

DIN EN 16303

ICS 13.200; 93.080.30

Ersatzvermerk
siehe unten

**Rückhaltesysteme an Straßen –
Validierungs- und Nachweisverfahren für die Nutzung von
Computersimulationen bei Anprallprüfungen an
Fahrzeug-Rückhaltesysteme;
Deutsche Fassung EN 16303:2020**

Road restraint systems –

Validation and verification process for the use of virtual testing in crash testing against vehicle restraint system;

German version EN 16303:2020

Dispositifs de retenue routiers –

Processus de vérification et de validation pour l'utilisation d'essais virtuels dans les essais de choc contre un dispositif de retenue pour véhicules;

Version allemande EN 16303:2020

Ersatzvermerk

Ersatz für DIN CEN/TR 16303-1 (DIN SPEC 91103-1):2012-04, DIN CEN/TR 16303-2

(DIN SPEC 91103-2):2012-04, DIN CEN/TR 16303-3 (DIN SPEC 91103-3):2012-04 und DIN CEN/TR 16303-4

(DIN SPEC 91103-4):2012-04

Gesamtumfang 93 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16303:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-10-21 AA „Rückhaltesysteme (SpA zu CEN/TC 226/WG 1 und WG 10) Gemeinschaftsausschuss mit FGSV“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

Änderungen

Gegenüber DIN CEN/TR 16303-1 (DIN SPEC 91103-1):2012-04, DIN CEN/TR 16303-2 (DIN SPEC 91103-2):2012-04, DIN CEN/TR 16303-3 (DIN SPEC 91103-3):2012-04 und DIN CEN/TR 16303-4 (DIN SPEC 91103-4):2012-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) einige Symbole und Abkürzungen wurden modifiziert;
- b) der Plan für die Validierung des numerischen Fahrzeugmodells wurde aktualisiert und die Abnahmebedingungen wurden festgelegt;
- c) die Validierungsanforderungen für Computersimulationsprüfungen von Fahrzeug-Rückhaltesystemen wurden aktualisiert;
- d) die Verifizierungsbewertungskriterien für das Finite-Elemente-Modell wurden aktualisiert;
- e) die Berichtsvorlage wurde aktualisiert.

Frühere Ausgaben

DIN CEN/TR 16303-1 (DIN SPEC 91103-1): 2012-04
DIN CEN/TR 16303-2 (DIN SPEC 91103-2): 2012-04
DIN CEN/TR 16303-3 (DIN SPEC 91103-3): 2012-04
DIN CEN/TR 16303-4 (DIN SPEC 91103-4): 2012-04

Deutsche Fassung

Rückhaltesysteme an Straßen —
Validierungs- und Nachweisverfahren für die Nutzung von
Computersimulationen bei Anprallprüfungen an
Fahrzeug-Rückhaltesysteme

Road restraint systems —
Validation and verification process for the use of
virtual testing in crash testing against vehicle
restraint system

Dispositifs de retenue routiers —
Processus de vérification et de validation pour
l'utilisation d'essais virtuels dans les essais de choc
contre un dispositif de retenue pour véhicules

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. Mai 2020 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Anforderungen an ein numerisches Fahrzeugmodell	9
5.1 Modellierung	9
5.2 Prüfung des allgemeinen Verhaltens des Fahrzeugmodells	10
5.3 Prüfmethodik	10
5.4 Verifizierung	13
5.5 Berichterstattung	13
6 Anforderungen an das numerische Modell des Fahrzeug-Rückhaltesystems	14
6.1 Modellierung	14
6.2 Validierung und Verifizierung	14
6.3 Berichterstattung	14
7 Anforderungen an das numerische Modell von passiven Schutzeinrichtungen	14
7.1 Modellierung	14
7.2 Validierung und Verifizierung	15
7.3 Berichterstattung	15
8 Anforderung an die Validierung der Computersimulationsprüfung gegen den Prüfgegenstand	15
8.1 Allgemeines	15
8.2 Prüfspezifikationen	15
8.3 Vergleichstabellen	17
8.4 Berichterstattung	24
9 Anforderungen an die Verifizierung von Computersimulationsprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und passiven Schutzeinrichtungen	24
9.1 Allgemeines	24
9.2 Verifizierung des Finite-Elemente-Modells	24
9.3 Verifizierung des Mehrkörpermodells	25
9.4 Normbericht und Ausgabeparameter	25
Anhang A (normativ) Computersimulationsprüfung – Berichtsvorlage	26
A.1 Allgemeines	26
A.2 Verifizierungs- und Validierungsbericht	26
A.3 Bericht über neue Leistungen	35
Anhang B (normativ) Anforderungen an die Entität (Person/Gruppe), die Computersimulationsprüfungen durchführt und verifiziert	43
Anhang C (normativ) Validierungsverfahren eines Fahrzeugs für die Analyse einer Anprallprüfung	45
C.1 Allgemeines	45
C.2 Fahrzeug-Setup – Leerlaufprüfung (Prüfung 1.1)	45

C.3	Fahrzeugaufhängung und Lenkkinematik.....	45
C.4	Fahrzeughandhabung.....	47
C.5	Anprallverhalten des Fahrzeugs – Prüfung gegen starre Wand/starren Pfosten (Prüfung 4.1 und 4.2).....	47
Anhang D (informativ) Überlegungen zu Modellierungstechniken eines Fahrzeugs		48
D.1	Allgemeines	48
D.2	Allgemeiner Aufbau eines Fahrzeugs.....	48
D.3	Überlegungen zur Fahrzeugvalidierung	49
D.4	Schrittweise Entwicklung eines Fahrzeugs für die Analyse von Anprallprüfungen.....	51
Anhang E (informativ) Empfehlungen und Kriterien für Finite-Elemente-Fahrzeugmodelle für Computersimulationsprüfungen		52
E.1	Zu modellierende Komponenten.....	52
E.2	Gestaltung des Modells.....	55
E.3	Allgemeine Empfehlungen für die Werkstoffe von Finite-Elemente-Fahrzeugmodellen für Computersimulationsprüfungen	58
E.4	Allgemeine Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente- Fahrzeugmodellen für Computersimulationsprüfungen	59
Anhang F (informativ) Empfehlungen und Kriterien für Mehrkörper-Fahrzeugmodelle für Computersimulationsprüfungen		64
F.1	Mehrkörpermodelle.....	64
F.2	Allgemeine Anforderungen	64
F.3	Modellierungsanforderungen.....	64
F.4	Gestaltung des Modells.....	65
F.5	Allgemeine Empfehlungen für die Werkstoffe von Multikörper-Fahrzeugmodellen für Computersimulationen von Anprallprüfungen.....	77
Anhang G (informativ) Überlegungen zu Modellierungstechniken eines Fahrzeug- Rückhaltesystems		78
G.1	Allgemeines	78
G.2	Finite-Elemente-Methode und Methode der Mehrkörperdynamik.....	79
G.3	Leitfaden für die Finite-Elemente-Methode	79
G.4	Leitfaden für die Methode der Mehrkörperdynamik.....	79
G.5	Schrittweise Entwicklung eines Fahrzeug-Rückhaltesystems.....	80
G.6	Verifizierung des Modells.....	81
Anhang H (informativ) Empfehlungen und Kriterien für Finite-Elemente-Modelle von Fahrzeug- Rückhaltesystemen für Computersimulationsprüfungen.....		84
H.1	Werkstoffempfehlungen für Finite-Elemente-Modelle von Fahrzeug-Rückhaltesystemen für Computersimulationsprüfungen	84
H.2	Allgemeine Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente-Modellen von Fahrzeug-Rückhaltesystemen für Computersimulationsprüfungen	84
H.3	2D-Netzgenerierungen	84
H.4	Schweißstellen und Verbindungen.....	85
H.5	3D-Netzgenerierung – Netzeigenschaften	86
Anhang I (informativ) Empfehlungen und Kriterien für Mehrkörper-Modelle von Fahrzeug- Rückhaltesystemen für Computersimulationen von Anprallprüfungen		87
I.1	Einleitung	87
I.2	Schweißstellen und Verbindungen.....	87
I.3	Modellvalidierung.....	88
Anhang J (informativ) Versagensarten.....		89
Literaturhinweise.....		91

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16303:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2021, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2021 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt CEN/TR 16303-1:2012, CEN/TR 16303-2:2012, CEN/TR 16303-3:2012, CEN/TR 16303-4:2012 (welche zusammengeführt wurden).

Im Vergleich zu den vorhergehenden Technischen Berichten umfasst dieses Dokument folgende Änderungen:

- einige Symbole und Abkürzungen wurden modifiziert;
- der Plan für die Validierung des numerischen Fahrzeugmodells wurde aktualisiert und die Abnahmebedingungen wurden festgelegt;
- die Validierungsanforderungen für Computersimulationsprüfungen von Fahrzeug-Rückhaltesystemen wurden aktualisiert;
- die Verifizierungsbewertungskriterien für das Finite-Elemente-Modell wurden aktualisiert;
- die Berichtsvorlage wurde aktualisiert.

Anhang A, Anhang B und Anhang C sind normativ und Anhang D bis Anhang J sind informativ.

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

Einleitung

Dieses Dokument bietet eine gemeinsame Grundlage für den Einsatz von Computersimulationsprüfungen, um den Fahrzeuganprall gegen Fahrzeug-Rückhaltesysteme, darunter Schutzeinrichtungen, Anpralldämpfer, Anfangs- und Endkonstruktionen und passive Schutzeinrichtungen, in Übereinstimmung mit der Normenreihe EN 1317 (alle Teile) und mit EN 12767:2019 nachzustellen.

Dieses Dokument legt die Anforderungen an die Bestimmung des Grades fest, bis zu dem die numerischen Modelle der Fahrzeug-Rückhaltesysteme und der Fahrzeuge für die bestimmungsgemäßen Verwendungen des Modells genau der Wirklichkeit entsprechen.

In diesem Dokument wird eine Methodik festgelegt, um die durch Computersimulationen erhaltenen Ergebnisse zu validieren und die Zuverlässigkeit der Computersimulationsprüfung selbst sicherzustellen. Dies schließt auch eine Berichtsvorlage und spezifische Inhalte für allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Entitäten ein, die Computersimulationsprüfungen durchführen.

Es werden auch auf Erfahrungen beruhende allgemeine Empfehlungen für die Entwicklung numerischer Modelle von Fahrzeug-Rückhaltesystemen und Fahrzeugen für Computersimulationsprüfungen gegeben.

Zwei hauptsächliche Modellierungskonzepte wurden berücksichtigt:

- Finite-Elemente-(FE-)Methode;
- Mehrkörpermodell (MB, en: **multi-body**).

1 Anwendungsbereich¹

Dieses Dokument legt die Genauigkeit, Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse der Computersimulation von Anprallprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesysteme Straßen fest, indem Verfahren für die Verifizierung, Validierung und Entwicklung von numerischen Modellen zur Sicherung an Straßen festgelegt werden. Letztlich legt es eine Liste von Anhaltspunkten fest, wie die Kompetenzen eines Experten/einer Organisation im Bereich der Computersimulationsprüfungen sichergestellt werden.

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 1317-1:2010, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren*

EN 1317-2:2010, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzzeineinrichtungen und Fahrzeugbrüstungen*

EN 1317-3:2010, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 3: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anpralldämpfer*

ENV 1317-4:2001, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 4: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, End- und Übergangskonstruktionen von Schutzzeineinrichtungen*

EN 12767:2019, *Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung — Anforderungen und Prüfverfahren*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

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

3.1 unabhängiger Sachverständiger
qualifizierter externer Experte für Computersimulationsprüfungen mit Erfahrung bezüglich Fahrzeug-Rückhaltesystemen und/oder passiven Schutzzeineinrichtungen, der unabhängig von der durch ihn bewerteten Organisation oder dem Bauprodukt ist (siehe Anhang B)

¹ Der Anwendungsbereich dieses Dokuments schließt auch passive Sicherheitseinrichtungen mit ein.

3.2

numerisches Modell

vollständiges mathematisches 3D-Modell der Fahrzeug-Rückhaltesysteme, passiven Schutzeinrichtungen und Fahrzeuge

Anmerkung 1 zum Begriff: Gemeint ist ein numerisches Modell, das analytisch oder diskret sein kann und darauf abzielt, die grundlegenden physikalischen Phänomene eines Gegenstands zu reproduzieren.

3.3

passive Schutzeinrichtung

Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung, die in Übereinstimmung mit EN 12767:2019 geprüft wird

3.4

reale Prüfung

reale Prüfung, die in Übereinstimmung mit der entsprechenden Norm durch eine Prüfstelle ausgeführt wird

3.5

Prüfgegenstand

Einrichtung, die unter Anwendung von Computersimulationsprüfungen zu beurteilen ist

3.6

validiertes Modell

numerisches Modell der Schutzeinrichtung an Straßen oder der passiven Schutzeinrichtung oder des Fahrzeugs, das die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt, nachdem es von einem unabhängigen Sachverständigen geprüft und genehmigt wurde

3.7

Validierung

Reihe von Vorgängen, die festgelegt wurden, um zu beurteilen, ob ein numerisches Modell unter festgelegten Bedingungen als repräsentativ für ein physikalisches System oder Teil betrachtet werden kann

3.8

Fahrzeug-Rückhaltesystem

Einrichtung, die in Übereinstimmung mit EN 1317-1 und EN 1317-2, EN 1317-3 oder ENV 1317-4 geprüft wird

3.9

Verifizierung

Reihe von Vorgängen, die festgelegt wurden, um zu prüfen, ob ein numerisches Modell zuverlässig und numerisch stabil ist

3.10

Computersimulationsprüfung oder Simulationsprüfung

Vorgänge, mit denen ein numerisches Modell zur Nachstellung einer realen Prüfung und/oder zur Simulierung eines Anpralls verwendet wird

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen:

ASI	Index für die Schwere der Beschleunigung (en: Acceleration Severity Index)
CoG	Schwerpunkt (en: center of gravity)
D	dynamische Durchbiegung
D_m	bei der realen Prüfung gemessene maximale dynamische Durchbiegung, in Meter (m)
D_{m_mod}	bei der realen Prüfung mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,15$ m gemessene maximale dynamische Durchbiegung, in Meter (m)
D_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung (en: virtual test) gemessene maximale dynamische Durchbiegung, in Meter (m)
FE	Finite Elemente
FEA	Finite-Elemente-Analyse
HGV	Schwerlastkraftwagen (en: heavy goods vehicle)
LD	seitliche Verschiebung (en: lateral displacement)
LD_m	bei der realen Prüfung gemessene seitliche Verschiebung, in Meter (m)
LD_{m_mod}	bei der realen Prüfung mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,15$ m gemessene seitliche Verschiebung, in Meter (m)
LD_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessene seitliche Verschiebung, in Meter (m)
MB	Mehrkörper (en: multi-body)
MBA	Mehrkörperanalyse (en: multi-body analysis)
THIV	theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (en: Theoretical Head Impact Velocity)
TT	Typprüfung (en: Type Test)
VI	Eindringen des Fahrzeugs (en: Vehicle Intrusion)
VI_m	bei der realen Prüfung gemessenes Eindringen des Fahrzeugs, in Meter (m)
VI_{m_mod}	bei der realen Prüfung mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,15$ m gemessenes Eindringen des Fahrzeugs, in Meter (m)
VI_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessenes Eindringen des Fahrzeugs, in Meter (m)
VT	Computersimulationsprüfung (en: virtual test(ing))
W	Arbeitsbreite (en: working width)

W_m	bei der realen Prüfung gemessene Arbeitsbreite, in Meter (m)
W_{m_mod}	bei der realen Prüfung mit einer Messunsicherheit von $\pm 0,15$ m gemessene Arbeitsbreite, in Meter (m)
W_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessene Arbeitsbreite, in Meter (m)
ΔF	Kraftänderung
Δs	Änderung der Verschiebung

5 Anforderungen an ein numerisches Fahrzeugmodell

5.1 Modellierung

Es muss ein vollständiges numerisches 3D-Modell eines realen Prüffahrzeugs in Übereinstimmung mit EN 1317-1:2010 bzw. EN 12767:2019, je nach Relevanz, erstellt werden. Die Geometrie des Fahrzeugs und alle Trägheitseigenschaften müssen genau wiedergegeben werden. Das numerische Modell muss mindestens Folgendes umfassen:

- Fahrzeugrahmen;
- Karosserie;
- Radaufhängungssysteme, vorne und hinten;
- Räder;
- Lenksystem;
- Fenster;
- Motorblock;
- Ballast.

Die Fahrzeugspezifikationen unter Prüfbedingungen müssen je nach Relevanz EN 1317-1:2010, Tabelle 1, und EN 12767:2019, 5.3 entsprechen.

Das Fahrzeug muss mindestens mit einem Beschleunigungsaufnehmer für die Messung in Längsrichtung (vorwärts), einem für die Messung in seitlicher Richtung (seitwärts), einem für die Messung in vertikaler Richtung (abwärts) und einem Winkelgeschwindigkeitsmesser (Drehratensensor) ausgestattet sein. Die Beschleunigungsaufnehmer müssen nach EN 1317-1:2010 angebracht werden. Die von diesem Beschleunigungsaufnehmer angezeigten Fahrzeugbeschleunigungen müssen für die Berechnung der Schwereindizes nach EN 1317-1:2010 eingesetzt werden.

Mit dem Modell muss es möglich sein, die in der Typprüfung beobachtete vergleichbare Verformung wiederzugeben.

5.2 Prüfung des allgemeinen Verhaltens des Fahrzeugmodells

Für die Validierung des numerischen Fahrzeugmodells müssen Prüfungen nach diesem Dokument durchgeführt, vergleichbare Parameter gemessen und die Ergebnisse vollständig dokumentiert werden.

Die Validierungsprüfungen, die durchgeführt werden müssen, um die numerische Stabilität und Fähigkeit des numerischen Modells sicherzustellen, sind in Kategorien eingeteilt, die sich auf das Fahrzeugsetup, die Kinematik der Fahrzeugaufhängung und -lenkung, die Handhabung und das Anprallverhalten beziehen.

5.3 Prüfmethodik

5.3.1 Allgemeines

Das Ziel der folgenden Analyse ist es, die Stabilität und Robustheit des Fahrzeugmodells und den Grad der Zuverlässigkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Das Finite-Elemente-Modell und das Mehrkörper-Fahrzeugmodell müssen mit denselben Anforderungen und Abweichungsgrenzen validiert werden.

Dieses Verfahren besteht aus einer festen Anzahl an Pflichtprüfungen und einer Reihe von zusätzlichen Prüfungen, die abhängig von der beabsichtigten Verwendung des Modells durchgeführt werden können.

Damit das Fahrzeugmodell als validiert gelten kann, müssen alle Pflichtprüfungen für die festgelegte Zeitdauer ohne Fehlerabbrüche abgeschlossen worden sein.

Im Allgemeinen muss die Prüfung durchgeführt werden, wenn die Fahrzeugentwicklung abgeschlossen ist. Änderungen erfordern eine erneute Durchführung einiger oder sämtlicher Prüfungen.

In besonderen Situationen, in denen Anforderungen dieses Dokuments nicht erfüllt werden können, müssen Abweichungen von den Regeln angegeben werden, und die Beweggründe müssen erläutert und dann von einem unabhängigen Sachverständigen geprüft und genehmigt werden (siehe Anhang B). Diese Ausnahmen dürfen nur durch technische und nicht durch wirtschaftliche Gründe begründet sein. Eine Ausnahme kann beispielsweise sein, dass die Messung in einer realen Prüfung nicht konsistent wiederholt werden kann.

5.3.2 Beschreibung der Prüfung

5.3.2.1 Pflichtprüfung

Die Prüfungen sind in vier Gruppen unterteilt:

- Gruppe 1 – Fahrzeug-Setup;
- Gruppe 2 – Radaufhängung und Lenkinematik des Fahrzeugs;
- Gruppe 3 – Fahrzeughandhabung;
- Gruppe 4 – Anprallverhalten des Fahrzeugs.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Prüfungen müssen durchgeführt werden, um die Fahrzeugvalidierung abzuschließen.

Die Tabelle enthält Angaben zum Prüfungsumfang, zu den bereitzustellenden Ergebnissen und den Abnahmebedingungen (Abweichungsgrenzen).

Tabelle 1 — Fahrzeugvalidierungsplan – Pflichtprüfungen

Gruppe 1 – Fahrzeugsetup		
Prüfung 1.1 – Leerlaufprüfung (beschrieben in C.2)		
Umfang: Nachweis der Stabilität des Fahrzeugmodells und Überprüfung des allgemeinen Setups im Stand	nachzuweisende Ergebnisse: — Beschleunigungszeit (gefiltert: Filterklasse CFC60); — Zeitverlauf der Radaufhängungsbewegungen.	Abweichungsgrenzen: — Gefilterte Beschleunigungen: $a < \pm 3,0 \times 9,81 \text{ m/s}^2$; — Radaufhängungsbewegung: $\Delta s < 20 \text{ mm}$ bei allen Fahrzeugen, ausgenommen Schwerlastkraftwagen mit einer Masse von 38 t; $\Delta s < 80 \text{ mm}$ bei Schwerlastkraftwagen mit einer Masse von 38 t.
Gruppe 2 – Radaufhängung und Lenkkinematik des Fahrzeugs		
Prüfung 2.1 – Isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Kompression (beschrieben in C.3.1)		
Umfang: Nachweis der Radaufhängungs-kinematik und der Leistungsfähigkeit im belasteten und unbelasteten Zustand	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen Eingangskurven und Ansprechverhalten; — Ermittlung der maximalen Kompression der Radaufhängung.	Abweichungsgrenzen: — zulässige Abweichung zwischen Eingangskurven und Ansprechverhalten: $\Delta F < 0,05 \times F^0$. Dabei ist F^0 die Aufhängungskraft im Stand, Verschiebung $s^0 = 0 \text{ mm}$ (siehe Bild F.7 und Bild F.8).
Prüfung 2.2 – Isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Ausdehnung (beschrieben in C.3.1)		
Umfang: Nachweis der Radaufhängungs-kinematik und der Leistungsfähigkeit im belasteten Zustand	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen Eingangskurven und Ansprechverhalten; — Ermittlung der maximalen Ausdehnung der Radaufhängung.	Abweichungsgrenzen: — zulässige Abweichung zwischen Eingangskurven und Ansprechverhalten: $\Delta F < 0,05 \times F^0$. Dabei ist F^0 die Aufhängungskraft im Stand, Verschiebung $s^0 = 0 \text{ mm}$ (siehe Bild F.7 und Bild F.8).
Prüfung 2.3 – Isoliertes Lenksystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Drehbewegung nach beiden Seiten (beschrieben in C.3.2)		
Umfang: Verifizierung der Lenkkinematik	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen linkem und rechtem Radlenkwinkel (Zeit-Winkel-Kurven); — Ermittlung des maximalen Lenkwinkels bei schlupffreiem Rollen der Räder.	Abweichungsgrenzen: — Verifizierung des Ackermann-Prinzips (beschrieben in E.1.5 und Bild E.2).

Gruppe 3 – Fahrzeughandhabung		
Prüfung 3.1 – Prüfung auf linearer Strecke (beschrieben in C.4.1)		
Umfang: Nachweis des allgemeinen Verhaltens des Fahrzeugs (Lenk- und Radaufhängungssystem) und seiner Fahrfähigkeit Das Modell muss der linearen Bahnkurve etwa 1,0 s folgen können.	nachzuweisende Ergebnisse: — grafische Darstellung der Bahnkurve; — Energiebilanz im Zeitverlauf.	Abweichungsgrenzen: — Verfolgung der linearen Bahnkurve für mindestens 1,0 s bei maximaler Geschwindigkeit; — Zulässige Abweichung Δs_0 von der linearen Bahnkurve mit der Länge L_t: $\Delta s_0 < 0,1 \times L_t$
Prüfung 3.2 – Prüfung auf kurvenförmiger Strecke (beschrieben in C.4.2)		
Umfang: Nachweis des Verhaltens des Fahrzeugs (Lenk- und Radaufhängungssystem) und seiner Lenkfähigkeit unter einer aufgebrachten Belastung oder durch Drehung des Lenkrads und Rückkehr des Fahrzeugs in die Neutralstellung (ohne Lenken), nachdem die Kraft aufgehoben wurde oder wenn sich das Lenkrad in der Neutralstellung befindet Das Modell muss der kurvenförmigen Bahnkurve etwa 1,0 s folgen können.	nachzuweisende Ergebnisse: — grafische Darstellung der Bahnkurve; — Energiebilanz im Zeitverlauf.	Abweichungsgrenzen (mit einer Geschwindigkeit von 30 % der Prüfgeschwindigkeit): — die Lenkung muss eingeschlagen werden, bis das Fahrzeug seine Richtung um mindestens 20° geändert hat; — nach Erreichen von 20° muss das Modell der linearen Bahnkurve für etwa 1,0 s folgen, bei einem annehmbaren Abweichungswinkel von $\Delta\beta < \pm 5^\circ$; — und wenn die Lenkung aufgehoben wird, muss die Bahnkurve eine gerade Linie erreichen.
Prüfung 3.3 – Schwellenprüfung (beschrieben in C.4.3)		
Umfang: Nachweis des dynamischen Verhaltens der Radaufhängung und der allgemeinen Robustheit des Modells, um die Dämpfung der Radaufhängung zu zeigen	nachzuweisende Ergebnisse: — Änderung der Federaufhängung in einer Längen-Zeit-Kurve; — Zeitverläufe der kinetischen und der Gesamtenergie.	Abweichungsgrenzen: — beim Fall von einer Schwellenhöhe von $\Delta H = 80$ mm mit einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 25 km/h muss die Schwingung der Längen-Zeit-Kurve in 2 Zyklen auf 50 % des ersten Spitzenwerts gedämpft werden.

Gruppe 4 – Anprallverhalten des Fahrzeugs		
Prüfung 4.1 – gegen starre Wand (EN 1317-2:2010) (beschrieben in C.5)		
Umfang: Nachweis der Fähigkeit, starke Verformungen auszuhalten. Prüfung der Kontaktfestlegung	nachzuweisende Ergebnisse: — Analysen nach dem Anprall (Schwereindizes für Pkw); — Zeitverläufe der kinetischen und der Gesamtenergie.	Abweichungsgrenzen: — Grenzübergang der Schwereindizes nach 8.3.8; — Gesamtenergieverlust < 10 %.
Prüfung 4.2 – Frontanprallprüfung (EN 12767:2019, EN 1317) (beschrieben in C.5)		
Umfang: sicherstellen, dass die Frontcharakteristiken des Prüffahrzeugs innerhalb einer festgelegten Spanne liegen	nachzuweisende Ergebnisse: — Geschwindigkeitszeitverläufe.	Abweichungsgrenzen: — Abweichungsgrenzen nach EN 12767:2019, Abschnitt 6 und Abschnitt 7.

Eine ausführlichere Beschreibung der Prüfung ist in den Leitfäden in Anhang C angegeben.

Falls eine der oben aufgeführten Computersimulationsprüfungen für die durchzuführende Analyse nicht maßgeblich ist, muss die Entität, die die Computersimulationsprüfung durchführt, ihre Beweggründe im abschließenden Validierungsbericht erläutern, und diese Beweggründe müssen von einem unabhängigen Sachverständigen geprüft und genehmigt werden.

Die in Gruppe 2 definierten Prüfungen sind nur für neue Fahrzeugmodelle vorgeschrieben, nicht für weitere Überarbeitungen von bestehenden validierten Modellen. Einige geringfügige Änderungen (z. B. Masse) können unter Umständen ohne weitere Prüfungen akzeptiert werden, wenn sie erläutert werden (siehe Anhang A, Computersimulationsprüfung – Berichtsvorlage).

5.3.2.2 Zusätzliche Prüfung

Es könnten zusätzliche Prüfungen durchgeführt werden, um Funktionen des Fahrzeugs zu bewerten, die durch die Prüfungen in Tabelle 1 nicht bewertet werden, beispielsweise im Zusammenhang mit dem Versagen der Radaufhängung (mithilfe einer Prüfung, die den „Prüfungen der isolierten Radaufhängung“ ähnelt) oder einer Verformung der Fahrzeugfront.

5.4 Verifizierung

Für die Verifizierung des numerischen Fahrzeugmodells müssen die in 5.3.2 festgelegten Anforderungen erfüllt werden.

5.5 Berichterstattung

Alle Prüfungen müssen im Bericht zur Verifizierung und Validierung des Fahrzeugmodells dokumentiert werden (siehe Anhang A).

Falls die Fahrzeugmodelle modifiziert werden, muss das validierte Fahrzeugmodell als Grundlage erwähnt werden (Berichtsverweisung auf den Validierungsbericht für das Fahrzeugmodell) und alle Änderungen müssen ausführlich beschrieben werden.

6 Anforderungen an das numerische Modell des Fahrzeug-Rückhaltesystems

6.1 Modellierung

Es muss ein vollständiges numerisches 3D-Modell des Fahrzeug-Rückhaltesystems erstellt werden. Die Geometrie des Fahrzeug-Rückhaltesystems und alle Trägheitseigenschaften müssen genau nach den Referenzzeichnungen des Prüfgegenstands wiedergegeben werden. Das numerische Modell muss Folgendes umfassen:

- Komponenten der Schutzeinrichtung;
- Komponentenverbindungen;
- Fixierung am Unterbau/an der Verankerung;
- Boden (Erde, Asphalt, Beton);
- Randbedingungen (z. B. befestigte Anfangs- und Endkonstruktionen oder Schutzeinrichtungen).

6.2 Validierung und Verifizierung

Das Modell des Fahrzeug-Rückhaltesystems muss durch eine Computersimulation verifiziert werden, die die Schwerkraftbedingungen berücksichtigt. Die Validierungs- und Verifizierungsprüfung sollte die gleiche Simulationszeit abdecken, die für die in Abschnitt 8 beschriebene reale Prüfung verwendet wird.

Die Verifizierungsanforderungen in Tabelle 9 für FEA und Tabelle 10 für MBA müssen mindestens für die oben beschriebene Verifizierungsprüfung erfüllt werden.

6.3 Berichterstattung

Die Modellierung und Verifizierung des Fahrzeug-Rückhaltesystems muss ausführlich in Übereinstimmung mit der Berichtsvorlage in Anhang A beschrieben werden.

7 Anforderungen an das numerische Modell von passiven Schutzeinrichtungen

7.1 Modellierung

Es muss ein vollständiges numerisches 3D-Modell der passiven Schutzeinrichtung erstellt werden. Die Geometrie der passiven Schutzeinrichtung und alle Trägheitseigenschaften müssen originalgetreu nach den Referenzzeichnungen des Prüfgegenstands wiedergegeben werden. Das numerische Modell muss Folgendes umfassen:

- Komponenten der Schutzeinrichtung;
- Komponentenverbindungen;
- Fixierung am Unterbau/an der Verankerung;
- Boden (Erde, Asphalt, Beton);
- Randbedingungen.

7.2 Validierung und Verifizierung

Das Modell der passiven Schutzeinrichtung muss mit einer Computersimulation verifiziert werden, die die Schwerkraftbedingungen berücksichtigt. Die Validierungs- und Verifizierungsprüfung sollte die gleiche Simulationszeit abdecken, die für die in Abschnitt 8 beschriebene reale Prüfung verwendet wird.

Die Verifizierungsanforderungen in Tabelle 9 für FEA und Tabelle 10 für MBA müssen mindestens für die oben beschriebene Verifizierungsprüfung erfüllt werden.

7.3 Berichterstattung

Die Modellierung, Verifizierung und Validierung der passiven Schutzeinrichtung muss ausführlich in Übereinstimmung mit der Berichtsvorlage in Anhang A beschrieben werden.

8 Anforderung an die Validierung der Computersimulationsprüfung gegen den Prüfgegenstand

8.1 Allgemeines

Damit das numerische Modell validiert werden kann, muss die Computersimulationsprüfung der Typprüfung entsprechen, die ausgeführt wird, um die Leistungsstufen von Fahrzeug-Rückhaltesystemen zu bewerten.

Die Computersimulationsprüfung muss mit der gleichen Masse, der gleichen Geschwindigkeit und dem gleichen Winkel durchgeführt werden wie in der Typprüfung.

Alle Abweichungen von den realen Prüfeinstellungen müssen ausführlich beschrieben und begründet werden (z. B. vereinfachte Randbedingungen für Anfangs- und Endkonstruktionen).

8.2 Prüfspezifikationen

8.2.1 Schutzeinrichtungen

8.2.1.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen nach den in EN 1317-2:2010, Tabelle 1 angegebenen Kriterien durchgeführt werden.

Typ und Merkmale der Fahrzeuge sind in EN 1317-1:2010, 5.2 beschrieben.

8.2.1.2 Aufhaltestufe

Die Prüfungen müssen in Übereinstimmung mit den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-2:2010, Abschnitt 4 und Abschnitt 5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.1.3 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5, Abschnitt 6, Abschnitt 7 und Abschnitt 8 und in EN 1317-2:2010, Abschnitt 4 und Abschnitt 5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.1.4 Verformung der Schutzeinrichtung

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-2:2010, 3.5, Abschnitt 4 und Abschnitt 5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.2 Anpralldämpfer

8.2.2.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen nach den in EN 1317-3:2010, Tabelle 1 angegebenen Kriterien durchgeführt werden.

Typ und Merkmale der Fahrzeuge sind in EN 1317-1:2010, 5.2 beschrieben.

8.2.2.2 Rückhaltekategorie

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 5.3 und 5.6 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.2.3 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5, Abschnitt 6, Abschnitt 7 und Abschnitt 8 und in EN 1317-3:2010, 6.4 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.2.4 Verformung des Anpralldämpfers

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 6.5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.2.5 Umleitungszone für Fahrzeuge

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 6.3 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.3 Anfangs- und Endkonstruktionen

8.2.3.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen nach den in ENV 1317-4:2001, Tabelle 1 angegebenen Kriterien durchgeführt werden.

Typ und Merkmale der Fahrzeuge sind in EN 1317-1:2010, 5.2 beschrieben.

8.2.3.2 Rückhaltekategorie

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.1 und 5.2 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.3.3 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5, Abschnitt 6, Abschnitt 7 und Abschnitt 8 und in ENV 1317-4:2001, 5.3 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.3.4 Verformung von Anfangs- und Endkonstruktionen

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.4 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.3.5 Umleitungszone für Fahrzeuge

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.5.3 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4 Passive Schutzeinrichtung

8.2.4.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen nach den in EN 12767:2019 angegebenen Kriterien durchgeführt werden.

Typ und Merkmale der Fahrzeuge sind in EN 1317-1:2010, 5.2 und EN 12767:2019, 5.3 beschrieben.

8.2.4.2 Prüfverfahren

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, Abschnitt 7 und Anhang A und Anhang B angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.3 Gelöste Elemente und Eindringen

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, 8.3.3 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.4 Fahrzeugverhalten

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, 8.4 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.5 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5, Abschnitt 6, Abschnitt 7 und Abschnitt 8 und in EN 12767:2019, 8.5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.6 Energieabsorptionskategorien

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, A.3 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.7 Klassen der Insassensicherheit

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, A.4 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.4.8 Zusätzliche Anforderungen an Träger- und Verkehrszeichenbrücken

Die Prüfungen müssen nach den in EN 12767:2019, 6.2.7 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.3 Vergleichstabellen

8.3.1 Allgemeines

Die Computersimulationsprüfung muss mit der entsprechenden realen Prüfung verglichen werden. Zur Validierung des Modells müssen die in den folgenden Unterabschnitten festgelegten Anforderungen erfüllt und im Validierungsbericht dokumentiert werden.

In besonderen Situationen, in denen Anforderungen dieses Dokuments nicht erfüllt werden können, müssen Abweichungen von den Regeln angegeben werden, und die Beweggründe müssen erläutert und dann von einem unabhängigen Sachverständigen geprüft und genehmigt werden (siehe Anhang B). Diese Ausnahmen

dürfen nur durch technische und nicht durch wirtschaftliche Gründe begründet sein. Eine Ausnahme kann beispielsweise sein, dass die Messung in einer realen Prüfung nicht konsistent wiederholt werden kann.

Die Übereinstimmung mit der realen Prüfung und den allgemeinen Anforderungen muss wie in Tabelle 2 bis Tabelle 5 angegeben dokumentiert werden.

„Ja“ ist anzukreuzen, wenn Übereinstimmung zwischen der Computersimulationsprüfung und der realen Prüfung besteht; wenn ein Kriterium festgelegt ist, bedeutet „ja“, dass das Kriterium erfüllt ist.

Tabelle 2 muss für Schutzeinrichtungen, Tabelle 3 für Anpralldämpfer, Tabelle 4 für Anfangs- und Endkonstruktionen und Tabelle 5 für passive Sicherheitseinrichtungen verwendet werden.

Tabelle 2 — Vergleichstabelle – Schutzeinrichtungen

Qualitative Validierungsanforderungen – kritisches Verhalten des Prüffahrzeugs und des Prüfgegenstands	Stimmt VT mit dem Ergebnis der realen Prüfung überein?
Sicherheitsstufe (EN 1317-2:2010, 3.5 und Abschnitt 4)	Ja/Nein
Überschlag (EN 1317-2:2010, 4.3)	Ja/Nein
Abprallbereich (Exit Box) (EN 1317-2:2010, 4.3)	Ja/Nein
Radbahnkurve (EN 1317-2:2010, 4.3)	Ja/Nein
Versagen von Längselementen	Ja/Nein
Versagensarten	Ja/Nein
Eindringen von Teilen des Prüfgegenstands in das Fahrzeug	Ja/Nein
Quantitative Validierungsanforderungen – wesentliche Merkmale	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der dynamischen Verformung (8.3.3)	Ja/Nein
Kriterium der Arbeitsbreite (8.3.4)	Ja/Nein
Kriterium für das Eindringen des Fahrzeugs (8.3.5)	Ja/Nein

Tabelle 3 — Vergleichstabelle – Anpralldämpfer

Qualitative Validierungsanforderungen – kritisches Verhalten des Prüffahrzeugs und des Prüfgegenstands	Stimmt VT mit dem Ergebnis der realen Prüfung überein?
Sicherheitsstufe (EN 1317-3:2010, 5.3 und 5.6)	Ja/Nein
Überschlag (EN 1317-3:2010, 6.3)	Ja/Nein
Umleitungszone (EN 1317-3:2010, 6.3)	Ja/Nein
Versagen von Längselementen	Ja/Nein
Versagensarten	Ja/Nein
Eindringen von Teilen des Anpralldämpfers in das Fahrzeug	Ja/Nein
Quantitative Validierungsanforderungen – wesentliche Merkmale	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der seitlichen Verschiebungen (8.3.6)	Ja/Nein

Tabelle 4 — Vergleichstabelle – Anfangs- und Endkonstruktionen

Qualitative Validierungsanforderungen – kritisches Verhalten des Prüffahrzeugs und des Prüfgegenstands	Stimmt VT mit dem Ergebnis der realen Prüfung überein?
Sicherheitsstufe (ENV 1317-4:2001, 5.1 und 5.2)	Ja/Nein
Überschlag (ENV 1317-4:2001, 5.5.3)	Ja/Nein
Umleitungszone (ENV 1317-4:2001, 5.5.3)	Ja/Nein
Versagen von Längselementen	Ja/Nein
Versagensarten	Ja/Nein
Eindringen von Teilen der Anfangs- und Endkonstruktion in das Fahrzeug	Ja/Nein
Quantitative Validierungsanforderungen – wesentliche Merkmale	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der seitlichen Verschiebungen (8.3.6)	Ja/Nein

Tabelle 5 — Vergleichstabelle – Passive Sicherheitseinrichtungen

Qualitative Validierungsanforderungen – kritisches Verhalten des Prüffahrzeugs und des Prüfgegenstands	Stimmt VT mit dem Ergebnis der realen Prüfung überein?
Geschwindigkeitsklasse (EN 12767:2019, 7.4)	Ja/Nein
Überschlag	Ja/Nein
Energieabsorptionskategorie (EN 12767:2019, A.3)	Ja/Nein
Insassensicherheitsklasse (EN 12767:2019, 8.5)	Ja/Nein
Eindringen	Ja/Nein
Versagensmodi (EN 12767:2019, 8.3.2)	Ja/Nein

Die vorstehenden Tabellen müssen Teile des Verifizierungs- und Validierungsberichts sein, siehe Anhang A.

ANMERKUNG Anhang J enthält eine Beschreibung der Versagensarten.

8.3.2 Zusätzliche Vergleichstabelle für Pkw

Wenn die Computersimulationsprüfung und die reale Prüfung an einem Pkw durchgeführt werden, müssen zusätzliche Parameter verglichen werden, um die Qualität der Computersimulationsprüfung zu beurteilen. Daher erfordert der Validierungsprozess zusätzliche Kriterien, die in Tabelle 6 beschrieben sind. „Ja“ ist anzukreuzen, wenn Übereinstimmung zwischen der Computersimulationsprüfung und der realen Prüfung besteht.

Tabelle 6 — Zusätzliche Vergleichstabelle

Kriterien	Stimmt VT mit dem Ergebnis der realen Prüfung überein?
Kriterium für ASI (8.3.8)	Ja/Nein
Kriterium für THIV (8.3.8)	Ja/Nein
Kriterien für Zeitverläufe (8.3.9)	Ja/Nein

Die vorstehenden Tabellen müssen Teile des abschließenden Verifizierungs- und Validierungsberichts sein, siehe Anhang A.

8.3.3 Dynamische Verformung der Schutzeinrichtung

Die dynamische Verformung (D_m) aus der realen Prüfung muss mit derjenigen verglichen werden, die in der Computersimulationsprüfung berechnet wird (D_{VT}).

Die Differenz zwischen den beiden dynamischen Verformungen muss geringer sein als der mit der nachstehenden Gleichung berechnete Wert:

für die Anprallprüfung TB 11:

$$|D_m - D_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (D_m)) \quad (1)$$

für andere Prüfungen:

$$|D_m - D_{VT}| \leq (0,1 + 0,1 \times (D_m)) \quad (2)$$

Dabei ist

D_m die dynamische Verformung (in Meter [m]) der realen Schutzeinrichtung (Ergebnisse der Anprallprüfung), nicht normalisiert;

D_{VT} die dynamische Verformung (in Meter [m]) der Computersimulationsprüfung, mit der die reale Anprallprüfung nachgestellt wird.

Falls D_m nicht aus Hochgeschwindigkeitsfotos oder -videos evaluiert werden kann, werden die Gleichung (1) und Gleichung (2) wie folgt mit einer Grenzabweichung von 0,15 m modifiziert:

für die Anprallprüfung TB 11:

$$|D_{m_mod} - D_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (D_{m_mod})) \quad (3)$$

für andere Prüfungen:

$$|D_{m_mod} - D_{VT}| \leq (0,1 + 0,1 \times (D_{m_mod})) \quad (4)$$

Dabei ist

$$D_{m_mod} = D_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (5)$$

8.3.4 Arbeitsbreite der Schutzeinrichtung

Die Arbeitsbreite (W_m) aus der realen Prüfung muss mit derjenigen verglichen werden, die in der Computersimulationsprüfung berechnet wird (W_{VT}).

Die Differenz zwischen den beiden Arbeitsbreiten muss geringer sein als der mit der nachstehenden Gleichung berechnete Wert:

für die Anprallprüfung TB 11:

$$|W_m - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (D_m)) \quad (6)$$

für andere Prüfungen:

$$|W_m - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,1 \times (D_m)) \quad (7)$$

Dabei ist

- W_m die Arbeitsbreite (in Meter [m]) der realen Schutzeinrichtung (Ergebnisse der Anprallprüfung), nicht normalisiert;
- W_{VT} die Arbeitsbreite (in Meter [m]) der Computersimulationsprüfung, mit der die reale Anprallprüfung nachgestellt wird;
- D_m die dynamische Verformung der realen Schutzeinrichtung (Ergebnis der Anprallprüfung), in Meter (m), nicht normalisiert.

Falls W_m nicht aus Hochgeschwindigkeitsfotos oder -videos evaluiert werden kann, werden die Gleichung (6) und Gleichung (7) wie folgt mit einer Grenزابweichung von 0,15 m modifiziert:

für die Anprallprüfung TB 11:

$$|W_{m_mod} - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (D_{m_mod})) \quad (8)$$

für andere Prüfungen:

$$|W_{m_mod} - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,1 \times (D_{m_mod})) \quad (9)$$

Dabei ist

$$D_{m_mod} = D_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (10)$$

$$W_{m_mod} = W_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (11)$$

8.3.5 Eindringen des Fahrzeugs in die Schutzeinrichtung

Das Eindringen des Fahrzeugs (VI_m) aus der realen Prüfung, das entsprechend den Angaben in EN 1317-2:2010, 3.5 nur für Busse und Schwerlastkraftwagen berechnet wird, muss mit demjenigen verglichen werden, das in der Computersimulationsprüfung berechnet wird (VI_{VT}).

Die Differenz zwischen den beiden Eindringvorgängen des Fahrzeugs muss geringer sein als der mit der nachstehenden Gleichung berechnete Wert:

$$|VI_m - VI_{VT}| \leq (0,3 + 0,1 \times (D_m)) \quad (12)$$

Dabei ist

VI_m das Eindringen des Fahrzeugs (in Meter [m]) in die reale Schutzeinrichtung (Ergebnis der Anprallprüfung), nicht normalisiert;

VI_{VT} das Eindringen des Fahrzeugs (in Meter [m]) aus der Computersimulationsprüfung, mit der die reale Anprallprüfung nachgestellt wird;

D_m die dynamische Verformung der realen Schutzeinrichtung (Ergebnis der Anprallprüfung), in Meter (m), nicht normalisiert.

Falls VI_m nicht aus Hochgeschwindigkeitsfotos oder -videos evaluiert werden kann, wird die Gleichung (12) wie folgt mit einer Grenzabweichung von 0,15 m modifiziert:

$$|VI_{m_mod} - VI_{VT}| \leq (0,3 + 0,1 \times (D_{m_mod})) \quad (13)$$

Dabei ist

$$D_{m_mod} = D_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (14)$$

$$VI_{m_mod} = VI_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (15)$$

8.3.6 Seitliche Verschiebungen von Anpralldämpfern und Anfangs- und Endkonstruktionen

Die seitliche Verschiebung LD_m von Anpralldämpfern und Anfangs- und Endkonstruktionen aus der realen Prüfung muss mit derjenigen verglichen werden, die in der Computersimulationsprüfung berechnet wird (LD_{VT}).

Die Differenz zwischen den beiden seitlichen Verschiebungen muss geringer sein als der mit der nachstehenden Gleichung berechnete Wert:

$$|LD_m - LD_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (LD_m)) \quad (16)$$

Dabei ist

LD_m die seitliche Verschiebung (in Meter [m]) der realen Schutzeinrichtung (Ergebnis der Anprallprüfung);

LD_{VT} die seitliche Verschiebung (in Meter [m]) des numerischen Modells, mit dem die tatsächliche Anprallprüfung nachgestellt wird.

Falls LD_m nicht aus Hochgeschwindigkeitsfotos oder -videos evaluiert werden kann, wird die Gleichung (16) wie folgt mit einer Grenzabweichung von 0,15 m modifiziert:

$$|LD_{m_mod} - LD_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (LD_{m_mod})) \quad (17)$$

Dabei ist

$$LD_{m_mod} = LD_m \pm 0,15 \text{ m} \quad (18)$$

8.3.7 Vergleich zwischen endgültigen Verformungen des Prüfgegenstands

Die endgültigen Verformungen der geprüften und der simulierten Fahrzeug-Rückhaltesysteme müssen verglichen und dokumentiert werden.

8.3.8 Schwereindizes

EN 1317-1:2010 legt Verfahren zur Berechnung von Werten für Schwereindizes fest, wenn ein Pkw in einer Anprallprüfung zur Abnahme von Einrichtungen an Straßen verwendet wird. Das ermöglicht den Vergleich dieser Indizes im Rahmen des Validierungsverfahrens einer Computersimulationsprüfung.

Die Grenzabweichung für ASI ist in Tabelle 7 festgelegt.

Tabelle 7 — Grenzabweichung für ASI

	Grenzabweichung	Maximale Zeit für ASI
ASI	$\pm 0,1$	$\pm 0,05 \text{ s}$

Die Grenzabweichung für THIV ist in Tabelle 8 festgelegt.

Tabelle 8 — Grenzabweichung für THIV

	Grenzabweichung	Zeitverschiebung
THIV	$\pm 3 \text{ km/h}$	$\pm 0,05 \text{ s}$

ASI und THIV sind die nach EN 1317-1:2010 gerundeten Werte.

8.3.9 Zeitverläufe von Fahrzeugbewegungen

Die Validierung muss auch auf dem Zeitverlauf nach dem folgenden Verfahren beruhen.

Der Vergleich beruht auf längsgerichteten und quergerichteten Komponenten (in Bezug auf den Prüfgegenstand) der Geschwindigkeit des Fahrzeugs bei ebener Bewegung im Gierwinkel.

Die Computersimulationsprüfung wird als validiert betrachtet, wenn die folgenden Anforderungen erfüllt sind:

- Die numerischen längsgerichteten und quergerichteten Komponenten der Geschwindigkeit in Bezug auf den Prüfgegenstand verbleiben innerhalb eines Zeitfensters, das um die physikalischen Geschwindigkeitskomponenten herum vorhanden ist, bis die zeitlich am weitesten entfernte Komponente innerhalb der maximalen ASI-Zeit und der Laufzeit erreicht ist.

Die Abweichungsgrenzen für das Zeitfenster sind: $\pm 4\%$ der ursprünglichen resultierenden Geschwindigkeit und zeitlich $\pm 0,01$ s.

Bei Frontalprüfungen mit Anpralldämpfern, Anfangs- und Endkonstruktionen (Methode 1 und Methode 2) und passiven Schutzeinrichtungen basiert der Vergleich nur auf einer allgemein resultierenden Geschwindigkeit.

- Der numerische Gierwinkel des Fahrzeugs verbleibt innerhalb eines Zeitfensters, das um den physikalischen Gierwinkel herum vorhanden ist, bis die zeitlich am weitesten entfernte Komponente innerhalb der maximalen ASI-Zeit und der Laufzeit erreicht ist.

Die Abweichungsgrenzen für das Zeitfenster sind: $\pm 2,5^\circ$ des Gierwinkels und zeitlich $\pm 0,01$ s.

8.4 Berichterstattung

Der Validierungsstatus einschließlich Stärken und Schwächen der Computersimulationsprüfung und des numerischen Modells muss ausführlich entsprechend der Berichtsvorlage in Anhang A beschrieben werden.

Um die Bedingungen der Computersimulationsprüfung und der tatsächlichen Prüfung zu vergleichen, müssen die Anprallgeschwindigkeit, der Anprallwinkel und Anprallpunkt im Validierungsbericht und im Bericht über neue Leistungen dokumentiert werden (siehe Anhang A). Außerdem muss die Interaktion zwischen Fahrzeug und Fahrzeug-Rückhaltesystem ausführlich beschrieben werden. Wichtige Modellparameter müssen dokumentiert und begründet werden.

Um die Fähigkeit der numerischen Modelle und die Zuverlässigkeit der Simulationsergebnisse bewerten zu können, müssen alle wichtigen Grenzen ausführlich beschrieben werden. Verschiedene Modellierungstechniken, Vereinfachungen und Modellannahmen könnten einige Bewertungen einschränken oder ausschließen (z. B. wenn kein Dummy im Fahrzeugmodell implementiert ist, kann der Dummy-Kontakt mit dem Fahrzeuggückhaltesystem nicht vorhergesagt werden).

9 Anforderungen an die Verifizierung von Computersimulationsprüfungen an Fahrzeug-Rückhaltesystemen und passiven Schutzeinrichtungen

9.1 Allgemeines

Falls die Verifizierungskriterien den in 8.3 beschriebenen Abweichungsgrenzen nicht gerecht werden, muss die Entität, die die Computersimulationsprüfung durchführt, ihre Beweggründe im abschließenden Validierungsbericht erläutern, und diese Beweggründe müssen vom unabhängigen Sachverständigen geprüft und genehmigt werden.

9.2 Verifizierung des Finite-Elemente-Modells

Anfängliche Eindringungsvorgänge zwischen dem Prüfgegenstand und dem Fahrzeug sind zu Beginn des Laufs nicht erlaubt.

Die folgende Beurteilung nach Tabelle 9 und Tabelle 10 muss ab dem Zeitpunkt, zu dem die Modellvorspannung beendet und die anfängliche Geschwindigkeit angewendet wurde, durchgeführt werden, bis

- das Fahrzeug das Rückhaltesystem verlässt,
- das Fahrzeug den Abprallbereich kreuzt oder
- das Fahrzeug anhält.

Tabelle 9 — Verifizierungsbewertungskriterien für das Finite-Elemente-Modell

Verifizierungsbewertungskriterien	Änderung (%)	Bestanden?
Die Gesamtenergie der Analyselösung (d. h. kinetisch, potenziell, Kontakt usw.) darf um höchstens 10 % vom Beginn des Laufs abweichen, wobei die erodierte Energie berücksichtigt werden muss.		
Die Hourglass-Energie der Analyselösung ist zu jeder Zeit geringer als 5 % der ursprünglichen Gesamtenergie zu Beginn des Laufs.		
Die Hourglass-Energie der Analyselösung am Ende des Laufs ist geringer als 10 % der internen Gesamtenergie am Ende des Laufs.		
Am Ende des Laufs ist die Hourglass-Energie des Teils/Werkstoffs mit der größten Hourglass-Energie geringer als 5 % der internen Gesamtenergie.		
Die Masse, die zum Gesamtmodell hinzugefügt wird, ist geringer als 5 % der Gesamtmasse des Modells zu Beginn des Laufs.		
Bei der physikalischen Komponente mit der größten hinzugefügten Masse wurden weniger als (0,5 kg + 10 % ihrer ursprünglichen Masse) hinzugefügt.		
Bei den beweglichen Teilen/Werkstoffen im Modell wurden weniger als 5 % der Masse zu der ursprünglichen beweglichen Masse des Modells hinzugefügt.		

9.3 Verifizierung des Mehrkörpermodells

Tabelle 10 — Verifizierungsbewertungskriterien für das Mehrkörpermodell

Verifizierungsbewertungskriterien	Änderung (%)	Bestanden?
Gesamtenergie der Analyselösung darf um höchstens 10 % vom Beginn des Laufs abweichen.		

9.4 Normbericht und Ausgabeparameter

Die Ergebnisse der Computersimulationsprüfung und der Vergleich mit den Ergebnissen der realen Prüfung müssen im Verifizierungs- und Validierungsbericht, siehe Anhang A, beschrieben werden.

Anhang A (normativ)

Computersimulationsprüfung – Berichtsvorlage

A.1 Allgemeines

Der Bericht für die Computersimulationsprüfung enthält einen oder mehrere Teile über die Validierung (einen für jede validierte Prüfung) und einen oder mehrere Teile über die Beurteilung von neuen Leistungen (einen für jede Computersimulationsprüfung). Alle fehlenden Daten müssen begründet werden.

Die Vorlage könnte auch als Leitfaden verwendet werden, um die Ergebnisse anderer numerischer Aktivitäten zu dokumentieren, bei denen Einrichtungen an Straßen durch Computersimulationsprüfungen bewertet/analysiert/untersucht werden.

Der gleiche Bericht für die Computersimulationsprüfung darf die Ergebnisse mehrerer Prüfungen enthalten.

A.2 Verifizierungs- und Validierungsbericht

A.2.1 Allgemeines

Der Validierungsbericht soll mindestens folgende Informationen in der unten stehenden Reihenfolge enthalten. Alle Zeichnungen und verbundenen Dokumente müssen eindeutig datiert sein.

A.2.2 Titelseite des Validierungsberichts

Mindestens die folgenden Informationen müssen auf der Titelseite des Validierungsberichts angegeben werden:

- a) Titel des Berichts;
- b) Name/Code des Prüfgegenstands und seiner Klasse in Übereinstimmung mit der Norm (z. B. Schutzeinrichtung der Klasse H2);
- c) Name der Person/der Gruppe/des Instituts, die/das die VT-Aktivität durchführt und den Bericht schreibt;
- d) Erstellt von;
- e) Genehmigt von;
- f) Validierungsnummer und/oder Validierungsberichtsnummer/Referenzcode;
- g) Berichtsdatum;
- h) Name des Auftraggebers;
- i) Anzahl der Seiten einschließlich der Anhänge.