

DIN EN 16303

ICS 13.200; 93.080.30

Einsprüche bis 2018-05-23
Ersatzvermerk
siehe unten

Entwurf

**Rückhaltesysteme an Straßen –
Validierungs- und Nachweisverfahren für die Nutzung von
Computersimulationen bei Anprallprüfungen an
Fahrzeug-Rückhaltesysteme;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16303:2018**

Road restraint systems –
Validation and verification process for the use of virtual testing in crash testing against vehicle
restraint system;
German and English version prEN 16303:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-03-23 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 nabau@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 Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6,
10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Ersatzvermerk

Vorgesehen als 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 160 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16303:2018) 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).

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.

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) Zusammenführung der Dokumente;
- b) inhaltliche und redaktionelle Überarbeitung.

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

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Anforderungen an ein numerisches Fahrzeugmodell	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Validierung	11
5.3 Prüfmethodik	11
5.3.1 Allgemeines	11
5.3.2 Beschreibung der Prüfung	11
5.4 Verifizierung	13
5.5 Berichterstattung	14
6 Anforderungen an das numerische Modell von Schutzeinrichtungen an Straßen	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 Validierungsanforderungen an Computersimulationen für Prüfungen an Schutzeinrichtungen an Straßen	15
8.1 Allgemeines	15
8.2 Prüfspezifikationen	15
8.2.1 Schutzeinrichtungen	15
8.2.2 Anpralldämpfer	16
8.2.3 Anfangs- und Endkonstruktionen	16
8.2.4 Passive Sicherheitsstütze	17
8.3 Vergleichstabellen	17
8.3.1 Allgemeines	17
8.3.2 Dynamische Verformung der Schutzeinrichtung	19
8.3.3 Arbeitsbreite	20
8.3.4 Eindringen des Fahrzeugs	20
8.3.5 Seitliche Verschiebungen von Anpralldämpfern und Anfangs- und Endkonstruktionen	21
8.3.6 Vergleich zwischen endgültigen Verformungen des Prüfgegenstands	21
8.3.7 Zusätzliche Vergleichstabelle für Pkw	21
8.3.8 Schwereindizes	22
8.3.9 Zeitverläufe	22
8.4 Berichterstattung	23
9 Verifizierung der Computersimulationsprüfung	23
9.1 Allgemeines	23

9.2	Verifizierung des Finite-Elemente-Modells	23
9.3	Verifizierung des Mehrkörpermodells.....	24
9.4	Normbericht und Ausgabeparameter	24
Anhang A (normativ) Computersimulationsprüfung – Berichtsvorlage.....		25
A.1	Allgemeines	25
A.2	Verifizierungs- und Validierungsbericht.....	25
A.2.1	Allgemeines	25
A.2.2	Titelseite des Validierungsberichts.....	25
A.2.3	Person/Gruppe, die die VT ausführt	26
A.2.4	Auftraggeber	26
A.2.5	Prüfverfahren	26
A.2.6	Software	27
A.2.7	Validierung der Bedingungen für die Computersimulationsprüfung.....	27
A.2.8	Modell des Prüfgegenstands.....	27
A.2.9	Eine Tabelle, die das Folgende zeigt/angibt.....	28
A.2.10	Fahrzeugmodell	28
A.2.11	Verifizierungs- und Validierungskriterien	29
A.2.12	Kommentare zu Validierungsmaßnahmen.....	29
A.2.13	Allgemeine Aussagen	30
A.2.14	Genehmigung des Berichts.....	30
A.2.15	Anlagen.....	30
A.3	Bericht über neue Leistungen.....	31
A.3.1	Allgemeines	31
A.3.2	Prüfverfahren	31
A.3.3	Software	31
A.3.4	Bedingungen der Computersimulation der Anprallprüfung.....	32
A.3.5	Zusätzliche Informationen.....	32
A.3.6	Modell des geänderten Prüfgegenstands	32
A.3.7	Eine Tabelle, die das Folgende zeigt/angibt.....	34
A.3.8	Ergebnisse	34
A.3.9	Allgemeine Aussagen	35
A.3.10	Genehmigung des Berichts.....	35
A.3.11	Anlagen.....	35
Anhang B (normativ) Anforderungen an die Entität (Person/Gruppe), die Computersimulationsprüfungen durchführt.....		37
Anhang C (informativ) Validierungsverfahren eines Fahrzeugs für die Analyse einer Anprallprüfung.....		39
C.1	Allgemeines	39
C.2	Fahrzeug-Setup – Leerlaufprüfung	39
C.3	Fahrzeugaufhängung und Lenkinematik.....	39
C.3.1	Isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Kompression und volle Ausdehnung.....	39
C.3.2	Isoliertes Lenksystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Drehbewegung nach beiden Seiten.....	40
C.4	Fahrzeughandhabung	41
C.4.1	Gerade Strecke	41
C.4.2	Prüfung auf kurvenförmiger Strecke	41
C.4.3	Schwellenprüfung	41
C.5	Anprallverhalten des Fahrzeugs – Prüfung gegen starre Wand/starren Pfosten	42
Anhang D (informativ) Überlegungen zu Modellierungstechniken eines Fahrzeugs		43
D.1	Allgemeines	43
D.2	Allgemeiner Aufbau eines Fahrzeugs.....	43
D.3	Überlegungen zur Fahrzeugvalidierung	44
D.4	Schrittweise Entwicklung eines Fahrzeugs für die Analyse von Anprallprüfungen.....	46

Anhang E (informativ) Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente-	
Fahrzeugmodellen für Anprallsimulationen.....	47
E.1 Zu modellierende Komponenten.....	47
E.1.1 Fahrzeugrahmen.....	47
E.1.2 Karosserie	47
E.1.3 Radaufhängungen.....	48
E.1.4 Räder	48
E.1.5 Lenksystem	49
E.2 Gestaltung des Modells.....	50
E.2.1 Allgemeine Betrachtungen.....	50
E.2.2 Regeln für die Entwicklung eines modularen Modells	52
E.3 Allgemeine Empfehlungen für die Werkstoffe von Finite-Elemente-Fahrzeugmodellen	
für Anprallsimulationen	53
E.3.1 Materialgesetze	53
E.3.2 Dehnrateneffekt.....	53
E.3.3 Modellvorhersagen.....	54
E.3.4 Neuere Materialgesetze.....	54
E.4 Allgemeine Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente-	
Fahrzeugmodellen für Anprallsimulationen.....	54
E.4.1 Allgemeines	54
E.4.2 2D-Netzgenerierungen – Allgemeine Empfehlungen	54
E.4.3 Kriterien für die Festlegung geometrischer Einzelheiten	55
E.4.4 Netzeigenschaften	56
E.4.5 Schweißstellen und Verbindungen.....	57
Anhang F (informativ) Empfehlungen für die Netzgenerierung von Mehrkörper-	
Fahrzeugmodellen für Anprallsimulationen.....	59
F.1 Mehrkörpermodelle	59
F.2 Allgemeine Anforderungen.....	59
F.3 Modellierungsanforderungen.....	59
F.4 Gestaltung des Modells.....	60
F.4.1 Allgemeine Betrachtungen.....	60
F.4.2 Karosseriemodell	60
F.4.3 Lenksystem	61
F.4.4 Radaufhängung.....	61
F.4.5 Räder	65
F.5 Allgemeine Empfehlungen für die Werkstoffe von Multikörper-Fahrzeugmodellen für	
Computersimulationen von Anprallprüfungen.....	71
F.5.1 Werkstoff.....	71
F.5.2 Dehnrateneffekt.....	71
F.5.3 Modellvorhersagen.....	71
Anhang G (informativ) Überlegungen zu Modellierungstechniken für Schutzeinrichtungen an	
Straßen.....	72
G.1 Allgemeines	72
G.2 Finite-Elemente-Methode und Methode der Mehrkörperdynamik.....	73
G.3 Richtlinien für die Finite-Elemente-Methode	73
G.4 Richtlinien für die Methode der Mehrkörperdynamik.....	73
G.5 Schrittweise Entwicklung einer Schutzeinrichtung an Straßen.....	74
G.5.1 Zu modellierende Komponenten.....	74
G.5.2 Werkstoffmodelle.....	74
G.5.3 Werkstoffmodellierung für dynamische Finite-Elemente-Simulationen	74
G.5.4 Werkstoffmodellierung für dynamische Mehrkörpersimulationen	75
G.6 Verifizierung des Modells.....	75
G.6.1 Allgemeines	75
G.6.2 Grundlegende Anforderungen.....	75

G.6.3	Modellverifizierung und Leistungsnachweis	75
G.6.4	Finite-Elemente-Modell.....	76
G.6.5	Mehrkörpermodell	76
G.6.6	Vollmaßstäbliche dynamische Prüfung und simulierte Anprallprüfung	76
G.6.7	Fähigkeit zur Wiedergabe des Versagenszustands.....	77
G.6.8	Erfasste Daten.....	77
Anhang H (informativ) Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente-Modellen von Schutzeinrichtungen an Straßen für Anprallsimulationen.....		
H.1	Werkstoffempfehlungen für Finite-Elemente-Modelle von Schutzeinrichtungen an Straßen für Anprallsimulationen.....	78
H.2	Allgemeine Empfehlungen für die Netzgenerierung von Finite-Elemente-Modellen von Schutzeinrichtungen an Straßen für Anprallsimulationen.....	78
H.3	2D-Netzgenerierungen.....	78
H.3.1	Allgemeine Empfehlungen	78
H.3.2	Netzeigenschaften	78
H.4	Schweißstellen und Verbindungen.....	79
H.4.1	Schweißpunkte.....	79
H.4.2	Schweißnähte	79
H.4.3	Klebeverbindung.....	79
H.4.4	Geschraubte Verbindung.....	80
H.5	3D-Netzgenerierung - Netzeigenschaften.....	80
Anhang I (informativ) Allgemeine Empfehlungen und Kriterien für Multikörper-Modelle von Schutzeinrichtungen an Straßen für Computersimulationen von Anprallprüfungen.....		
I.1	Einleitung	81
I.2	Schweißstellen und Verbindungen.....	81
I.3	Modellvalidierung.....	81
Literaturhinweise.....		82

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16303:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird CEN/TR 16303-1:2012, CEN/TR 16303-2:2012, CEN/TR 16303-3:2012 und CEN/TR 16303-4:2012 ersetzen (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 Schutzeinrichtungen an Straßen wurden aktualisiert;
- die Verifizierungsbewertungskriterien für das Finite-Elemente-Modell wurden aktualisiert.

Die Anhänge A und B sind normativ und die Anhänge C bis I sind informativ.

Einleitung

Dieses Dokument bietet eine gemeinsame Grundlage für den Einsatz von Computersimulationsprüfungen, um den Fahrzeuganprall gegen Schutzeinrichtungen an Straßen, darunter Schutzeinrichtungen, Anpralldämpfer, Anfangs- und Endkonstruktionen, herausnehmbare Abschnitte der Schutzeinrichtungen, Übergangskonstruktionen und passive Schutzeinrichtungen, in Übereinstimmung mit der Normenreihe EN 1317 und mit EN 12767 nachzustellen.

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

Zwei hauptsächliche Modellierungskonzepte wurden berücksichtigt:

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

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 Schutzeinrichtungen an Straßen und Fahrzeugen für Computersimulationsprüfungen gegeben.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Genauigkeit, Glaubwürdigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse der Computersimulation von Anprallprüfungen an Schutzeinrichtungen an 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 gewährleistet 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, *Rückhaltesystem an Straßen — Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren*

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

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

EN 1317-4:2001, *Rückhaltesystem an Straßen — Teil 4: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, End- und Übergangskonstruktionen von Schutzeinrichtungen*

EN 1317-5, *Rückhaltesystem an Straßen — Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und -bewertung für Fahrzeugrückhaltesysteme*

prEN 1317-7:2012, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 7: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs- und Endkonstruktionen von Schutzeinrichtungen*

CEN/TS 1317-8, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 8: Rückhaltesysteme für Motorräder, die die Anprallheftigkeit an Schutzplanken für Motorradfahrer reduzieren*

EN 12767:2007¹⁾, *Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung — Anforderungen, Klassifizierung 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: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

1) Wird derzeit überarbeitet.

3.1

numerisches Modell

mathematisches Modell der Schutteinrichtung an Straßen und des Fahrzeugs

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.

3.2

Schutteinrichtung an Straßen

Einrichtung, die in Übereinstimmung mit der Normenreihe EN 1317 geprüft wird

3.3

passive Schutteinrichtung

Einrichtung, die in Übereinstimmung mit EN 12767 geprüft wird

3.4

Prüfung

vollmaßstäbliche Anprallprüfung, 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 Schutteinrichtung an Straßen oder des Fahrzeugs, das die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt

3.7

Validierungsverfahren

eine 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

Verifizierungsverfahren

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

3.9

Computersimulationsprüfung oder Simulationsprüfung

Vorgänge, mit denen ein numerisches Modell zur Nachstellung einer realen Prüfung verwendet wird

4 Symbole und Abkürzungen

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

ASI	Index für die Schwere der Beschleunigung (<i>en: Acceleration Severity Index</i>)
CoG	Masseschwerpunkt (<i>en: centre of gravity</i>)
D	dynamische Durchbiegung
D_m	bei der realen Prüfung gemessene maximale dynamische Durchbiegung, in Meter (m)

D_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung (<i>en: virtual test</i>) gemessene maximale dynamische Durchbiegung, in Meter (m)
FE	Finite Elemente
HGV	Schwerlastkraftwagen (<i>en: heavy goods vehicle</i>)
LD	seitliche Verschiebung (<i>en: lateral displacement</i>)
LD_m	bei der realen Prüfung gemessene seitliche Verschiebung, in Meter (m);
LD_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessene seitliche Verschiebung, in Meter (m)
MB	Mehrkörper (<i>en: multi-body</i>)
RT	reale Prüfung (<i>en: real test</i>)
THIV	theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (<i>en: Theoretical Head Impact Velocity</i>)
VI	Eindringen des Fahrzeugs (<i>en: vehicle intrusion</i>)
VI_m	bei der realen Prüfung gemessenes Eindringen des Fahrzeugs, in Meter (m)
VI_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessenes Eindringen des Fahrzeugs, in Meter (m)
VT	Computersimulationsprüfung (<i>en: virtual test[ing]</i>)
W	Arbeitsbreite
W_m	bei der realen Prüfung gemessene Arbeitsbreite, in Meter (m)
W_{VT}	bei der Computersimulationsprüfung gemessene Arbeitsbreite, in Meter (m)

5 Anforderungen an ein numerisches Fahrzeugmodell

5.1 Allgemeines

Es muss ein vollständiges numerisches 3D-Modell des Fahrzeugs erstellt werden. Die Geometrie des Fahrzeugs und alle Trägheitseigenschaften müssen originalgetreu wiedergegeben werden. Das numerische Modell muss Folgendes umfassen:

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

Die Fahrzeugspezifikationen unter Prüfbedingungen müssen EN 1317-1:2010, Tabelle 1 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 angebracht werden. Fahrzeugbeschleunigungen müssen für die Berechnung der Schwereindizes nach EN 1317-1 eingesetzt werden.

Es muss eine Begründung für die gewählten Werkstoffmodelle und die implementierten Kriterien für das Werkstoffversagen und den Einfluss der Dehnungsrate gegeben werden.

5.2 Validierung

Für die Validierung des numerischen Fahrzeugmodells müssen Prüfung nach dieser Norm 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 zu gewährleisten, sind in Kategorien eingeteilt, die sich auf das Fahrzeugsetup, die Dynamiken, die Handhabung und das Anprallverhalten beziehen.

5.3 Prüfmethodik

5.3.1 Allgemeines

Das Ziel der folgenden Prüfung ist es, die Stabilität und Robustheit des Fahrzeugmodells und den Grad der Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

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 Verfügbarkeit experimenteller Prüfungen und von der beabsichtigten Verwendung des Modells durchgeführt werden können.

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

Die Prüfung muss durchgeführt werden, wenn die Fahrzeugentwicklung abgeschlossen ist. Änderungen, die die Ergebnisse einer oder mehrerer Prüfung(en) beeinflussen könnten, erfordern eine erneute Durchführung dieser Prüfung(en).

Falls die Prüfungen den in Tabelle 1 angegebenen Abweichungsgrenzen nicht gerecht werden, muss die Entität, die die Fahrzeugvalidierung durchführt, im abschließenden Validierungsbericht ihre Beweggründe erläutern und diese Beweggründe müssen von der Zertifizierungsstelle geprüft und genehmigt werden.

Falls einige der in Tabelle 1 aufgeführten Prüfungen nicht durchgeführt werden, muss die Entität, die die Fahrzeugvalidierung durchführt, im endgültigen Validierungsbericht ihre Beweggründe erläutern, und diese Beweggründe müssen von der Zertifizierungsstelle geprüft und genehmigt werden.

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 Lenkkinematik 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 — Validierungsplan – Reduziertes Verfahren

Gruppe 1 – Fahrzeug-Setup		
Prüfung 1 – Leerlaufprüfung		
Umfang: Nachweis der Stabilität des Fahrzeugmodells und Überprüfung des allgemeinen Setups	nachzuweisende Ergebnisse: — Beschleunigungszeit (gefiltert) — Zeitverlauf der Radaufhängungsbewegungen	Abweichungsgrenzen: — gefilterte Beschleunigungen $CG < \pm 2,5 \text{ G}$ — Radaufhängungsbewegung $< 15 \text{ mm}$
Gruppe 2 – Radaufhängung und Lenkkinematik des Fahrzeugs		
Prüfung 1 – isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Kompression		
Umfang: Nachweis der Radaufhängungs- kinematik und der Leistungs- fähigkeit im belasteten und unbe- lasteten Zustand	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen theore- tischer und virtueller Steifigkeitskurve — Ermittlung der maximalen Kompression der Radaufhängung	Abweichungsgrenzen: — zulässige Abweichung zwischen theoretischer und virtueller Arbeitskurve: $\pm 5 \%$
Prüfung 2 – isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Ausdehnung		
Nachweis der Radaufhängungs- kinematik und der Leistungs- fähigkeit im belasteten Zustand	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen theore- tischer und virtueller Steifigkeitskurve — Ermittlung der maximalen Ausdehnung der Radaufhängung	Abweichungsgrenzen: — zulässige Abweichung zwischen theoretischer und virtueller Arbeitskurve: $\pm 5 \%$
Prüfung 3 – isoliertes Lenksystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Drehbewegung nach beiden Seiten		
Umfang: Verifizierung der Lenk- kinematik	nachzuweisende Ergebnisse: — Vergleich zwischen linkem und rechtem Radlenkwinkel (Zeit-Winkel-Kurven) — Ermittlung des maximalen Lenkwinkels bei Kompression	Abweichungsgrenzen: — Verifizierung des Ackermann-Prinzips

Gruppe 3 – Fahrzeughandhabung		
Prüfung 1 – Prüfung auf gerader Strecke		
Umfang: Nachweis des allgemeinen Verhaltens des Fahrzeugs (Lenk- und Radaufhängungssystem) und seiner Fahrfähigkeit	nachzuweisende Ergebnisse: — grafische Darstellung der Bahnkurve — Energiebilanz im Zeitverlauf	Abweichungsgrenzen: — zulässige Abweichung von der linearen Bahnkurve < 10 % der Länge
Prüfung 2 – Prüfung auf kurvenförmiger Strecke		
Umfang: Nachweis des Verhaltens des Fahrzeugs (Lenk- und Radaufhängungssystem) und seiner Lenkfähigkeit unter einer aufgetragenen Belastung und seiner Fähigkeit, nach Aufhebung der Kraft in die Neutralstellung (ohne Lenken) zurückzukehren	nachzuweisende Ergebnisse: — grafische Darstellung der Bahnkurve — Energiebilanz im Zeitverlauf	Abweichungsgrenzen: — das Fahrzeug muss einlenken, bis es den minimalen Radius erreicht hat, und dann wieder eine gerade Linie erreichen, wenn die Lenkung aufgehoben wird — Gesamtenergieverlust < 5 %
Prüfung 3 – Schwellenprüfung		
Umfang: Nachweis des dynamischen Verhaltens der Radaufhängung und der allgemeinen Robustheit des Modells	nachzuweisende Ergebnisse: — Änderung der Federaufhängung in einer Längen-Zeit-Kurve — Zeitverläufe der kinetischen und der Gesamtenergie	Abweichungsgrenzen: — Gesamtenergieverlust < 5 %
Gruppe 4 – Anprallverhalten des Fahrzeugs		
Prüfung 1 – gegen starre Wand (EN 1317-2)/starren Pfosten (EN 12767)		
Umfang: Nachweis der Fähigkeit, starke Verformungen auszuhalten, Kontrolle der Kontaktfestlegung	nachzuweisende Ergebnisse: — Analysen nach dem Anprall (Schwereindizes für Pkw) — Zeitverläufe der kinetischen und der Gesamtenergie	Abweichungsgrenzen: — Gesamtenergieverlust < 5 %

Eine ausführlichere Beschreibung der Prüfung ist in Anhang C angegeben.

5.3.2.2 Zusätzliche Prüfung

Es können 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 (mithilfe der Frontalanprallprüfung nach EN 12767).

5.4 Verifizierung

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

5.5 Berichterstattung

Alle vorgeschriebenen Validierungsprüfungen 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 (Berichtsverweis auf den Validierungsbericht für das Fahrzeugmodell) und alle Änderungen müssen ausführlich beschrieben werden.

6 Anforderungen an das numerische Modell von Schutzeinrichtungen an Straßen

6.1 Modellierung

Es muss ein vollständiges numerisches 3D-Modell der Schutzeinrichtung an Straßen erstellt werden. Die Geometrie der Schutzeinrichtung an Straßen 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.

6.2 Validierung und Verifizierung

Das Modell der Schutzeinrichtung an Straßen muss bei der Computersimulation unter Schwerkraftbedingungen verifiziert werden. Die Validierungsprüfung sollte die gleiche Simulationszeit abdecken, die für die in Abschnitt 7 beschriebene vollmaßstäbliche Anprallprüfung verwendet wird.

Die Verifizierungsanforderungen in Tabelle 9 für FE und Tabelle 10 für MB sollten mindestens für die oben beschriebene Validierungsprüfung erfüllt werden.

6.3 Berichterstattung

Die Modellierung, Verifizierung und Validierung der Schutzeinrichtung an Straßen muss ausführlich in Übereinstimmung mit der Berichtsvorlage in A.2 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:

- Gerätekomponenten;
- Komponentenverbindungen;

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

7.2 Validierung und Verifizierung

Das Modell der passiven Schutteinrichtung muss bei der Computersimulation unter Schwerkraftbedingungen verifiziert werden. Die Validierungsprüfung sollte die gleiche Simulationszeit abdecken, die für die in Abschnitt 6 beschriebene vollmaßstäbliche Anprallprüfung verwendet wird.

Die Verifizierungsanforderungen in Tabelle 9 für FE und Tabelle 10 für MB sollten mindestens für die oben beschriebene Validierungsprüfung erfüllt werden.

7.3 Berichterstattung

Die Modellierung, Verifizierung und Validierung der Schutteinrichtung an Straßen muss ausführlich in Übereinstimmung mit der Berichtsvorlage in A.2 beschrieben werden.

8 Validierungsanforderungen an Computersimulationen für Prüfungen an Schutteinrichtungen an Straßen

8.1 Allgemeines

Damit das numerische Modell validiert werden kann, muss die Computersimulationsprüfung der Typprüfung entsprechen, die ausgeführt wird, um die Leistungsstufen von Schutteinrichtungen an Straßen 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 physikalischen Prüfeinstellungen müssen ausführlich beschrieben und begründet werden (z. B. vereinfachte Randbedingungen für Anfangs- und Endkonstruktionen).

8.2 Prüfspezifikationen

8.2.1 Schutteinrichtungen

8.2.1.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen unter Berücksichtigung der in EN 1317-2:2010, Tabelle 1 angegebenen Parameter 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, Abschnitte 4 und 5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.1.3 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen nach den in EN 1317-1:2010, Abschnitte 5, 6, 7 und 8 und in EN 1317-2:2010, Abschnitte 4 und 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, Abschnitte 3.5, 4 und 5 angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

8.2.2 Anpralldämpfer

8.2.2.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen unter Berücksichtigung der in EN 1317-3:2010, Tabelle 1 angegebenen Parameter durchgeführt werden.

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

8.2.2.2 Rückhaltekategorie

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 5.3 und 5.6 entsprechen.

8.2.2.3 Anprallsschwere

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitte 5, 6, 7 und 8 und in EN 1317-3:2010, 6.4 entsprechen.

8.2.2.4 Verformung des Anpralldämpfers

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 6.5 entsprechen.

8.2.2.5 Umleitungszone für Fahrzeuge

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in EN 1317-3:2010, 6.3 entsprechen.

8.2.3 Anfangs- und Endkonstruktionen

8.2.3.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen unter Berücksichtigung der in ENV 1317-4:2001, Tabelle 1 angegebenen Parameter durchgeführt werden.

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

8.2.3.2 Rückhaltekategorie

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.1 und 5.2 entsprechen.

8.2.3.3 Anprallsschwere

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitte 5, 6, 7 und 8 und in ENV 1317-4:2001, 5.3 entsprechen.

8.2.3.4 Verformung von Anfangs- und Endkonstruktionen

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.4 entsprechen.

8.2.3.5 Umleitungszone für Fahrzeuge

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitt 5 und in ENV 1317-4:2001, 5.5.3 entsprechen.

8.2.4 Passive Sicherheitsstütze

8.2.4.1 Allgemeines

Die Fahrzeuganprallprüfungen müssen unter Berücksichtigung der in EN 12767 angegebenen Parameter durchgeführt werden.

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

8.2.4.2 Prüfverfahren

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, Abschnitt 6 und in den Anhängen A und B entsprechen.

8.2.4.3 Gelöste Elemente und Eindringen

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, 5.2.2.1 entsprechen.

8.2.4.4 Fahrzeugverhalten

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, 5.2.2.2 entsprechen.

8.2.4.5 Anprallschwere

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 1317-1:2010, Abschnitte 5, 6, 7 und 8 und in EN 12767:2007, 5.2.2.3 und 5.2.2.4 entsprechen.

8.2.4.6 Energieabsorptionskategorien

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, 4.1.2 entsprechen.

8.2.4.7 Stufen der Insassensicherheit

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, 4.1.3 und in EN 12767:2007, Tabelle 5 entsprechen.

8.2.4.8 Zusätzliche Anforderungen an Träger- und Verkehrszeichenbrücken

Die Prüfungen müssen den Angaben in EN 12767:2007, 5.3 entsprechen.

8.3 Vergleichstabellen

8.3.1 Allgemeines

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

Falls bei dem Vergleich zwischen den physikalischen Prüfungen und den Computersimulationsprüfungen die festgelegten Abweichungsgrenzen nicht erfüllt werden, muss die Entität, die die Computersimulationsprüfung (VT) durchführt, ihre Beweggründe im abschließenden Validierungsbericht erläutern, und diese Beweggründe müssen von der Zertifizierungsstelle geprüft und genehmigt werden.

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

„Ja“ ist anzukreuzen, wenn Übereinstimmung zwischen der Computersimulationsprüfung und der physikalischen 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 Sicherheitsstützen verwendet werden.

Tabelle 2 — Vergleichstabelle – Schutzeinrichtungen

kritisches Verhalten	Stimmt VT mit dem Ergebnis der physikalischen Prüfung überein?
Aufhalten	Ja/Nein
Überschlag	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
Eindringen von Teilen des Prüfgegenstands in das Fahrzeug	Ja/Nein
allgemeines Kriterium	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der dynamischen Verformung (8.3.2)	Ja/Nein
Kriterium der Arbeitsbreite (8.3.3)	Ja/Nein
Kriterium für das Eindringen des Fahrzeugs (8.3.4)	Ja/Nein

Tabelle 3 — Vergleichstabelle – Anpralldämpfer

kritisches Verhalten	Stimmt VT mit dem Ergebnis der physikalischen Prüfung überein?
Aufhalten	Ja/Nein
Überschlag	Ja/Nein
Umleitungszone (EN 1317-3:2010, 6.3)	Ja/Nein
Versagen von Längselementen	Ja/Nein
Eindringen von Teilen des Anpralldämpfers in das Fahrzeug	Ja/Nein
allgemeines Kriterium	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der seitlichen Verschiebungen (8.3.5)	Ja/Nein

Tabelle 4 — Vergleichstabelle – Anfangs- und Endkonstruktion

kritisches Verhalten	Stimmt VT mit dem Ergebnis der physikalischen Prüfung überein?
Aufhalten	Ja/Nein
Überschlag	Ja/Nein
Umleitungszone (prEN 1317-7:2012, 5.6.3)	Ja/Nein
Versagen von Längselementen	Ja/Nein
Eindringen von Teilen der Anfangs- und Endkonstruktion in das Fahrzeug	Ja/Nein
allgemeines Kriterium	Stimmt VT mit den Anforderungen überein?
Kriterium der seitlichen Verschiebungen (7.3.4)	Ja/Nein

Tabelle 5 — Vergleichstabelle – Passive Sicherheitsstützen

kritisches Verhalten	Stimmt VT mit dem Ergebnis der physikalischen Prüfung überein?
Geschwindigkeitsklasse	Ja/Nein
Überschlag	Ja/Nein
Energieabsorptionskategorie	Ja/Nein
Stufe der Insassensicherheit	Ja/Nein
Eindringen	Ja/Nein

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

8.3.2 Dynamische Verformung der Schutzeinrichtung

Die dynamische Verformung (D_m) aus der physikalischen 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 TB11:

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

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 direkt aus den Hochgeschwindigkeitsvideos verifiziert werden kann, kann D_m mit einer Grenzabweichung von $\pm 0,15$ verwendet werden.

8.3.3 Arbeitsbreite

Die Arbeitsbreite (W_m) aus der physikalischen 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 TB11:

$$|W_m - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (D_m)) \quad (3)$$

für andere Prüfungen:

$$|W_m - W_{VT}| \leq (0,1 + 0,1 \times (D_m)) \quad (4)$$

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 direkt aus den Hochgeschwindigkeitsvideos verifiziert werden kann, kann W_m mit einer Grenzabweichung von $\pm 0,15$ verwendet werden.

8.3.4 Eindringen des Fahrzeugs

Das Eindringen des Fahrzeugs (VI_m) aus der physikalischen 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:

$$|VI_m - VI_{VT}| \leq (0,3 + 0,1 \times (D_m)) \quad (5)$$

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 direkt von den Hochgeschwindigkeitsvideos verifiziert werden kann, kann VI_m mit einer Grenzabweichung von $\pm 0,15$ verwendet werden.

8.3.5 Seitliche Verschiebungen von Anpralldämpfern und Anfangs- und Endkonstruktionen

Die seitliche Verschiebung LD_m von Anpralldämpfern und Anfangs- und Endkonstruktionen aus der physikalischen 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:

$$|LD_m - LD_{VT}| \leq (0,1 + 0,2 \times (LD_m)) \quad (6)$$

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.

8.3.6 Vergleich zwischen endgültigen Verformungen des Prüfgegenstands

Die endgültigen Verformungen der geprüften und der simulierten Schutzeinrichtungen an Straßen müssen verglichen und dokumentiert werden.

8.3.7 Zusätzliche Vergleichstabelle für Pkw

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

Tabelle 6 — Zusätzliche Vergleichstabelle

Kriterien	Stimmt VT mit dem Ergebnis der physikalischen 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.

8.3.8 Schwereindizes

EN 1317-1:2010 legt Verfahren zur Berechnung von Werten für Schwereindizes fest, wenn ein Pkw (900 kg oder 1 500 kg) in einer Anprallprüfung zur Abnahme von Einrichtungen an Straßen verwendet wird. Das ermöglicht den Vergleich dieser Indizes im Rahmen des Validierungsverfahrens einer Computersimulationsprüfung.

Die Grenزابweichung für ASI ist in Tabelle 7 festgelegt.

Tabelle 7 — Grenزابweichung für ASI

	Grenزابweichung	Maximale Zeit für ASI
ASI	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$ s

Die Grenزابweichung für THIV ist in Tabelle 8 festgelegt.

Tabelle 8 — Grenزابweichung für THIV

	Grenزابweichung	Zeitverschiebung
THIV	± 3 km/h	$\pm 0,05$ s

8.3.9 Zeitverläufe

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. Wenn die Validierung für ein geändertes Produkt erforderlich ist, muss der numerische Geschwindigkeitszeitverlauf innerhalb des Zeitfensters bleiben, bis die Fahrzeuge die geänderten Komponenten geladen haben.

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

Bei Frontalprüfungen für Anpralldämpfer und Anfangs- und Endkonstruktionen (Methoden 1 und 2) und für passive Schutz Einrichtungen basiert der Vergleich nur auf einer allgemein resultierenden Geschwindigkeit.

- Der numerische Gierwinkel des Fahrzeugs verbleibt innerhalb eines Zeitfensters, das um den physikalische Gierwinkel herum vorhanden ist, bis die zeitlich am weitesten entfernte Komponente innerhalb der maximalen ASI-Zeit und der Laufzeit erreicht ist. Wenn die Validierung für ein geändertes Produkt erforderlich ist, muss der numerische Geschwindigkeitszeitverlauf innerhalb des Zeitfensters bleiben, bis die Fahrzeuge die geänderten Komponenten geladen haben.

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

8.4 Berichterstattung

Der Validierungsstatus einschließlich Stärken und Schwächen der Computersimulationsprüfung bzw. 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 neuen Leistungsbericht dokumentiert werden (siehe A.3). Außerdem muss die Interaktion zwischen Fahrzeug und Schutzeinrichtung an Straßen ausführlich beschrieben werden. Wichtige Modellparameter (z. B. Reibungswerte zwischen Fahrzeug, Schutzeinrichtung an Straßen und Boden) 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 Fahrzeugrückhaltesystem nicht vorhergesagt werden).

9 Verifizierung der Computersimulationsprüfung

9.1 Allgemeines

Falls die Prüfungen den in 8.3 beschriebenen Abweichungsgrenzen nicht gerecht werden, muss die Entität, die Computersimulationsprüfung durchführt, ihre Beweggründe im abschließenden Validierungsbericht erläutern, und diese Beweggründe müssen von der Zertifizierungsstelle 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 vorgenommen werden, wenn

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

Tabelle 9 — Verifizierung der Bewertungskriterien für das Finite-Elemente-Modell

Verifizierung der Bewertungskriterien	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 dem Teil/Werkstoff mit der größten hinzugefügten Masse wurden weniger als 10 % seiner ursprünglichen Masse hinzugefügt.		
Bei den beweglichen Teilen/Werkstoffen im Modell wurden weniger als 5 % der Masse zu der ursprünglichen beweglichen Masse des Modells hinzugefügt.		
Es gibt keine Shooting-Zeitknoten in dieser Lösung.		
Es gibt keine festen Elemente mit negativem Volumen.		

9.3 Verifizierung des Mehrkörpermodells

Tabelle 10 — Verifizierung der Bewertungskriterien für das Mehrkörpermodell

Verifizierung der Bewertungskriterien	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). Es wird dringend geraten, der vorliegenden Vorlage zu folgen.

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) Name der Person/der Gruppe/des Instituts;
- b) Berichtsdatum;
- c) Name des Auftraggebers;
- d) Name des Prüfgegenstands;
- e) Berichtsnummer der Typprüfung (einschließlich Genehmigungsdatum, Revisionsstand und Prüfinstitut);
- f) Validierungsnummer und/oder Nummer des Validierungsberichts (Versionsnummer, falls zutreffend);
- g) Prüfungstyp und Normverweisung;
- h) Anzahl der Seiten einschließlich Anlagen;
- i) offizielle Sprache des Validierungsberichts;
- j) Genehmigung des Berichts;
- k) Genehmigungsdatum.

A.2.3 Person/Gruppe, die die VT ausführt

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu der Person/Gruppe, die die Computersimulationsprüfung (VT) ausführt, angegeben werden:

- a) Name;
- b) Anschrift;
- c) Telefonnummer;
- d) Internetadresse;
- e) zusätzliche Informationen.

A.2.4 Auftraggeber

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu der Entität, die die Computersimulationsprüfung in Auftrag gibt, angegeben werden:

- a) Name;
- b) Anschrift;
- c) Telefonnummer;
- d) Internetadresse;
- e) zusätzliche Informationen.

A.2.5 Prüfverfahren

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu dem Prüfverfahren, dem bei der Computersimulationsprüfung gefolgt wird, angegeben werden:

- a) Prüfungstyp;
- b) Anprallgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde;
- c) Anprallwinkel in Grad;
- d) Gesamtprüfmasse des Fahrzeugs in Kilogramm;
- e) maßgebliche Abmessungen und Merkmale des Fahrzeugmodells;
- f) Schwerpunktlage;
- g) Positionierung des Beschleunigungsmessers im Fahrzeug;
- h) maximale dynamische Verformung, die im Bericht über die Typprüfung dokumentiert ist.

A.2.6 Software

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu der Software, die in der Computersimulationsprüfung verwendet wird, angegeben werden:

- a) Typ und Freigabeversion der Software;
- b) Art des verwendeten Computers, Art und Version des Betriebssystems;
- c) verwendeter Filter, falls zutreffend;
- d) Erfassungsrate oder Zeitschrittintervall, je nach Relevanz;
- e) Angabe der Software, die für die Vorverarbeitung, Analyse und Nachverarbeitung verwendet wurde.

A.2.7 Validierung der Bedingungen für die Computersimulationsprüfung

Mindestens die folgenden Informationen müssen zur Validierung der Bedingungen für die Computersimulationsprüfung angegeben werden:

- a) Anprallgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde (identisch mit der tatsächlichen Anprallgeschwindigkeit der Anprallprüfung);
- b) Anprallwinkel in Grad (identisch mit dem tatsächlichen Anprallwinkel der Anprallprüfung);
- c) alle zusätzlichen Prüfbedingungen, die im Bericht über die Typprüfung dokumentiert sind (z. B. Anprallpunkt, Anprallrichtung usw.).

A.2.8 Modell des Prüfgegenstands

Mindestens die folgenden Informationen müssen zum Modell des Prüfgegenstands angegeben werden:

- a) Abmessungen des Prüfgegenstands, in Meter (Länge, Breite, Höhe);
- b) Gesamtprüfmasse der Schutzeinrichtung an Straßen;
- c) Masse der Komponenten der Schutzeinrichtung an Straßen;
- d) Beschreibung der Komponenten der Schutzeinrichtung an Straßen.
 - 1) Bei FE:
 - i) Anzahl der Knoten;
 - ii) Elementtyp;
 - iii) Anzahl der Elemente;
 - iv) Elementformulierung;
 - v) Mindest-/Höchstmaße;
 - 2) Bei MB: Anzahl der starren Körper, Freiheitsgrade, Formulierungen für verformbare Elemente und Kontaktalgorithmen;

- e) Beschreibung der Werkstoffmodelle und der Spezifikationen der Werkstoffeigenschaften, einschließlich implementierter Kriterien für das Werkstoffversagen und Dehnratenabhängigkeit;
- f) Rand- und andere Bedingungen einschließlich gegebenenfalls Bodenverankerung;
- g) potenzielle Versagensmodi des Modells;
- h) mögliches Versagen von Komponenten;
- i) Abweichung vom physikalischen Prüfgegenstand;
- j) Verifizierungs- und Validierungsbericht (Ergebnisse des Modells der Schutzeinrichtungen an Straßen nur im Leerlaufmodus);
- k) Abweichung vom physikalischen Prüfgegenstand;

BEISPIEL 1 Verankerung, Bodenverhältnisse und Stoßstellen.

Darstellung einer Nahaufnahme (mit Netz/Elementen) aller wichtigen Funktionen.

BEISPIEL 2 Schraubverbindungen, Stoßstellen und Schweißstellen.

A.2.9 Eine Tabelle, die das Folgende zeigt/angibt

Mindestens die folgenden Informationen müssen zur Geometrie der Komponenten der Sicherheitseinrichtung an Straßen und des gesamten Prüfgegenstands angegeben werden:

- a) Seiten- und Vorderansicht des Modells des Prüfgegenstands (mit Netz/Element);
- b) maßgebliche Abmessungen des Modells des Prüfgegenstands;
- c) Zeichnungsreferenz für jede Komponente;
- d) Werkstoffspezifikation für jede Komponente.

A.2.10 Fahrzeugmodell

Mindestens die folgenden Informationen müssen zum Modell des Fahrzeugs angegeben werden:

- a) Modell: Typ und Freigabe;
- b) Entwicklungsjahr des Modells;
- c) Herkunft des Modells;
- d) Verifizierungs- und Validierungsbericht (Berichtsverweis auf den Validierungsbericht für das Fahrzeugmodell);
- e) Abweichung vom validierten Modell;

BEISPIEL Ergänzte Kontaktoberflächen, geänderte Höhe des Fahrzeugs und ergänzte/geänderte Komponenten.

- f) Ballast, Position und Masse;
- g) Dummy-Modelltyp und -masse in Kilogramm (falls vorhanden);

- h) Gesamtprüfmasse in Kilogramm;
- i) Abmessungen und Merkmale des Fahrzeugs;
- j) Schwerpunktlage;
- k) Beschreibung der Fahrzeugkomponente:
 - 1) Bei FE:
 - i) Anzahl der Knoten;
 - ii) Elementtyp;
 - iii) Anzahl der Elemente;
 - iv) Elementformulierung;
 - v) Mindest-/Höchstmaße;
 - 2) Bei MB: Anzahl der starren Körper, Freiheitsgrade, Formulierungen für verformbare Elemente und Kontaktalgorithmen;
- l) verwendete Werkstoffmodelle (starre/verformbare Teile);
- m) Angaben zu geringfügigen Änderungen;
- n) Abbildung des Fahrzeugmodells (mit FE-Netz/-Elementen) und Hinweis auf alle Abweichungen vom validierten Modell;
- o) besondere Features (zusätzliche Features, die die Ergebnisse beeinflussen könnten);
- p) durchdrehende Räder (Ja/Nein);
- q) Versagen der Radachsen (Ja/Nein);
- r) mögliches Eindringen in das Fahrzeug (Ja/Nein).

A.2.11 Verifizierungs- und Validierungskriterien

Die Tabellen 1 bis 8 sind für die maßgeblichen Kriterien auszufüllen.

Die Tabellen 9 und 10 sind für die Bewertungskriterien der Verifizierung auszufüllen.

A.2.12 Kommentare zu Validierungsmaßnahmen

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu Kommentaren zur Validierung des numerischen Modells angegeben werden:

- a) Beschreibung der Beschädigung des Modells einschließlich Unterbauten, Bodenverankerungen und Befestigungen;
- b) Beschreiben, Kommentieren und Begründen aller Abweichungen von den Validierungsanforderungen;

- c) Falls aufgrund des angewendeten Verfahrens – FE oder MB – eine Validierungsanfrage nicht praktikabel ist (z. B. weil kein FE-Netz vorhanden ist), dann ist optional eine alternative Darstellung möglich (z. B. Kraftkurve einer nicht linearen Feder).

A.2.13 Allgemeine Aussagen

Die folgenden allgemeinen Aussagen sollten in den Bericht aufgenommen werden:

- a) Das validierte Modell in diesem Bericht bezieht sich nur auf den geprüften Gegenstand.
- b) Dieser Bericht darf nur vollständig vervielfältigt werden, außer im Falle der vorherigen schriftlichen Genehmigung durch die ausstellende Einrichtung für Computersimulationsprüfungen.

A.2.14 Genehmigung des Berichts

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu der genehmigenden Person/Entität angegeben werden:

- a) Unterschrift(en);
- b) Name(n) der autorisierten und verantwortlichen Person(en) der Einrichtung für Computersimulationsprüfungen;
- c) Position(en);
- d) Datum.

A.2.15 Anlagen

- a) Ein Verweis auf die Typprüfung für die Validierung (Nummer, Datum, ausführende Entität), maßgebliche Daten aus der Typprüfung und Videoaufzeichnungen (falls vorhanden) müssen beigelegt werden.
- b) Zeichnungen des Prüfgegenstands, die für die Erstellung und Validierung des Modells des Prüfgegenstands verwendet wurden, müssen beigelegt werden.
- c) Animationen, die die Validierung der Computersimulationsprüfung zeigen, müssen beigelegt werden.
- d) Bilder vom Prüfgegenstand nach Anprall.
- e) Bilder mit der Drauf- und Vorderansicht der Anprallfolge.
- f) Bilder des Fahrzeugs nach Anprall. Bei FE (mit Netz/Elementen). Es müssen Bilder mit und ohne Streuung von innerer Energie beigelegt werden.
- g) ASI- und Beschleunigungsdiagramm (für die Computersimulationsprüfung und für die physikalische Prüfung). Dabei ist Folgendes darzustellen:
- 1) ASI in Abhängigkeit von der Zeit;
 - 2) X-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit;
 - 3) Y-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit;
 - 4) Z-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit.

- h) Ein Diagramm zur Gesamtenergiebilanz muss mit den folgenden Energiearten in Abhängigkeit von der Zeit erstellt werden:
- 1) Gesamtenergie;
 - 2) innere Energie;
 - 3) kinetische Energie;
 - 4) gleitende Energie;
 - 5) Hourglass-Energie;
 - 6) Dämpfungsenergie;
 - 7) externe Arbeit.

A.3 Bericht über neue Leistungen

A.3.1 Allgemeines

Für jeden Prüfungstyp in Übereinstimmung mit dem maßgeblichen Teil in der Normenreihe EN 1317 muss ein individuell nummerierter Bericht zu der Computersimulation einer Anprallprüfung erstellt werden.

Der Bericht über die Computersimulation einer Anprallprüfung muss mindestens die folgenden Informationen in der nachstehenden Reihenfolge enthalten. Alle Zeichnungen und verbundenen Dokumente müssen eindeutig datiert sein.

A.3.2 Prüfverfahren

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu dem Prüfverfahren, dem bei der Bewertung der geänderten Version gefolgt wird, angegeben werden:

- a) Prüfungstyp;
- b) Anprallgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde;
- c) Anprallwinkel in Grad;
- d) Gesamtprüfmasse des Fahrzeugs in Kilogramm;
- e) Schwerpunktlage;
- f) Position des Beschleunigungsmessers im Fahrzeug (zu vergleichen mit der Position des Beschleunigungsmessers in der realen Prüfung).

A.3.3 Software

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu der Software, die bei der Bewertung der geänderten Version verwendet wird, angegeben werden:

- a) Typ und Freigabeversion der Software;
- b) Art des verwendeten Computers, Art und Version des Betriebssystems;
- c) verwendeter Filter, falls zutreffend;

- d) Erfassungsrate oder Zeitschrittintervall, je nach Relevanz;
- e) Angabe der Software, die für die Vorverarbeitung, Analyse und Nachverarbeitung verwendet wurde.

A.3.4 Bedingungen der Computersimulation der Anprallprüfung

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu den Bedingungen der Computersimulation der Anprallprüfung, die für die Bewertung der geänderten Version gelten, angegeben werden:

- a) Anprallgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde (tatsächliche Anprallgeschwindigkeit), für ungeänderten und geänderten Prüfgegenstand;
- b) Anprallwinkel in Grad (tatsächlicher Anprallwinkel), für ungeänderten und geänderten Prüfgegenstand;
- c) Anprallpunkt, für ungeänderten und geänderten Prüfgegenstand. Für einen geänderten Prüfgegenstand muss der kritischste Anprallpunkt für die Bewertung gewählt werden;
- d) alle zusätzlichen Prüfbedingungen, die im Verifizierungs- und Validierungsbericht des ungeänderten Prüfgegenstands dokumentiert sind;
- e) Bestätigung, dass das gleiche Fahrzeugmodell (im Vergleich zum validierten Simulationsmodell) verwendet wird. Falls nicht, müssen alle unter A.2.10 genannten Informationen angegeben werden und alle Abweichungen müssen ausführlich beschrieben werden;
- f) Bestätigung, dass die geänderte Prüfung der einzige Unterschied ist (im Vergleich zum validierten Simulationsmodell). Falls nicht, müssen alle Abweichungen ausführlich beschrieben werden. Dies gilt auch für andere wichtige Modellparameter, die die Interaktion zwischen Fahrzeug und der Schutzeinrichtung an Straßen beeinflussen (z. B. Reibungswerte an Schnittstellen);
- g) Empfehlung: Zur Überprüfung, Bestimmung und Bestätigung der Unterschiede zwischen validiertem und geändertem vollmaßstäblichem Modell wird dringend empfohlen, eine Include-Struktur für vollmaßstäbliche Modelle zu verwenden.

A.3.5 Zusätzliche Informationen

Aus dem maßgeblichen genehmigten Anprallprüfbericht und dem entsprechenden Bericht zur Computersimulationsprüfung müssen folgende Informationen angegeben werden:

- a) Nummer des Verifizierungs- und Validierungsberichts, Datum, Prüfungstyp und Name des ungeänderten Gegenstands;
- b) Prüf- und Genehmigungsdatum und -Institut;
- c) Typ und Version der Validierungssoftware;
- d) für die Validierung verwendetes Fahrzeugmodell (z. B. Typ und Freigabe, Entwicklungsjahr, Version).

A.3.6 Modell des geänderten Prüfgegenstands

Dieses Modell kann alle Änderungen umfassen, die Folgendes beeinflussen:

- a) Masse/Geometrie;
- b) Modellierung des Gegenstands:
 - 1) Werkstoff/Geometrie/Grenzen und Beschränkungen usw.;

2) (mit Netz) aller wichtigen Funktionen;

BEISPIEL 1 Schraubverbindungen, Stoßstellen und Schweißstellen.

Eine Tabelle, die das Folgende zeigt/angibt:

- Seiten- und Vorderansicht des Modells des geänderten Prüfgegenstands (mit Netz);
- maßgebliche Abmessungen des Modells;
- Zeichnungsreferenz für jede Komponente;
- Werkstoffspezifikation für jede Komponente;
- Änderungen der Schutzeinrichtung /Art des Übergangs.

Mindestens die folgenden Informationen müssen zum Modell des geänderten Prüfgegenstands angegeben werden:

- c) Gesamtprüfmasse des Prüfgegenstands;
- d) Masse der einzelnen Komponenten des Prüfgegenstands;
- e) Beschreibung der Komponenten des Prüfgegenstands:
 - 1) Bei FE:
 - i) Anzahl der Knoten;
 - ii) Elementtyp;
 - iii) Anzahl der Elemente;
 - iv) Elementformulierung;
 - v) Mindest-/Höchstmaße;
 - 2) Bei MB: Anzahl der starren Körper, Freiheitsgrade, Formulierungen für verformbare Elemente und Kontaktalgorithmen;
- f) Beschreibung der Werkstoffmodelle und der Spezifikationen der Werkstoffeigenschaften;
- g) Rand- und andere Bedingungen einschließlich gegebenenfalls Bodenverankerung;
- h) potenzielle Versagensmodi des Modells;
- i) mögliches Versagen von Komponenten;
- j) Abweichung vom physikalischen Prüfgegenstand;

BEISPIEL 2 Verankerung, Bodenverhältnisse und Stoßstellen.

k) Darstellung einer Nahaufnahme (mit FE-Netz/-Elementen) aller wichtigen Funktionen.

BEISPIEL 3 Schraubverbindungen, Stoßstellen und Schweißstellen.

A.3.7 Eine Tabelle, die das Folgende zeigt/angibt

Nachfolgend ist eine Liste von Mindestinformationen aufgeführt, die bezüglich der Geometrie der Komponenten des geänderten Fahrzeugrückhaltesystems (VRS) und des gesamten Prüfgegenstands aufzunehmen sind:

- a) Seiten- und Vorderansicht des Modells des geänderten Prüfgegenstands (mit Netz/Element);
- b) maßgebliche Abmessungen des Modells des geänderten Prüfgegenstands;
- c) Zeichnungsreferenz für jede Komponente des Modells des geänderten Prüfgegenstands;
- d) Werkstoffspezifikation für jede Komponente des Modells des geänderten Prüfgegenstands.

Das Fahrzeugmodell muss das Gleiche sein, das für die Validierung verwendet wird (falls nicht, müssen alle unter A.2.10 genannten Informationen angegeben werden).

A.3.8 Ergebnisse

Mindestens die folgenden Informationen müssen zu den Ergebnissen der Bewertung der geänderten Version angegeben werden:

- a) dynamische Verformung in Meter;
- b) Arbeitsbreite in Meter;
- c) maximale permanente Verformung in Meter;
- d) Länge des Kontakts in Meter;
- e) Lage des Anprallpunkts;
- f) große Teile gebrochen oder gelöst (Ja/Nein);
- g) Elemente des Prüfgegenstands sind in den Fahrgastraum des Fahrzeugs eingedrungen (Ja/Nein);
- h) Beschreibung der Beschädigung des Modells des Prüfgegenstands einschließlich Unterbauten, Bodenverankerungen und Befestigungen;
- i) Bodenbefestigung trifft auf Konstruktionsebene (Ja/Nein/Nicht zutreffend);
- j) Anprallgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde;
- k) Anprallwinkel in Grad;
- l) Abprallgeschwindigkeit;
- m) Abprallwinkel;
- n) allgemeine Beschreibung der Bahnkurve des Fahrzeugs;
- o) Beschreibung der Beschädigung und Verformung des Prüffahrzeugs;
- p) Fahrzeug durchbricht die Schutzeinrichtung (Ja/Nein);
- q) Fahrzeug passiert die Schutzeinrichtung (Ja/Nein);

- r) Fahrzeug innerhalb des Abprallbereichs (Ja/Nein);
- s) Fahrzeug überschlägt sich innerhalb des Prüfbereichs (Ja/Nein);
- t) Index für die Schwere der Beschleunigung (ASI);
- u) max. ASI-Zeit;
- v) theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (THIV), in km/h;
- w) Laufzeit (THIV) in Millisekunden;
- x) Vergleich zwischen den Prüfergebnissen des ursprünglichen Prüfgegenstands und den Ergebnissen der Computersimulation am geänderten Prüfgegenstand;
- y) Kriterien für die Verifizierung. Für die
- z) Kriterien zur Bewertung der Verifizierung sind Tabelle 9 und Tabelle 10 auszufüllen.

A.3.9 Allgemeine Aussagen

Der Bericht darf allgemeine Aussagen enthalten, wie z. B.:

„Dieser Bericht darf nur vollständig vervielfältigt werden, außer im Falle der vorherigen schriftlichen Genehmigung durch die ausstellende Einrichtung für Computersimulationsprüfungen.“

A.3.10 Genehmigung des Berichts

Der Bericht sollte die folgenden Informationen zu der Person/Entität enthalten, die ihn genehmigt hat:

- a) Unterschrift(en);
- b) Name(n) der autorisierten und verantwortlichen Person(en) der Einrichtung für Computersimulationsprüfungen;
- c) Position(en);
- d) Datum.

A.3.11 Anlagen

- a) Zeichnungen des geänderten Prüfgegenstands, die für die Erstellung des Modells verwendet wurden;
- b) Bilder mit der Drauf- und Vorderansicht der Anprallfolge;
- c) Bilder des Fahrzeugs nach Anprall. Bei FE (mit FE-Netz/-Elementen) müssen Bilder mit und ohne Streuung von innerer Energie beigefügt werden;
- d) Bilder vom Prüfgegenstand nach Anprall;
- e) Animation, die die Computersimulationsprüfung zeigt;
- f) ASI- und Beschleunigungsdiagramm, in denen Folgendes dargestellt werden muss (wenn in der Normenreihe EN 1317 festgelegt):
 - 1) ASI in Abhängigkeit von der Zeit;

- 2) X-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit;
- 3) Y-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit;
- 4) Z-Beschleunigung (COG, nach EN 1317-1:2010) in Abhängigkeit von der Zeit;
- g) Diagramm zur Gesamtenergiebilanz:
 - 1) Gesamtenergie;
 - 2) innere Energie;
 - 3) kinetische Energie;
 - 4) gleitende Energie;
 - 5) Hourglass-Energie;
 - 6) Dämpfungsenergie;
 - 7) externe Arbeit.

Zeichnungen der geänderten Schutzeinrichtungen, die für die Erstellung/Computersimulation des Modells des Prüfgegenstands verwendet wurden, müssen beigelegt werden.

Anhang B (normativ)

Anforderungen an die Entität (Person/Gruppe), die Computersimulationsprüfungen durchführt

Nachfolgend eine Liste von Anhaltspunkten, wie die Kompetenzen eines Experten/einer Organisation auf dem Gebiet der Computersimulationsprüfungen gewährleistet werden:

- a) Zugriff auf lizenzierte Software, die imstande ist, Anprallphänomene angemessen zu beschreiben. Diese Software muss mindestens imstande sein, die Anforderungen in Tabelle B.1 zu erfüllen.

Tabelle B.1 — Softwareanforderungen

Anforderungen
Kontakt, einschließlich Reibung (Fahrzeug, Prüfgegenstand, Straßenoberfläche und Boden)
große Verschiebung, Drehbewegung, Dehnung bei FE-Modellen und Elemente der inneren Kraft bei MB
nichtlineare Materialgesetze
Energieabsorption im Fahrzeug, im Prüfgegenstand und in den Unterbauten
Fähigkeit, Beulen am Fahrzeug und am Prüfgegenstand zu handhaben
Festlegung des Beschleunigungsmessers
Darstellung der Bahnkurve des Fahrzeugs

- b) Kenntnisse über Anprallprüfungen.
- c) Kenntnisse und Erfahrung in Physik und Technik. Um verstehen und bestimmen zu können, welches physikalische Phänomen dem interessierenden physikalischen Ereignis zugrunde liegt. Einige maßgebliche Bereiche könnten sein: Mechanik, Elastizität, Festigkeit von Werkstoffen, Bruch, nicht-lineare geometrische Effekte, Dynamik, Vibration, Optimierung, Plastizität und Bruchlast, Beulen und Instabilität, Grenzzustände, multiphysikalische Analyse, Stochastik und nicht-deterministische Verfahren, Methoden zur Unsicherheitsschätzung.
- d) Kenntnis der Messprinzipien, -geräte und -technik, die für die Validierung von Computersimulationsmodellen geeignet sind.
- e) Kenntnisse über die Modellierung von Computersimulationsprüfungen, um bestimmen zu können, welche Arten von Modellierungshypothesen für den Zweck der Computersimulationsprüfung geeignet sind.
- f) Kenntnis der mathematischen Methoden und Computersimulationsprüfungen, um verstehen zu können, welche numerischen Techniken bei Modellen für Computersimulationsprüfungen angewendet werden, und bewerten zu können, ob Konvergenzfehler und numerische Lösungsfehler akzeptabel sind.
- g) Kenntnis der Finite-Elemente- oder Mehrkörper-Modellierung und -Analyse, die erforderlich sind, um zu verstehen, wie die Modellierungshypothese und Vereinfachungen übertragen werden.

- h) Kenntnis der Werkstoffgesetze und Charakterisierungsmethoden, um bewerten zu können, ob die richtigen Werkstoffgesetze angewendet werden. Materialmodellierung, Charakterisierung und Auswahl, Verbundstrukturen.
- i) Kenntnisse und Fertigkeiten in Verbindung mit Engineering-Analyse-Software (CAE), um zu wissen, welche Ergebnisse man erhalten kann, und imstande zu sein, Modelle von Computersimulationsprüfungen zu erforschen und zu analysieren.

Die genannten Anforderungen können durch Folgendes nachgewiesen werden:

- j) Teilnahme an vergleichbaren Projekten;
- k) wissenschaftliche Veröffentlichungen;
- l) Schulungen;
- m) spezifische Ausbildung im Bereich der technischen Physik;
- n) Abschluss in einem geeigneten Technikbereich mit Erfahrung im Bereich Anprall.

Weiterbildungen/Schulungen/Erfahrungsaustausch sollten erfolgen und alle zwei Jahre bestätigt werden.

Anhang C (informativ)

Validierungsverfahren eines Fahrzeugs für die Analyse einer Anprallprüfung

C.1 Allgemeines

An den Komponenten des Fahrzeugs müssen Simulationsprüfungen ausgeführt werden, um die Leistungsfähigkeit der Unterkonstruktionen und des gesamten Fahrzeugmodells nachzuweisen. Das Verfahren umfasst mehrere einfache Prüfungen, um die numerische Stabilität und die Leistungsfähigkeit des numerischen Modells sicherzustellen. Es gibt zwei Prüfklassen: Komponentenprüfung und vollmaßstäbliche Fahrzeugprüfung.

C.2 Fahrzeug-Setup – Leerlaufprüfung

Das Fahrzeug muss im Stand über einen Zeitraum stabil sein, der der erforderlichen Dauer für die Anprallsimulation gegen die Schutzeinrichtung an Straßen entspricht.

Die Gravitationslast muss einbezogen werden.

C.3 Fahrzeugaufhängung und Lenkkinematik

C.3.1 Isoliertes Radaufhängungssystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Kompression und volle Ausdehnung

Jede Radaufhängung muss unter quasistatischen Bedingungen getrennt belastet werden. Die Last muss auf jede Radaufhängung einzeln in Absorptionsrichtung aufgebracht werden (an der Radachseseite).

Für die Kompression muss ein Vorschub so aufgebracht werden, dass die volle Kompression der Radaufhängung in 1 Sekunde erreicht ist.

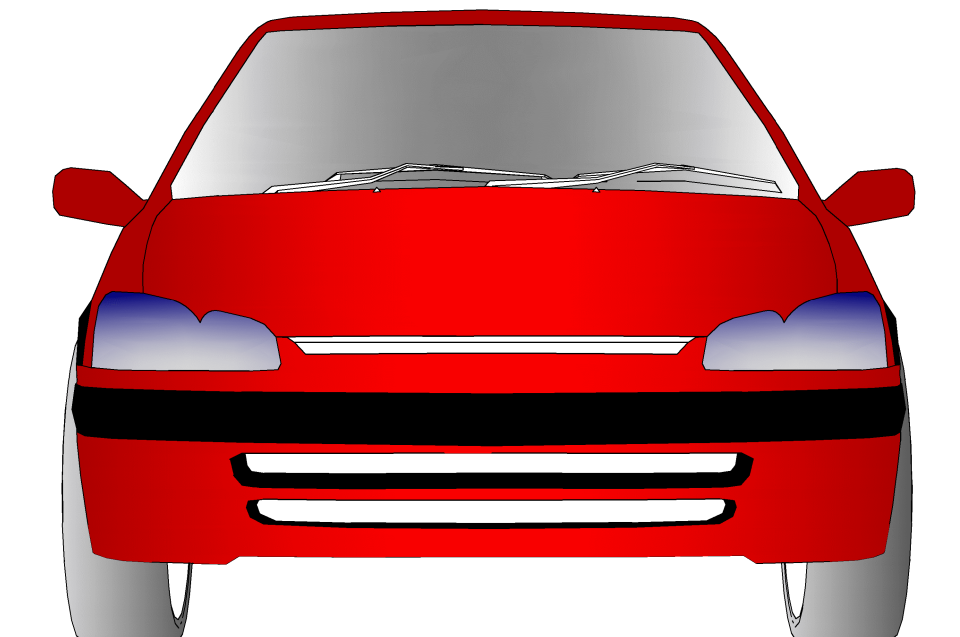
Für die Ausdehnung muss ein Vorschub so aufgebracht werden, dass die volle Ausdehnung der Radaufhängung in 1 Sekunde erreicht ist.

Das Modell des Fahrzeugs muss alle Kontakte enthalten. Die Verbindungspunkte zum Fahrzeug müssen befestigt sein.

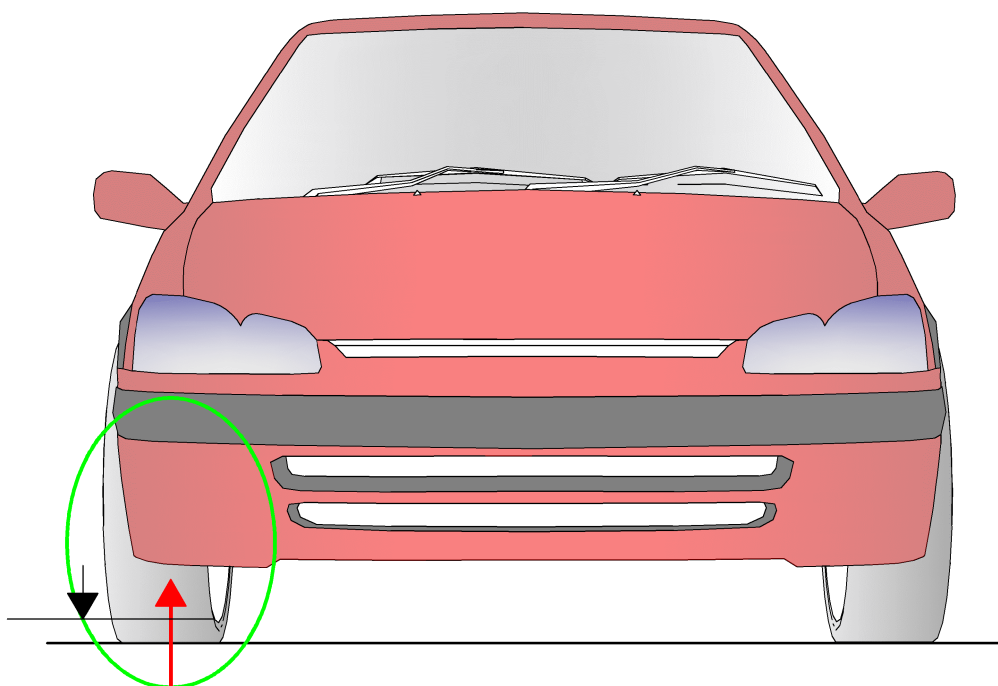
Es darf keine Gravitationslast einbezogen werden.

Die Bewegung muss die von den typischen Winkeln der Radaufhängung beeinflusste richtige Bewegung wiedergeben. Bei vorderer Einzelradaufhängung muss die Lenkbewegung von der Erschütterung der entsprechenden Radaufhängungen entkoppelt werden.

Als Beispiel ist in Bild C.1 die Prüfung mit einzelner Last an einem kleinen Pkw (GEO-Metro) dargestellt.



a) Ausgangsposition



b) vordere rechte Radaufhängung zusammengedrückt

Bild C.1 — Last auf das rechte Vorderrad aufgebracht

C.3.2 Isoliertes Lenksystem (beschränktes Fahrzeug) – volle Drehbewegung nach beiden Seiten

Das Lenksystem muss unter quasistatischen Bedingungen belastet werden.

Eine Drehbewegung muss innerhalb etwa einer Sekunde auf eines der gelenkten Räder angewendet werden und die Verschiebungswinkel aller gelenkten Räder müssen aufgezeichnet werden.

Das Fahrzeug muss sich auf dem Boden befinden: es darf keine Bodenreibung berücksichtigt werden.

Die Gravitationslast muss einbezogen werden.

Das Modell des Fahrzeugs muss alle Kontakte enthalten.

C.4 Fahrzeughandhabung

C.4.1 Gerade Strecke

Das Fahrzeug muss sich auf einer linearen Bahnkurve mit der gleichen Geschwindigkeit wie die Prüfgeschwindigkeit bewegen. Das Modell muss der linearen Bahnkurve circa 1,5 Sekunden lang folgen können.

Im Falle von mehreren Prüfungen muss die maximale Prüfgeschwindigkeit verwendet werden.

Die Gravitationslast muss einbezogen werden.

Es darf keine Reibung mit dem Boden berücksichtigt werden.

C.4.2 Prüfung auf kurvenförmiger Strecke

Das Fahrzeug muss sich auf einer kurvenförmigen Bahnkurve mit einer Geschwindigkeit von 30 % der Prüfgeschwindigkeit bewegen.

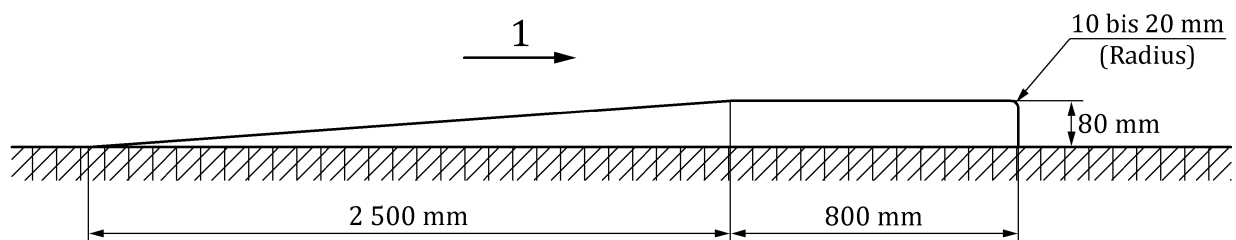
Die Räder müssen eingeschlagen werden, bis das Fahrzeug seine Richtung um mindestens 20 Grad geändert hat, und dann muss die Lenkung aufgehoben werden.

Das Modell muss der kurvenförmigen Bahnkurve circa 1,5 Sekunden lang folgen können.

C.4.3 Schwellenprüfung

Die Schwellenprüfung muss durchgeführt werden, um die Stabilität der Radaufhängung und der Lenkung nachzuweisen. Das Fahrzeug muss mit einer Geschwindigkeit von 25 km/h über die Schwelle fahren. Das Profil der Schwelle ist in Bild C.2 dargestellt.

Die Simulationszeit muss ausreichen, um die Dämpfung der Radaufhängung zu zeigen.



Legende

1 Bewegungsrichtung

Bild C.2 — Konfiguration der Schwellenprüfung

C.5 Anprallverhalten des Fahrzeugs – Prüfung gegen starre Wand/starren Pfosten

Um die allgemeine Reaktion des Fahrzeugs zu prüfen, muss der Anprall des Fahrzeugmodells gegen eine unbegrenzte vertikale Schutzeinrichtung ausgeführt werden.

Für die Computersimulationsprüfung müssen die gleichen Anprallbedingungen (Winkel und Geschwindigkeit) angewendet werden wie für die Referenzprüfung.

Wenn das Fahrzeug für eine Frontalprüfung verwendet wird, muss ein frontaler Anprall gegen eine starre Wand bei 40 km/h ausgeführt werden.

Bei der Stangenprüfung muss die Computersimulationsprüfung unter den gleichen Anprallbedingungen ausgeführt werden wie in EN 12767 vorgegeben.

Anhang D (informativ)

Überlegungen zu Modellierungstechniken eines Fahrzeugs

D.1 Allgemeines

Es können zwei hauptsächliche Modellierungsansätze berücksichtigt werden, die verschiedene Berechnungsweisen nutzen: die Finite-Elemente-(FE-)Methode und die Methode der Mehrkörperdynamik (MB, *en: multi-body*). Beide Methoden sind allgemein bekannt und werden in vielen technischen Bereichen, einschließlich der Automobilindustrie, umfassend eingesetzt.

Die erste Methode ermöglicht dem Anwender, ein sehr detailliertes Fahrzeugmodell zu erstellen und sowohl allgemeine Ergebnisse, wie etwa das Verhalten der Schutzeinrichtung an Straßen und des Fahrzeugs bei einer Anprallprüfung, als auch die Beanspruchungsdaten zu einem eingegrenzten Bereich am Fahrzeug zu beurteilen. Im Gegenzug erfordert eine FE-Analyse einen erheblichen Rechenaufwand und erweist sich dadurch als weniger geeignet für Parameterstudien, wo eine große Anzahl von Simulationen erforderlich sein kann.

Finite-Elemente-(FE-)Simulationen von Anprallprüfungen werden üblicherweise mit einem dynamischen, nicht linearen und expliziten Finite-Elemente-Code durchgeführt. Die Rechenzeit des Computers ist meist erheblich, in der Regel sind es 30 h bis 40 h an einem 2,4-GHz-Personalcomputer für die Simulation einer vollmaßstäblichen Anprallprüfung mit einer tatsächlich simulierten Dauer von 0,25 s. Tatsächlich muss das Modell nicht nur das Fahrzeugmodell enthalten, sondern auch einen größeren Abschnitt der Schutzeinrichtung an Straßen (abhängig von der Art der Schutzeinrichtung bis zu 80 m), um die Wechselwirkung zwischen Fahrzeug und Schutzeinrichtung und die Randbedingungen wirklichkeitsgetreu wiederzugeben. Der Integrationszeitschritt wird durch die kleinstmögliche Abmessung des kleinsten Elements des FE-Netzes bestimmt. Deshalb muss die Größe des Netzes einen Kompromiss zwischen dem Bedarf an geometrischer und numerischer Genauigkeit und dem Rechenaufwand darstellen: große Elemente lassen einen großen Zeitschritt zu, bieten aber eine geringe Genauigkeit des Modells und enthalten mögliche Instabilitäten, während kleine Elemente eine höhere Genauigkeit, aber einen kleineren Zeitschritt angeben. Allgemeine Kriterien für das Netz können festgelegt werden. Die wesentlichsten Teile des Fahrzeugs (Karosserie, Räder usw.) müssen explizit mit einem detaillierten Netz modelliert werden. Andere Teile können implizit modelliert werden, so dass nur ihre Trägheitseigenschaften (Motor) oder ihre Funktion und Kinematik (Radaufhängungs- und Lenksystem) wiedergegeben werden.

Die MB-Methode hingegen basiert auf einer groben Modellierung des Fahrzeugs durch eine Anzahl starrer Körper mit festgelegten Steifigkeitseigenschaften, die mithilfe von Gelenken miteinander verbunden sind. Die Methode ist besonders zur Erfassung der Kinematik des Fahrzeugs geeignet, weniger geeignet dagegen zur Erfassung des Spannungs- und Dehnungsniveaus. Wenn zuverlässige und validierte Daten zur Verfügung stehen, ist die MB-Methode bei der Durchführung von Parameterstudien ausgesprochen nützlich, da der Rechenaufwand bei der Analyse wesentlich geringer sein kann als bei der entsprechenden FE-Analyse.

D.2 Allgemeiner Aufbau eines Fahrzeugs

Fahrzeuge können in drei Hauptkategorien eingeteilt werden:

- a) Personenkraftwagen (Pkw);
- b) Lastkraftwagen (Lkw);
- c) Busse.

Trotz ihrer Unterschiede, vor allem hinsichtlich Masse und Geometrie, weisen sie viele gemeinsame Elemente auf:

- Fahrzeugrahmen;
- Karosserie;
- Radaufhängungen (vorne und hinten);
- Räder;
- Lenksystem;
- Scheiben;
- Motorblock;
- Innenausstattung des Fahrzeugs.

Hinsichtlich des Fahrzeugaufbaus muss darauf hingewiesen werden, dass zwei wesentliche verschiedene bauliche Optionen existieren: die Body-on-Frame-Bauweise, typisch bei Lastkraftwagen, und das aus einer Baugruppe bestehende Fahrzeugchassis, typisch bei Personenkraftwagen. Im ersten Fall werden drei Baugruppen miteinander verschraubt und bilden den Fahrzeugaufbau: Rahmen, Kabine und Fahrzeugkasten oder Auflieger (beispielsweise für einen Kleinlastkraftwagen). Im zweiten Fall bestehen Karosserie und Rahmen aus einer gemeinsamen Baugruppe mit gestanzten Blechteilen, die durch Punktschweißen oder andere Befestigungstechniken miteinander verbunden sind. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Aufbau die Steifigkeit des gesamten Fahrzeugs erhöht und für eine Gewichtseinsparung sorgt.

Radaufhängungen können ebenfalls in zwei Hauptgruppen unterteilt werden: Starrachse und Einzelradaufhängung. Im Allgemeinen werden Einzelradaufhängungen bei Personenkraftwagen und Starrachsen bei Lastkraftwagen und Bussen verwendet.

Es gibt Einzel- oder Doppelbereifung. Die letztgenannte Konfiguration ist bei Hinterrädern von Lkw und Bussen üblich.

Die Auswahl der Werkstoffmodelle und der Werkstoffeigenschaften muss auf den Daten der Werkstoffprüfung beruhen und begründet werden.

D.3 Überlegungen zur Fahrzeugvalidierung

Sobald das Fahrzeugmodell erstellt ist, muss es durch einfache Prüfungen validiert werden, sowohl Prüfungen von Komponenten als auch Prüfungen des gesamten Fahrzeugmodells, wobei die allgemeine Reaktion des Modells sowie das Verhalten einzelner Teile (Radaufhängung, Räder) überwacht werden. Die numerische Stabilität des Modells muss bewertet werden. Danach kann das Modell verwendet werden, um vollmaßstäbliche Anprallprüfungen zu simulieren.

Derselbe Validierungsansatz muss sowohl bei der Modellierung mit der FE-Methode als auch bei der MB-Modellierung angewendet werden. Dieses Dokument kann für verschiedene Modellierungstechniken, Codes oder Fahrzeuge verwendet werden. Auch wenn es sich um verschiedene Modelle handelt, muss dasselbe Validierungsniveau gefordert werden, wenn diese Modelle während des Zertifizierungsverfahrens verwendet werden.

Einige allgemeine Hinweise können hervorgehoben werden, um ASI und THIV so genau vorherzusagen, als wären sie von einem am Fahrzeug angebrachten Beschleunigungsaufnehmer berechnet:

- a) richtige Darstellung von Steifigkeit, Festigkeit und Trägheitseigenschaften der Karosserie;
- b) Festigkeit von Teilen, Deformationscharakteristik und Einstellung des vorderen Kotflügels, Motortrennwand, Motorhaube, A-Säule, Fahrzeugboden und andere Teile beeinflussen die aufgezeichneten Beschleunigungen;
- c) richtige Darstellung der Wechselwirkung zwischen Reifen und Karosserie, also die Reifensteifigkeit;
- d) besonders für unnachgiebigere Schutzeinrichtungen, wie sich die Radlast, die Schweller und der Radkasten auf die Beschleunigungen auswirken;
- e) genaues Erfassen der Lenkung, Bewegung der Radaufhängung, Stoßdämpferaufhängung und Stoßdämpfereigenschaften;
- f) Besonders bei Systemen mit nachgiebigen Pfosten wird die längsgerichtete Beschleunigung stark dadurch beeinflusst, ob ein Rad auf einen Pfosten auftrifft, was dadurch beeinflusst sein kann, wie die Räder auf ein vorheriges Auftreffen reagieren/lenken;
- g) seitliche Beschleunigung wird durch die Fähigkeit/Unfähigkeit der Räder, zu lenken, beeinflusst;
- h) für ein repräsentatives Fahrzeugverhalten ist eine ausreichende Detaillierung bei der Modellierung erforderlich;
- i) Verringern der Detaillierung des Modells und der Integrität kann nicht durch das Fehlen rechnerischer Ressourcen begründet werden;
- j) die Abtastrate des Beschleunigungsaufnehmers (Schrittweite der Zeitinkremente) kann sich auf Ergebnisse auswirken und muss auf eine geeignete Größe eingestellt werden, um die Konvergenz der Ergebnisse zu ermöglichen;
- k) eine Kombination von Elementgröße und Zeitschritt kann beim Fahrzeugmodell zu einer Elementmassenänderung (en: *mass scaling*) führen. Diese Massenänderung sollte möglichst gering gehalten werden (möglichst weniger als 2 %), da die dem Fahrzeug beim Starten hinzugefügte Masse die Anprallergebnisse beeinflussen könnte. Die hinzugefügte Masse sollte sich nicht in kritischen Bereichen befinden.

Beim Erstellen eines Modells sind Annahmen zu treffen, welche Effekte wichtig sind und welchen Einfluss sie auf die Genauigkeit haben, um diese Effekte geeignet zu erfassen. Es lässt sich nur über die Durchführung einer physikalischen Prüfung feststellen, welche physikalischen Effekte tatsächlich auftreten und welche relative Bedeutung sie haben.

Die Auswahl der Werkstoffmodelle und der Werkstoffeigenschaften muss auf den Daten der Werkstoffprüfung beruhen und begründet werden.

Es ist ebenfalls möglich, dass schlecht erstellte Modelle scheinbar Ergebnisse mit hohem Genauigkeitsgrad hervorbringen können, die die Prüfung erfüllen, z. B. Spitzenwerte bei ASI und THIV, jedoch können die zugrunde liegenden Beschleunigungen weit von der Realität entfernt sein. Deshalb muss die ausführliche Analyse der Elemente, die hochwertige Ergebnisse liefern, vollständig geklärt werden.

D.4 Schrittweise Entwicklung eines Fahrzeugs für die Analyse von Anprallprüfungen

Anhang E bezieht sich auf die Entwicklung eines Finite-Elemente-Modells eines Fahrzeugs. Insbesondere:

- a) stehen darin die zu modellierenden Fahrzeugkomponenten im Vordergrund, wobei ausführlich die Funktion der Komponente und ihre Rolle im Modell beschrieben werden, wie auch einige der Ad-hoc-Techniken, um ein wirkungsvolles Modell des Teils zu erstellen. Auf der Grundlage dieser Erwägungen kann der Anwender grundsätzlich jedes Fahrzeugmodell entwickeln, einen Personenkraftwagen oder (Klein)Lastkraftwagen;
- b) beschäftigt er sich mit den Gestaltungsgesichtspunkten des Modells. Modelle werden häufig von verschiedenen Organisationen verwendet und gehen von einem Anwender zum anderen. Deshalb ist es wichtig, dass die Modelle über einen genormten Aufbau und eine vorhersehbare Gestaltung verfügen und einfach zu verstehen sind. Ein modularer Modellaufbau ist empfehlenswert und wird in diesem Anhang ausführlich vorgestellt;
- c) gibt er eine kurze Darstellung von Werkstoffmodellen, die für dynamische Analysen geeignet sind. Werkstoffe und ihre Eigenschaften sind wesentliche Gesichtspunkte eines zuverlässigen Modells, da die Fahrzeugmodelle, die in dieser Anleitung behandelt werden, für die Simulation dynamischer Ereignisse verwendet werden;
- d) enthält er besondere Empfehlungen zur Netzgenerierung.

Anhang F bezieht sich auf die Entwicklung eines Mehrkörper-Modells eines Fahrzeugs. Insbesondere:

- e) gibt er allgemeine Empfehlungen und Anforderungen für die Modellierung,
- f) beschäftigt er sich mit Aufbauaspekten des Modells, indem er die Funktion der Komponente und ihrer Rolle im Modell sowie einige der Ad-hoc-Techniken beschreibt, um ein wirkungsvolles Modell des Teils zu erstellen. Auf der Grundlage dieser Erwägungen kann der Anwender grundsätzlich jedes Fahrzeugmodell entwickeln, einen Personenkraftwagen, einen Kleinlastkraftwagen, einen Bus oder einen Lkw,
- g) gibt er eine kurze Darstellung von Werkstoffmodellen, die für dynamische Analysen geeignet sind. Werkstoffe und ihre Eigenschaften sind wesentliche Gesichtspunkte eines zuverlässigen Modells, da die Fahrzeugmodelle, die in dieser Anleitung behandelt werden, für die Simulation dynamischer Ereignisse verwendet werden.