschleunigungen und Rollgeschwindigkeiten.

Andere Einflüsse in Zusammenhang mit höheren Beschleunigungspegeln sind nicht in dieser Norm erfasst:

— Gesundheitsrisiko: körperlicher Schaden und psychische Störung.

Die Norm betrifft Schienenfahrzeuge, die zur Beförderung von Fahrgästen ausgelegt sind, einschließlich Neben- und Vorortstrecken. Sie kann aber auch als Leitfaden für andere Schienenfahrzeuge, z. B. Lokomotiven, U-Bahnen und Straßenbahnen usw. verwendet werden.

Diese Norm bezieht sich auf Fahrgäste, die sich in einem gesundheitlich guten Allgemeinzustand befinden.

Sie gilt für Bewegungsmessungen, kann aber auch für Simulationen angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

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

EN 14363, Bahnanwendungen — *Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen — Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche*

EN ISO 5353, *Erdbaumaschinen sowie Traktoren und Maschinen für Land- und Forstwirtschaft — Sitzindexpunkt*

EN ISO 8041, *Schwingungseinwirkung auf den Menschen — Messeinrichtung*

ISO 2631-1, *Mechanische Schwingungen und Stöße — Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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 während der Einwirkung von Schwingungen und/oder Trägheitskräften über Ganzkörperübertragung wahrgenommen wird, verursacht durch die Bewegungen des Schienenfahrzeugs

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

ISO-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

gekennzeichnet durch Unannehmlichkeiten infolge eines wahrgenommenen Bogenübergangs

3.7

Komfort bei diskretem Ereignis

gekennzeichnet durch Unannehmlichkeiten infolge einer wahrgenommenen kurzzeitigen Schwingung

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 Strecke, die für den Komforttest genutzt wird

3.13

Prüfbereich

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

3.14

Fünf-Sekunden-Zeitspanne

Probenahmezeitintervall, von dem 60 den Prüfbereich bilden

3.15

Bezugssystem

das 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	[–]
Frequenzbewertung Bogen in vertikaler Richtung	W_b	[–]
Frequenzbewertung Bogen in Längsrichtung (Rückenlehne)	W_c	[–]
Frequenzbewertung Bogen 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	[–]

Tabelle 1 (fortgesetzt)

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	$\ddot{x}_M^*$	$\ddot{y}_M^*$	$\ddot{z}_M^*$
Parameter	Längsachse	Querachse	Hochachse
Translatorische Beschleunigung im Wagenkasten [m/s²]			
über dem hinteren Drehgestell	—	$\ddot{y}_{II}^*$	$\ddot{z}_{II}^*$
hinteres Ende des Fahrgastraums	—	$\ddot{y}_{EII}^*$	$\ddot{z}_{EII}^*$
am Boden, rms-Wert	a_{XP}	a_{YP}	a_{ZP}
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	—	$\ddot{y}_{P,Wp}^*$	—
Sitz, gewichtet mit W_c, W_d, W_b , rms-Wert	a_{XD}^{Wc}	a_{YA}^{Wd}	a_{ZA}^{Wb}
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert	a_{XP}^{Wd}	a_{YP}^{Wd}	a_{ZP}^{Wb}
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert, 50. Perzentil	a_{XP50}^{Wd}	a_{YP50}^{Wd}	a_{ZP50}^{Wb}
Sitz, gewichtet mit W_c, W_d, W_b , rms-Wert, 95. Perzentil	a_{XD95}^{Wc}	a_{YA95}^{Wd}	a_{ZA95}^{Wb}
Boden, gewichtet mit W_d, W_b , rms-Wert, 95. Perzentil	a_{XP95}^{Wd}	a_{YP95}^{Wd}	a_{ZP95}^{Wb}
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	—	$\ddot{y}_{1s}(t)$	—
Mittelwert über eine Sekunde, maximaler Betrag	—	$ \ddot{y}_{1s} _{\max}$	—
Winkelgeschwindigkeit im Wagenkasten [rad/s]			
Wagenkasten	$\dot{\phi}^*(t)$	—	—
gewichtetes W_p	$\dot{\phi}_{Wp}^*(t)$	—	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Parameter	Längsachse	Querachse	Hochachse
Winkelgeschwindigkeit im Wagenkasten [rad/s]			
Mittelwert über eine Sekunde	$\dot{\phi}_{1s}(t)$	—	—
Mittelwert über eine Sekunde, maximaler Betrag	$ \dot{\phi}_{1s} _{\max}$	—	—
Parameter	Längsachse	Querachse	Hochachse
Komfortkenngrößen [–]			
Mittlerer Komfort vereinfachtes Verfahren	N_{MV}		
Mittlerer Komfort vereinfachtes Verfahren, Kenngrößenanteil	N_{MVx}	N_{MVy}	N_{MVz}
Mittlerer Komfort vollständiges Verfahren, sitzender Fahrgast (VA = „voyageur assis“ im Französischen)	N_{VA}		
Mittlerer Komfort vollständiges Verfahren, stehender Fahrgast (VD = „voyageur debout“ im Französischen)	N_{VD}		
Kontinuierlicher Komfort	C_{Cx}	C_{Cy}	C_{Cz}
Komfort im Übergangsbogen	P_{CT}		
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	e	[–]	
Übertragungsfunktion			
Parameter	Symbol	Einheit	
Eckkreisfrequenzen, n = 1, 2, 3, 4, 5, 6	f_n	[Hz]	
Resonanzgütefaktoren, n = 1, 2, 3, 4	Q_n	[–]	
Verstärkungsfaktor	K	[–]	
Hochpass-Übertragungsfunktion	$H_n(f)$	[–]	
Tiefpass-Übertragungsfunktion	$H_l(f)$	[–]	
Übertragungsfunktion des Übergangs von Beschleunigung zu Geschwindigkeit	$H_t(f)$	[–]	
Übertragungsfunktion des oberen Übergangs	$H_s(f)$	[–]	

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 Fahrgastbelastung infolge Schwingungen

Durch die Beförderung in 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 — Nacken
 - 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 Übelkeit
Schwingungsübertragung	— auf den ganzen Körper über die Kontaktflächen — durch Fußbodenkontakt	— auf einzelne Körperteile — auf die Gesamtoberfläche
Versuchungsverfahren	— Definitionen — Bezugssystem — Anforderungen — Mess- und Bewertungsregeln — Berichterstattungsregeln/Berichtsleitfaden	— 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 Schwanken in niedrigen Frequenzen, Federeigenschaften und Wagenkastenschwingsformen 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, Wagenkastenschwingsformen;
- 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.

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 6 und Anhang H.

Diese Norm enthält auch die Anforderungen für die Fahrzeugbeurteilungen hinsichtlich des Fahrkomforts durch Kontinuierlichen Komfort und das vereinfachte Verfahren (N_{MV}) mit akzeptablen Abweichungen, siehe Anhang E.

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

Tabelle 3 — Bewegungsgrößen und Messstelle zur Bewertung des Fahrkomforts

	Mittlerer Komfort vereinfachte Methode	Mittlerer Komfort vollständige Methode		Kontinuierlicher Komfort	Komfort in Übergangsbögen	Komfort bei diskreten Ereignissen
Komfortkenngröße	N_{MV}	N_{VD}	N_{VA}	C_{Cx}, C_{Cy}, C_{Cz}	P_{CT}	P_{DE}
Bewegungsgröße	Beschleunigungen in drei Richtungen	Beschleunigungen in drei Richtungen		Beschleunigungen in drei Richtungen	Querbesehleuni- gung, Querruck, Rollgeschwindigkeit	Querbesehleuni- gung
Messstelle	Boden	Boden	Boden und Kontakt- flächen	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

	Mittlerer Komfort vereinfachte Methode	Mittlerer Komfort vollständige Methode	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}
Komfort für Fahr- gäste	✓	✓	✓	✓	✓
Fahrzeug- beurteilung	✓		✓	✓ (Neigetechnik)	

Alle Verfahren sind normativ. Bei Anwendungen für Durchschnittlichen Komfort gilt das für den vereinfachten Durchschnittlichen Komfort. Falls das Verfahren des vollständigen Durchschnittlichen Komforts genutzt wird, muss er zusammen mit dem Verfahren des vereinfachten Durchschnittlichen Komforts angewendet werden.

Weitere Anwendungen, bei denen es möglich ist, die unterschiedlichen Komfortkenngrößen zu nutzen, werden in Tabelle 5 gezeigt.

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

	Mittlerer Komfort vereinfachte Methode	Mittlerer Komfort vollständige Methode	Kontinuierlicher Komfort	Komfort in Übergangsbögen	Komfort bei diskreten Ereignissen
Komfortkenn- größe	N_{MV}	N_{VA}, N_{VD}	C_{Cx}, C_{Cy}, C_{Cz}	P_{CT}	P_{DE}
Trassierung des Gleises				✓	
Wartung — Gleis	✓		✓		✓
Wartung — Fahrzeug	✓		✓		

6 Mittlerer und Kontinuierlicher Komfort

6.1 Allgemeines

Der Mittlere Fahrkomfort ist in zwei Verfahren unterteilt; das vereinfachte Verfahren berücksichtigt die Fußbodenschwingungen, das vollständige Verfahren (sitzend und stehend) berücksichtigt Schwingungen des Sitzplatzes 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, um den Mittleren Komfort zu bewerten.

Diese Verfahren können an geraden und bogenreichen Streckenabschnitten angewendet werden.

ANMERKUNG 1 Vorsicht muss bei der Anwendung für Strecken mit vielen Bögen erfolgen, da die Effekte der quasistatischen Seitenbeschleunigung in Bögen durch die Frequenzbewertungsfilter ausgenommen sind. Die Verfahren sind für gerade Trassen bestätigt.

ANMERKUNG 2 Die Anwendung des vereinfachten Verfahrens ist abhängig von der Bedingung, dass die Längsschwingungen nicht exzessiv sein dürfen.

ANMERKUNG 3 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 Schwingungsmessung, -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 über eine Zeitspanne von 5 s, wodurch sich der Kontinuierliche Komfort ergibt;
- 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 Wahl der Prüfabschnitte

Die Wahl der Prüfabschnitte 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 min sein. Es sind mindestens vier Prüfabschnitte von je 5 min gefordert. Diese dürfen getrennt sein, aber jeder von ihnen muss aus einer kontinuierlichen Aufzeichnung hervorgehen.

Es wird empfohlen, die Position des Fahrzeugs entlang des Gleises während des laufenden Versuchs aufzuzeichnen.

6.4.3 Prüfgeschwindigkeit

Der Komfort des Passagiers sollte bei verschiedenen Betriebsgeschwindigkeiten des Fahrzeuges bewertet werden, so wie der Betrieb tatsächlich erfolgt oder vorgesehen ist, im Einsatz und insbesondere auch bei maximaler Betriebsgeschwindigkeit.

Zur Bewertung des Mittleren Komforts sollte die Prüfgeschwindigkeit während der 5-Minuten-Abschnitte konstant gehalten werden.

6.4.4 Rad-Schiene-Kontaktgeometrie

Der Komfort kann durch die Rad-Schiene-Kontaktgeometrie beeinflusst werden. Dieses ist besonders wichtig für die Fahrzeugbeurteilung; siehe Anhang E.

6.4.5 Fahrzeugzustand

Der Komfort wird durch die Fahrzeugmerkmale (Masse, Schwerpunkt, Trägheit, Steifigkeit, Dämpfung usw.) und durch die Position des geprüften Fahrzeugs im Zugverband beeinflusst. Die Masse, Schwerpunkt usw. sind abhängig vom Fahrzeugtyp, den installierten Ausrüstungsteilen, der Fahrgastbeladung usw.

Er wird auch von der Charakteristik der Neigetechnik beeinflusst (falls vorhanden).

Die Kupplung sollte 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 Messmethode.

6.5.2 Lage 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 in der Mitte 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; Bild 2 zeigt analog die Punkte an einem Doppelstockfahrzeug.

Je nach eingesetzter Methode und Fahrzeugtyp sind folgende Messpunkte in den Fahrgasträumen zu berücksichtigen:

- a) einstöckige Wagen:
 - 1) ein Punkt in der Mitte und ein Punkt an jedem Ende des Fahrgastraumes;
- b) Doppelstockwagen:
 - 1) ein Punkt in der Mitte und ein Punkt an jedem Ende des unteren Decks des Fahrgastraumes;
 - 2) ein Punkt in der Mitte des Oberdecks des Fahrgastraumes.

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 Untersuchungen in stehender Lage bei Nahverkehrszügen muss ein Beschleunigungsmesser ebenfalls auf dem Boden des Vorraums angebracht werden.

Weitere Messpunkte dürfen eingesetzt werden, wenn der Versuchszweck dies erforderlich macht, z. B. Messungen über dem Drehpunkt des Fahrgestells.