

**DIN EN 1317-1**

ICS 01.040.93; 93.080.30

Ersatz für  
DIN EN 1317-1:1998-07**Rückhaltesysteme an Straßen –  
Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren;  
Deutsche Fassung EN 1317-1:2010**

Road restraint systems –  
Part 1: Terminology and general criteria for test methods;  
German version EN 1317-1:2010

Dispositifs de retenue routiers –  
Partie 1: Terminologie et dispositions générales pour les méthodes d'essai;  
Version allemande EN 1317-1:2010

Gesamtumfang 39 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1317-1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ (Sekretariat: AFNOR, Frankreich), Arbeitsgruppe 1 „Safety barriers“ (Federführung: Frankreich) erarbeitet.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Ausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V ist der als Spiegelausschuss eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-10-21 AA „Passive Schutzeinrichtungen“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN 1317-1:1998-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich präzisiert;
- b) Bild 1 „Systemtypen“ aktualisiert;
- c) Abschnitt 4 „Begriffe“ erweitert;
- d) Abschnitt 5 „Prüfverfahren“ neu gegliedert und überarbeitet;
- e) Tabelle 1 „Festlegungen für Fahrzeuge“ erweitert;
- f) Abschnitt 6 „Fahrzeuginstrumentierung“ präzisiert;
- g) Abschnitt 7 „Datenverarbeitung und Analyse“ insgesamt neu gefasst;
- h) Gesamtstruktur der Norm neu gestaltet.

## **Frühere Ausgaben**

DIN EN 1317-1: 1998-07

Deutsche Fassung

## Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren

Road restraint systems —  
Part 1: Terminology and general criteria for test methods

Dispositifs de retenue routiers —  
Partie 1: Terminologie et dispositions générales  
pour les méthodes d'essai

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. April 2010 angenommen.

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

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

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



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

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

## Inhalt

Seite

Vorwort .....	3
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich .....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Abkürzungen .....	6
4 Begriffe .....	7
5 Prüfverfahren .....	10
5.1 Prüfort.....	10
5.2 Prüffahrzeuge.....	11
6 Fahrzeuginstrumentierung .....	14
6.1 Für die Berechnung von ASI und THIV erforderliche Fahrzeuginstrumentierung .....	14
6.2 Frequenz-Anforderungen.....	14
6.3 Ausgleich bei Verlagerung der Instrumentierung vom Masseschwerpunkt des Fahrzeugs.....	15
7 Datenverarbeitung und Analyse.....	17
8 Prüfergebnisse und Berechnungen.....	18
8.1 Indexwerte für die Anprallheftigkeit.....	18
8.2 Index der Verformung des Cockpits (VCDI).....	25
Anhang A (informativ) Berechnung des Index für die Schwere der Beschleunigung (ASI).....	29
Anhang B (informativ) Fahrzeugbeschleunigung — Messung und Berechnungsverfahren .....	30
B.1 Einleitung.....	30
B.2 Beschleunigung eines starren Körpers .....	30
B.3 Verfahren zur Messung der Bewegung eines starren Körpers.....	31
B.4 Messung mit sechs linearen Aufnehmern und drei Winkelaufnehmern.....	32
B.5 Anmerkungen.....	36
Literaturhinweise .....	37

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 1317-1:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2011 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN 1317-1:1998.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinien.

EN 1317 besteht aus den folgenden Teilen unter dem Haupttitel *Rückhaltesysteme an Straßen*:

- *Teil 1: Terminologie und allgemeine Kriterien für Prüfverfahren*
- *Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen*
- *Teil 3: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anpralldämpfer*
- *ENV 1317-4, Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 4: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, End- und Übergangskonstruktionen von Schutzeinrichtungen*
- *Teil 4: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, End- und Übergangskonstruktionen von Schutzeinrichtungen (In Bearbeitung: dieses Dokument wird ENV 1317-4:2001 bezüglich der Abschnitte zu Übergangskonstruktionen ersetzen)*
- *Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und -bescheinigung für Fahrzeugrückhaltesysteme*
- *Teil 6: 2008, Fußgängerrückhaltesysteme, Brückengeländer (in Bearbeitung)*
- *Teil 7: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Anfangs-, und Endkonstruktionen von Schutzeinrichtungen (In Bearbeitung: dieses Dokument wird ENV 1317-4:2001 bezüglich der Abschnitte zu Anfangs- und Endkonstruktionen ersetzen)*
- *Teil 8: Rückhaltesysteme für Motorräder, die die Anprallhäftigkeit an Schutzplanken reduzieren (in Bearbeitung)*

Die Anhänge A und B sind informativ.

Bei dieser Überarbeitung wurden folgende signifikante technische Änderungen eingearbeitet:

— **5 Prüfverfahren**

Die Festlegungen für den Prüfort und die Prüffahrzeuge wurden aus den Teilen 2 und 3 in Teil 1 verschoben.

— **6.1 Für die Berechnung von ASI und THIV erforderliche Fahrzeuginstrumentierung**

Die Anforderungen im Text von 1998:

*Die Fahrzeugbeschleunigung ist an einem einzigen Punkt (P) des Fahrzeugkörpers in der Nähe des Massenschwerpunkts des Fahrzeugs zu messen, wird ersetzt durch:*

*Die Beschleunigungsmessgeräte müssen auf dem Tunnel gemeinsam an einem Punkt (P) in der Nähe der vertikalen Projektion des Masseschwerpunkts des unverformten Fahrzeugs angebracht werden, aber nicht weiter als 70 mm längs und 40 mm seitlich davon entfernt. Messungen, die vor der Veröffentlichung der vorliegenden Norm mit Beschleunigungsmessgeräten gemacht wurden, die an einem Aufbau in der Nähe des Masseschwerpunkts angebracht wurden, sind zulässig.*

— **6.2 Anforderungen an die Frequenz**

Es wurde folgende neue Anforderung aufgenommen:

*Da die Daten mithilfe von rekursiven (Butterworth-)Filtern gefiltert werden, sollten mehr Daten erfasst werden, als tatsächlich für die spezielle Analyse erforderlich sind. Ein rekursiver Filter erzeugt zu Beginn und am Ende der Datenaufzeichnung stets „anfängliche Übergangsvorgänge“ und benötigt eine bestimmte Zeit, um sich „einzupegeln“. Es müssen daher zu Beginn und am Ende zusätzlich 500 ms lang Daten erfasst werden; diese zusätzlichen Daten können nach dem Filtern verworfen werden.*

— **6.3 Ausgleich bei Verlagerung der Instrumentierung vom Masseschwerpunkt des Fahrzeugs**

Das Verfahren wurde auch auf die Fälle eines von null verschiedenen Rollwinkels und die Rollgeschwindigkeit erweitert und wenn die drei Punkte  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $P$  ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P$  im Text von 1998) fluchtend auf einer Geraden liegen.

— **8.1 Indexwerte für die Anprallheftigkeit**

Die Anforderung an den Indexwert PHD (en: Post impact Head Deceleration) wurde getilgt. Es werden ASI und THIV gefordert.

— **8.1.1 Zusammenfassung des Verfahrens zur Berechnung des ASI**

Beim Verfahren zur Berechnung des ASI wurde die Mittelwertbildung der 3 Komponenten der Fahrzeugbeschleunigung über ein bewegtes Fenster von 50 ms durch die Filterung mit einem 4-poligen, phasenlosen Butterworth-Digitalfilter ersetzt.

— **8.2 Index der Verformung des Cockpits (VCDI)**

— **8.2.2 Ort der Deformation**

Die Abkürzung 'ND' wurde für Anpralle ergänzt, bei denen keine Deformation des Cockpits vorkommt.

— **8.2.3 Ausmaß der Verformung**

Ergänzung von Teilindex 3 für Verringerungen von mehr als 20 % oder für Messungen, die infolge der Verformung des Fahrzeugs nicht durchgeführt werden können.

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

## Einleitung

Um die Sicherheit von Straßen zu verbessern und aufrechtzuerhalten, erfordert die konstruktive Ausführung sicherer Straßen an bestimmten Straßenabschnitten und Orten den Aufbau von Rückhaltesystemen an Straßen. Diese Rückhaltesysteme an Straßen sind in ihrer Leistung nach festgelegten Rückhaltestufen bemessen, um von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge zurückzuhalten und können Fußgänger oder andere Straßenbenutzer leiten.

Diese Norm ist eine Überarbeitung von EN 1317-1:1998. Die Norm legt Prüfverfahren und Abnahmekriterien für die Anprallprüfung fest, die eingehalten werden müssen, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen nach EN 1317-5 und/oder prEN 1317-6 nachzuweisen. Die in den Prüfbericht aufgenommene Festlegung für die konstruktive Ausführung von Rückhaltesystemen an Straßen gibt in Bezug auf den Prüfaufbau wichtige Bedingungen für den Einsatz vor Ort an.

Der in dieser Norm angegebene Leistungsbereich für Produkte der Rückhaltesysteme ermöglicht den nationalen und regionalen Behörden, die anzuwendende Leistungsklasse zu erkennen und festzulegen.

Die Anhänge A und B enthalten Erläuterungen zur Messung des Index für die Anprallheftigkeit ASI und der Fahrzeugbeschleunigung.

## **1 Anwendungsbereich**

Dieser Teil der Europäischen Norm enthält Vorschriften für die Messung der Leistung bei Anprall und der Stufen der Anprallheftigkeit von Rückhaltesystemen an Straßen und beinhaltet:

- Daten vom Prüfort;
- Definitionen von Rückhaltesystemen an Straßen;
- Fahrzeugfestlegungen für (einschließlich der Belastungsanforderungen an) Fahrzeuge, die für Anprallprüfungen eingesetzt werden;
- die Instrumentierung der Fahrzeuge;
- Berechnungsverfahren und Verfahren zur Aufzeichnung von Anpralldaten, einschließlich der Stufen der Anprallheftigkeit;
- VCDI.

Die Abänderungen in diesem Teil der Europäischen Norm stellen keine Änderung der Prüfkriterien im Sinne von EN 1317-5:2007+A1:2008, ZA.3, dar.

## **2 Normative Verweisungen**

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

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

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

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

ISO 6487, *Road vehicles — Measurement techniques in impact tests — Instrumentation*

ISO 10392, *Road vehicles with two axles — Determination of centre of gravity*

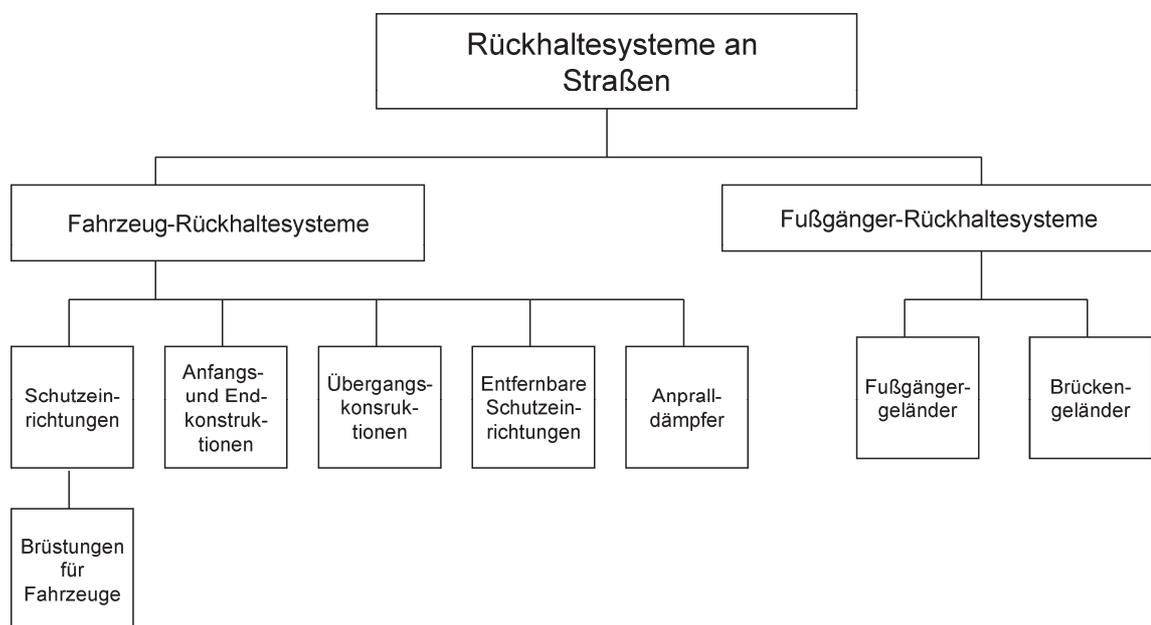
## **3 Abkürzungen**

ASI:	Index für die Schwere der Beschleunigung (en: Acceleration Severity Index)
ATD:	Anthropomorphe Prüfpuppe (en: Anthropomorphic Test Device)
CAC:	Kanal-Amplitudenklasse (en: Channel Amplitude Class)
CFC:	Kanal-Frequenzklasse (en: Channel Frequency Class)
COG:	Masseschwerpunkt (en: Centre of mass)
HGV	Lastkraftwagen, einschließlich Sattelzug (en: Heavy Goods Vehicle)

PRS	Fußgänger-Rückhaltesystem (en: Pedestrian Restraint System)
RRS	Rückhaltesystem an Straßen (en: Road Restraint System)
THIV	Theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (en: Theoretical Head Impact Velocity)
VCDI	Index der Verformung des Cockpits (en: Vehicle Cockpit Deformation Index)
VRS	Fahrzeug-Rückhaltesystem (en: Vehicle Restraint System)

## 4 Begriffe

Die Systemtypen sind in Bild 1 dargestellt:



**Bild 1 — Systemtypen**

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 4.1

#### **Rückhaltesystem an Straßen**

allgemeine Bezeichnung für ein Fahrzeug- und Fußgänger-Rückhaltesystem an Straßen

### 4.2

#### **Fahrzeug-Rückhaltesystem**

an einer Straße errichtetes System, das in bestimmtem Umfang ein von der Fahrbahn abkommendes Fahrzeug aufhält

### 4.3

#### **Schutzeinrichtung**

ein durchgehendes Fahrzeug-Rückhaltesystem, das längsseits oder auf dem Mittelstreifen einer Straße errichtet wird

ANMERKUNG Diese kann eine Brüstung für Fahrzeuge umfassen.

**4.4**

**Anfangs- und Endkonstruktion**

konstruktive Gestaltung des Abschlusses einer Schutzeinrichtung

**4.5**

**Übergangskonstruktion**

Verbindung zweier Schutzeinrichtungen verschiedener konstruktiver Ausführungen und/oder Leistungen

**4.6**

**Brüstung für Fahrzeuge**

Schutzeinrichtung, die an der Seite einer Brücke oder an einer Stützmauer oder einer vergleichbaren Konstruktion errichtet wird, an der ein vertikaler Geländeabfall vorliegt und die zusätzliche Schutz- und Rückhalteeinrichtungen für Fußgänger und andere Straßenbenutzer umfassen kann (Kombination Brüstung für Fahrzeuge/Brückengeländer)

**4.7**

**Anpralldämpfer**

Vorrichtung zur Energieaufnahme eines Fahrzeugs an der Straße, die vor einer oder mehreren Gefährdung(en) errichtet ist, um die Heftigkeit des Anpralls zu verringern

**4.8**

**Fußgänger-Rückhaltesystem**

System, das errichtet wird, um Fußgänger zu leiten

**4.9**

**Brückengeländer**

Rückhaltesystem für Fußgänger oder „andere Straßenbenutzer“ längsseits des Randes eines Fußwegs oder -pfads, das Fußgänger und andere Straßenbenutzer davon abhalten soll, eine Fahrbahn oder andere, möglicherweise gefährliche, Flächen zu betreten oder zu überqueren

ANMERKUNG Als Vorkehrungen für „andere Straßenbenutzer“ gelten Vorkehrungen für Reiter, Radfahrer und Vieh.

**4.10**

**Leermasse**

Fahrzeug im Lieferzustand, einschließlich aller Flüssigkeiten

**4.11**

**Prüf-Trägheitsmasse**

Leermasse zuzüglich Ballast sowie Aufzeichnungs- und Bremseinrichtungen, jedoch abzüglich der Prüfpuppen

**4.12**

**Gesamtmasse**

Masse, die alle Gegenstände im Prüffahrzeug zu Beginn der Prüfung einschließt

**4.13**

**Kombination Fahrzeugbrüstung/Brückengeländer**

Brüstung für Fahrzeuge mit zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen für Fußgänger und/oder andere Straßenbenutzer

**4.14**

**Radstand**

Abstand zwischen den Mittelpunkten der Reifenkontaktflächen der beiden Räder auf derselben Seite des Fahrzeugs, abgebildet auf die mittlere Längsachse des Fahrzeugs

ANMERKUNG Bei Fahrzeugen mit mehr als zwei Achsen sind die Radstände zwischen den äußersten Achsen anzugeben.

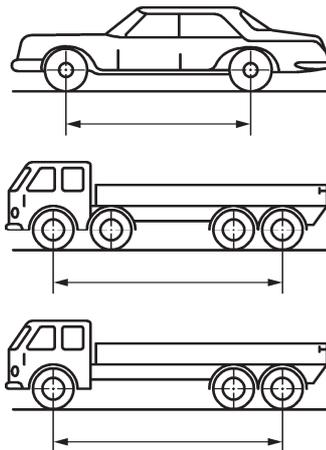


Bild 2 — Beispiele für den Radstand

#### 4.15

##### Radspur

Abstand zwischen den Mittelpunkten der Reifenkontaktflächen der beiden Räder einer Achse, abgebildet in der  $yz$ -Ebene

ANMERKUNG Bei Doppelrädern handelt es sich um den Punkt in der Mitte zwischen den Mittelpunkten der Reifenkontaktflächen des jeweiligen Doppelrades.

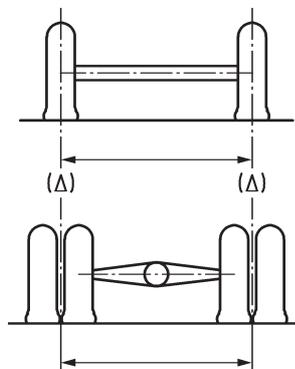


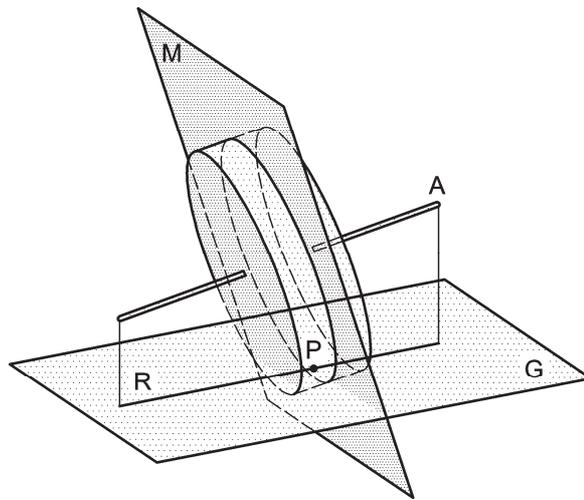
Bild 3 — Beispiele für die Radspur

#### 4.16

##### Mittelpunkt der Reifenkontaktfläche

P-Mittelpunkt der Reifenkontaktfläche (oder Mittelebene zwischen zwei Reifen bei Fahrzeugen mit Doppelrad)

ANMERKUNG Siehe Bild 4.



#### Legende

- A Drehachse des Rades
- G Geländeebene
- M Mittelebene des Rades
- R Projektion von A auf G
- P Mittelpunkt der Reifenkontaktfläche

**Bild 4 — Mittelpunkt der Reifenkontaktfläche**

#### 4.17

##### **anthropomorphe Prüfpuppe**

anthropomorphe Puppe, die das 50. Perzentil eines männlichen Erwachsenen darstellt und speziell dafür ausgelegt ist, einen Fahrzeuginsassen hinsichtlich dessen Körperform, Größe und Masse darzustellen sowie das dynamische Verhalten des Insassen bei einer Unfallprüfung nachzustellen

#### 4.18

##### **herausnehmbarer Schutzeinrichtungsabschnitt**

Abschnitt einer Schutzeinrichtung, der an beiden Enden mit einer dauerhaften Schutzeinrichtung verbunden ist und ganz oder teilweise herausgenommen oder versetzt werden kann, um eine horizontale Öffnung zu ermöglichen

#### 4.19

##### **vorgespanntes System**

Hauptlängselement(e) einer Schutzeinrichtung, vorgespannt, um die vorgesehene Leistungsfähigkeit zu erreichen

## 5 Prüfverfahren

### 5.1 Prüfort

Die Annäherungs- und Abprallbereiche für das Fahrzeug müssen grundsätzlich flach sein und dürfen keine Neigung aufweisen, die 2,5 % überschreitet. Sie müssen eine ebene und asphaltierte oder betonierte Oberfläche aufweisen und während der Prüfung frei von Staub, Fremdkörpern, stehendem Wasser, Eis oder Schnee sein. Sie müssen eine ausreichende Größe aufweisen, damit das Prüffahrzeug auf die geforderte Geschwindigkeit beschleunigt und kontrolliert werden kann und damit die Annäherung an die Schutzeinrichtung und die Entfernung von der Schutzeinrichtung in stabiler Fahrzeuglage erfolgt.

Bemaßte Planskizze(n) des Prüforts muss/müssen in den Prüfbericht eingefügt werden, sodass der Prüfbereich, einschließlich des geprüften Rückhaltesystems an Straßen, der Position aller Kameras, des Fahrzeugweges, des Anprallpunktes und der bemaßten Positionen sämtlicher Teile des Prüfgegenstandes über 2,0 kg gezeigt werden, die sich während der Prüfung vollständig vom Prüfobjekt gelöst haben. Bei Prüfungen, die vor der Veröffentlichung von EN 1317-1:2010 durchgeführt wurden, sind derartige bemaßte Planskizzen nicht obligatorisch.

Bei bestimmten Prüfungen, wie Prüfungen von Fahrzeugbrüstungen, bei denen eine Brückenfahrbahneinrichtung verwendet wird, darf weder das Prüffahrzeug noch die Schutzeinrichtung Hilfskonstruktionen in irgendeiner Weise berühren oder Nutzen aus ihnen ziehen, die beim Aufbau auf einer realen Brücke nicht vorhanden sind, d. h., wenn das Fahrzeug hinter dem Brückenrand einsinkt oder abstürzt, darf es den Boden oder Hilfskonstruktionen nicht berühren.

Die Nachbildung des Randbereiches muss ausreichend groß und genau sein, um das tatsächliche Verhalten des Fahrzeugs und des geprüften Systems am Rand einer Brücke oder Konstruktion aufzuzeigen.

Die Prüfung muss die minimal erforderliche Breite der Konstruktion aufzeigen, gemessen von der dem Verkehr zugewandten Vorderseite der Fahrzeugbrüstung aus, um das Fahrzeug sicher rückhalten und umleiten zu können.

Bei Prüfungen nach EN 1317-2, EN 1317-3 oder ENV 1317-4 muss der asphaltierte oder betonierte Bereich zur Bewertung des Fahrzeugverhaltens nach dem Anprall ausreichend sein.

Es sind geeignete Vorkehrungen zu treffen, um die Staubbildung durch die Prüffläche und das Prüffahrzeug während der Anprallprüfung auf ein Mindestmaß zu beschränken, damit photographische Aufzeichnungen nicht beeinträchtigt werden.

Es sind geeignete Vorkehrungen zu treffen, um sicherzustellen, dass das Prüffahrzeug im Abprallbereich nicht mit freistehenden Hindernissen kollidiert, die zusätzliche Verformungen des Prüffahrzeugs verursachen und damit die genaue Messung des Index der Verformung des Cockpits (VCDI) (siehe 8.2) verhindern könnten.

Die Leistung der Gründungen, Verankerungen und Befestigungen muss der konstruktiven Ausführung des Fahrzeug-Rückhaltesystems entsprechen. Der Hersteller des Fahrzeug-Rückhaltesystems muss Einzelheiten zu den Höchstkräften zur Verfügung stellen, die durch Verankerungen auf die Gründung übertragen werden können. Bei diesen Höchstkräften handelt es sich um diejenigen, die beim endgültigen Versagen des Fahrzeug-Rückhaltesystems, einschließlich der Brüstung für Fahrzeuge, infolge eines jeglichen denkbaren Anpralls erzeugt werden und üblicherweise die Kräfte überschreiten, die während des Anpralls gemessen werden können. Daher sind die ultimativen Kräfte, die auf die Brückenfahrbahn übertragen werden können, mithilfe von Berechnungen oder Ad-hoc-Prüfungen zu bestimmen.

Die auf die Verankerungen oder die Brücke wirkenden Kräfte können bei der Prüfung gemessen und in 5.2 des Prüfberichts angegeben werden.

## **5.2 Prüffahrzeuge**

### **5.2.1 Allgemeines**

Die für die Prüfungen zu verwendenden Fahrzeuge müssen Modelle aus der Produktion und — bei Fahrzeugen bis einschließlich 1 500 kg — für den aktuellen Verkehr in Europa gängige Modelle sein. Die Eigenschaften und Maße aller für die Anprallprüfungen nach diesem Teil der Europäischen Norm eingesetzten Fahrzeuge müssen den in Tabelle 1 angegebenen Festlegungen für Fahrzeuge entsprechen.

Die Reifen sind auf den jeweils vom Hersteller empfohlenen Druck aufzupumpen. Der Zustand des Fahrzeugs muss bezüglich Reifen, Aufhängung, Radstand und Aufbau die Anforderungen an die Verkehrszulassung erfüllen. Es dürfen keine Reparaturen oder Veränderungen, einschließlich Verstärkungen, vorgenommen werden, die die allgemeinen Eigenschaften des Fahrzeugs ändern oder dessen Zulassung aufheben würden. Alle Reparaturen müssen mit der ursprünglichen, vom Fahrzeughersteller definierten Fahrzeugfestlegung übereinstimmen. Das Fahrzeug muss sauber sein, und Schlamm oder Rückstände, die beim Anprall Staub verursachen könnten, sind vor der Prüfung zu entfernen. Auf den Außenflächen des Prüffahrzeugs sind Markierungspunkte anzubringen, um die Analyse zu erleichtern.

Das Fahrzeug darf während des Anpralls und so lange, wie es sich im Abprallbereich befindet, nicht durch die Betätigung der Lenkung oder anderer Mittel (z. B. Motorleistung, Bremsen, Antiblockiersysteme, Blockieren oder Rückhalten) zurückgehalten werden.

### **5.2.2 Belastungsbedingungen**

Sämtliche Flüssigkeiten müssen in die Gesamtträgheits-Prüfmasse mit einbezogen werden.

Alle Ballastgewichte müssen sicher und so am Fahrzeug befestigt sein, dass die Festlegungen des Herstellers bezüglich der horizontalen und vertikalen Lastverteilung nicht überschritten werden.

Die Ballastgewichte dürfen nicht an Orten angebracht sein, die die Verformung des Fahrzeugs oder das Eindringen in dieses verändern würden.

Während der Belastung darf die zulässige Achslast der Fahrzeuge nicht überschritten werden.

Festlegungen für Fahrzeuge unter Prüfbedingungen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Festlegungen für Fahrzeuge

<b>Masse</b> kg ±								
Gesamtprüfmasse	900 ± 40	1 300 ± 65	1 500 ± 75	10 000 ± 300	13 000 ± 400	16 000 ± 500	30 000 ± 900	38 000 ± 1 100
Prüf-Trägheits- masse <sup>a</sup>	825 ± 40	1 300 ± 65	1 500 ± 75	10 000 ± 300	13 000 ± 400	16 000 ± 500	30 000 ± 900	38 000 ± 1 100
Einschließlich Höchstballast <sup>b</sup>	100	160	180	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
ATD eingebaut	78 ± 4	Nicht erforderlich						
<b>Maße</b> m (Grenzabweichung ± 15 %)								
Radspur (vorne und hinten)	1,35	1,40	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Radradius (unbelastet)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	0,46	0,52	0,52	0,55	0,55
Radstand (zwischen den äußersten Achsen)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	4,60	6,50	5,90	6,70	11,25
<b>Lage des Masse- schwerpunkts<sup>c,d</sup></b> m								
Längsabstand von der Vorderachse (CGX) ± 10 %	0,90	1,10	1,24	2,70	3,80	3,10	4,14	6,20
Seitlicher Abstand von der Fahrzeug- mittellinie (CGY)	± 0,07	± 0,07	± 0,08	± 0,10	± 0,10	± 0,10	± 0,10	± 0,10
Höhe über dem Boden (CGZ):								
Fahrzeugmasse (± 10 %)	0,49	0,53	0,53	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
Last (+15 %, -5 %)	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	1,50	1,40	1,60	1,90	1,90
<b>Fahrzeugart</b>	PKW	PKW	PKW	LKW ohne Anhänger	Bus	LKW ohne Anhänger	LKW ohne Anhänger	Sattelzug
Anzahl der Achsen <sup>e</sup>	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1	1 S + 1/2	2 S + 2	1 S + 3/4
<sup>a</sup>	Bei Lastkraftwagen (HGV): einschließlich Last.							
<sup>b</sup>	Einschließlich Mess- und Aufzeichnungseinrichtungen.							
<sup>c</sup>	Die Lage des Masseschwerpunkts des Fahrzeugs muss bestimmt werden, wenn sich im PKW kein ATD befindet.							
<sup>d</sup>	Die Lage des Masseschwerpunkts eines zweiachsigen Fahrzeugs muss nach ISO 10392 bestimmt werden.							
<sup>e</sup>	S: Lenkachse							

## 6 Fahrzeuginstrumentierung

### 6.1 Für die Berechnung von ASI und THIV erforderliche Fahrzeuginstrumentierung

Das Fahrzeug ist mindestens mit einem Beschleunigungsmessgerät für die Messung in Längsrichtung (vorwärts), einem Beschleunigungsmessgerät für die Messung in seitlicher Richtung (seitwärts), einem Beschleunigungsmessgerät für die Messung in vertikaler Richtung (abwärts) und optional mit einem Winkelgeschwindigkeits-Sensor (Geschwindigkeits-Messfühler) auszustatten. Die Beschleunigungsmessgeräte müssen auf dem Tunnel gemeinsam an einem Punkt (*P*) in der Nähe der vertikalen Projektion des Masseschwerpunkts des unverformten Fahrzeugs angebracht werden, aber nicht weiter als 70 mm längs und 40 mm seitlich vom Masseschwerpunkt entfernt.

Messungen, die vor der Veröffentlichung von EN 1317-1:2010 mit Beschleunigungsmessgeräten erfolgten, die an einem Aufbau in der Nähe des Masseschwerpunkts angebracht wurden, sind zulässig.

Die Erfahrung zeigt, dass die tatsächliche Anordnung des Satzes der Beschleunigungsmessgeräte aufgrund von physikalischen Zwängen mehr als 70 mm längs vom Masseschwerpunkt entfernt erfolgen kann; in diesem Fall können durch Winkelbewegungen erhebliche Unterschiede zwischen den gemessenen Beschleunigungen und denen am Masseschwerpunkt auftreten. In diesen Fällen ist ein zweiter dreiaxialer Aufnehmersatz von Beschleunigungsmessgeräten entlang der Längsachse aufzustellen, und es ist das Verfahren nach 6.3 durchzuführen.

Der Gierwinkel muss mit einer Grenzabweichung von  $\pm 4^\circ$  durch Integration der Giergeschwindigkeit oder mit sonstigen Hilfsmitteln bestimmt werden. Das Probenahmeintervall darf 50 ms nicht überschreiten. Der Giergeschwindigkeits-Sensor ist an einem starren Ort zu montieren, da die Winkelgeschwindigkeiten an jedem Punkt eines starren Körpers gleich sind.

### 6.2 Frequenz-Anforderungen

Die Aufnehmer, Filter und Aufzeichnungskanäle müssen der in Abschnitt 7 festgelegten Frequenzklasse entsprechen; d. h., einer Frequenzklasse CFC\_180 für die Aufzeichnungskanäle für die Beschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit (CFC\_60 gefilterte Daten dürfen für die graphische Darstellung der Beschleunigungsdaten verwendet werden). Darüber hinaus müssen sie ISO 6487 entsprechen.

Diese Festlegung für die Filter bedeutet, dass die Daten mit einem Probenahmeintervall von mindestens 2 kHz erfasst werden müssen.

Da die Daten mithilfe von rekursiven (Butterworth-)Filtern gefiltert werden, sollten mehr Daten erfasst werden, als tatsächlich für die spezielle Analyse erforderlich sind. Ein rekursiver Filter erzeugt zu Beginn und am Ende der Datenaufzeichnung stets „anfängliche Übergangsvorgänge“ und benötigt eine bestimmte Zeit, um sich „einzupegeln“. Es müssen daher zu Beginn und am Ende zusätzlich 500 ms lang Daten erfasst werden; diese zusätzlichen Daten können nach dem Filtern verworfen werden.

Neben der Probenahmerate und der Filterfrequenz müssen auch die Kanal-Amplitudenklasse (CAC) für jedes der Beschleunigungsmessgeräte und der Kreisel mit zwei Freiheitsgraden festgelegt werden, um sicherzustellen, dass die Ausgabedaten der Aufnehmer und des Aufzeichnungssystems nicht „verstümmelt“ werden, während noch Höchstwerte erzeugt werden, die einen beträchtlichen Anteil an „Vollausschlägen“ aufweisen, um so eine übermäßige „Quantisierung“ im Digitalisierungsprozess zu vermeiden. Geeignete Werte für die CAC sind anhand der Untersuchung von Testdaten auszuwählen und im Prüfbericht anzugeben.

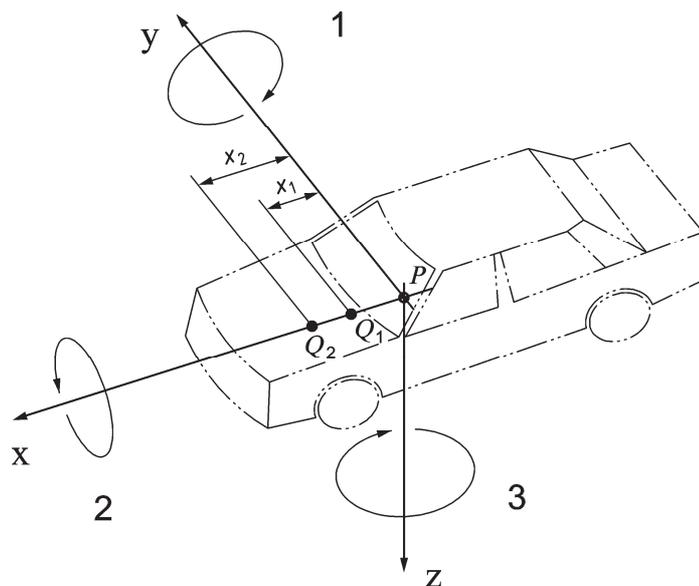
Um den Moment der ersten Berührung des Fahrzeugs mit dem Fahrzeug-Rückhaltesystem anzuzeigen, muss ein Berührungsanzeiger verwendet werden.

### 6.3 Ausgleich bei Verlagerung der Instrumentierung vom Masseschwerpunkt des Fahrzeugs

Fahrzeugbeschleunigungen werden bei der Auswertung von Prüfergebnissen mithilfe des ASI, der THIV und des Flugweg-Modells genutzt. Ein Satz von Beschleunigungsmessgeräten sollte möglichst nah am Masseschwerpunkt des Fahrzeugs (Punkt  $P$ ) aber nicht weiter als 70 mm längs und 40 mm seitlich vom Masseschwerpunkt des Fahrzeugs entfernt aufgestellt werden. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass dies aufgrund von physikalischen Zwängen innerhalb des Fahrzeugs nicht immer möglich ist. Deshalb kann die tatsächliche Anordnung der Beschleunigungsmessgeräte mehr als 70 mm vom Masseschwerpunkt entfernt erfolgen; in diesem Fall können, abhängig vom Ausmaß des Versatzes, erhebliche Unterschiede zwischen den gemessenen Beschleunigungen und denen am Masseschwerpunkt auftreten, aufgrund der Winkelbewegungen.

Diese Unterschiede können durch die Anwendung zusätzlicher Messgeräte auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Dafür muss zusätzlich zu dem ursprünglichen Satz von 3 Beschleunigungsmessgeräten ein zweiter dreiaxialer Satz entlang der  $x$ -Achse (Längsachse) aufgestellt werden, wie in Bild 5 dargestellt.

Nach Bild 5 befindet sich Punkt  $Q$  entlang der  $x$ -Achse in einer Entfernung  $x$  vom Punkt  $P$  (nah am Masseschwerpunkt). Nach der Vorzeichenkonvention in Bild 5 ist  $x$  positiv, wenn Punkt  $Q$  vor dem Masseschwerpunkt liegt, und negativ, wenn er sich hinter diesem befindet.



#### Legende

- 1 Nicken
- 2 Rollen
- 3 Gieren

Bild 5 — Vorzeichenkonvention und Anordnung der Beschleunigungsmessgeräte

$$\begin{aligned}
 a_{xQ} &= a_{xP} - x(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{yQ} &= a_{yP} + x(\dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y) \\
 a_{zQ} &= a_{zP} - x(\dot{\omega}_y - \omega_x \omega_z)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dabei ist

- $a_{xQ}, a_{yQ}, a_{zQ}$  die Beschleunigung des Punktes  $Q$  in Längsrichtung, seitlicher Richtung und vertikaler Richtung;
- $a_{xP}, a_{yP}, a_{zP}$  die Beschleunigung des Punktes  $P$  in Längsrichtung, seitlicher Richtung und vertikaler Richtung (Ursprung des Koordinatensystems);
- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  die Roll-, Nick- und die Giergeschwindigkeit (Gleichung (1) gilt, wenn  $P$  und  $Q$  Punkte auf einem starren Körper sind und Punkt  $Q$  auf der  $x$ -Achse liegt).

Werden zwei verschiedene Punkte  $Q_1$  und  $Q_2$  an unterschiedlichen Positionen auf der  $x$ -Achse festgelegt und werden die an diesen Punkten gemessenen Größen mit den Indexwerten 1 und 2 versehen, sind die Beschleunigungen an diesen Punkten nach den folgenden Gleichungen anzugeben:

$$\begin{aligned}
 a_{x1} &= a_{xP} - x_1(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{x2} &= a_{xP} - x_2(\omega_y^2 + \omega_z^2) \\
 a_{y1} &= a_{yP} + x_1(\dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y) \\
 a_{y2} &= a_{yP} + x_2(\dot{\omega}_z + \omega_x \omega_y) \\
 a_{z1} &= a_{zP} - x_1(\dot{\omega}_y - \omega_x \omega_z) \\
 a_{z2} &= a_{zP} - x_2(\dot{\omega}_y - \omega_x \omega_z)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

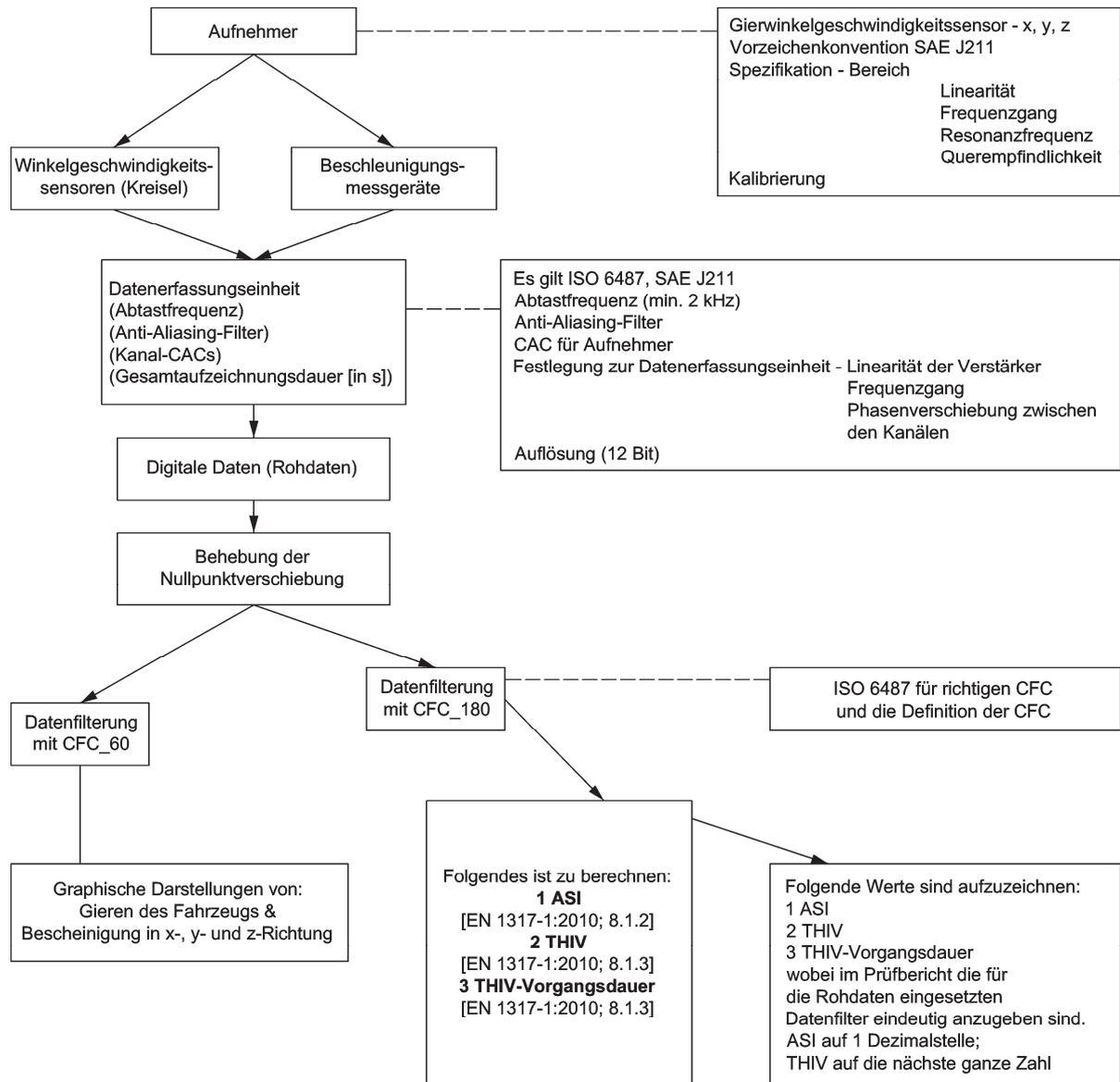
Nach Gleichung (2) müssen die Beschleunigungen des Punktes  $P$  wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 a_{xP} &= \frac{x_1 a_{x2} - x_2 a_{x1}}{x_1 - x_2} \\
 a_{yP} &= \frac{x_1 a_{y2} - x_2 a_{y1}}{x_1 - x_2} \\
 a_{zP} &= \frac{x_1 a_{z2} - x_2 a_{z1}}{x_1 - x_2}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

**ANMERKUNG** Gleichung (1) gilt für jede Orientierung der  $x$ -Achse; demzufolge gilt Gleichung (3) nur dann, wenn die 3 Punkte  $P, Q_1$  und  $Q_2$  in jeglicher Richtung auf derselben Geraden liegen.

## 7 Datenverarbeitung und Analyse

Die unter Anwendung der in Abschnitt 6 beschriebenen Instrumentierung aufgezeichneten Roh-Prüfdaten müssen nach den in Bild 6 angegebenen Verfahren verarbeitet werden:



**Bild 6 — Flussdiagramm zur Datenverarbeitung**

Zur Bestimmung der Nullpunktverschiebung sind die Daten zu verwenden, die auf den letzten 6 m des Fahrzeugweges vor dem ersten Anprall am VRS aufgezeichnet wurden. Der Mittelwert aus mindestens 100 aufeinander folgenden Abtastungen aus diesem Datensatz ist zu verwenden.

## 8 Prüfergebnisse und Berechnungen

### 8.1 Indexwerte für die Anprallheftigkeit

#### 8.1.1 Allgemeines

Die Indexwerte für die Anprallheftigkeit ASI und THIV müssen mithilfe der unter 6.1 und 6.2 festgelegten Fahrzeuginstrumentierung und unter Anwendung der folgenden Verfahren nach 8.1.2 und 8.1.3 berechnet werden. Diese Werte sind im Prüfbericht anzugeben.

#### 8.1.2 Zusammenfassung des Verfahrens zur Berechnung des ASI

- a) Die Messwerte für die drei Komponenten  $A_x$ ,  $A_y$  und  $A_z$  der Fahrzeugbeschleunigung sind mit den vorgeschriebenen Geräten aufzuzeichnen.

Im Allgemeinen werden derartige Messwerte als Magnetaufzeichnungen in Form von drei Reihen aus  $N$  Nummern gespeichert, die bei einer bestimmten Abtastrate  $S$  (Datensätze je Sekunde) aufgenommen wurden.

Für drei derartige Messreihen:

$$A_x(1), A_x(2), \dots, A_x(k-1), A_x(k), A_x(k+1), \dots, A_x(N)$$

$$A_y(1), A_y(2), \dots, A_y(k-1), A_y(k), A_y(k+1), \dots, A_y(N)$$

$$A_z(1), A_z(2), \dots, A_z(k-1), A_z(k), A_z(k+1), \dots, A_z(N)$$

ist die Fallbeschleunigung  $g$  die Maßeinheit.

- b) Um die Daten mit einem 4-poligen, phasenlosen Butterworth-Digitalfilter zu filtern, sind die folgenden Schritte durchzuführen:

- 1) Berechnung der Koeffizienten:

$$T = 1/S = \text{Abtastrate in Sekunden}$$

$$CFR = 13 \text{ Hz} = \text{Filter-Grenzfrequenz}$$

$$w_d = 2 \pi CFR \tag{4}$$

$$w_a = \frac{\sin\left(w_d \frac{T}{2}\right)}{\cos\left(w_d \frac{T}{2}\right)} = \tan\left(w_d \frac{T}{2}\right)$$

$$a_0 = \frac{w_a^2}{\left(1 + \sqrt{2}w_a + w_a^2\right)}$$

$$a_1 = 2a_0$$

$$a_2 = a_0$$

$$b_1 = \frac{-2(w_a^2 - 1)}{\left(1 + \sqrt{2}w_a + w_a^2\right)}$$

$$b_2 = \frac{-(1 + \sqrt{2}w_a - w_a^2)}{(1 + \sqrt{2}w_a + w_a^2)}$$

2) Für jede der drei Beschleunigungskomponenten gilt:

wenn  $X(k)$  das  $k$ -te Element einer Messreihe ist

und  $Y(k)$  das  $k$ -te Element einer gefilterten Reihe ist:

$$Y(k) = a_0X(k) + a_1X(k-1) + a_2X(k-2) + b_1Y(k-1) + b_2Y(k-2) \quad (5)$$

Dabei müssen die Koeffizienten  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  und  $b_2$  mit Gleichung (4) berechnet werden.

Die Gleichung (5) stellt einen 2-poligen Filter dar. Um einen 4-poligen, phasenlosen Filter anzuwenden, müssen die Daten zweimal den Filter durchlaufen. Wenn Daten vorwärts und rückwärts durch den Filter laufen, findet keine Phasenverschiebung dieser Daten durch den Filter statt.

Die Anlaufphase des Digitalfilters führt zur selben Rückmeldung wie das Anlegen des Signals an den Eingang eines analogen Filters. Der digitale Filteralgorithmus behandelt von null verschiedene Anfangsdaten als eine Stufenfunktion und reagiert mit einer typischen, unterdämpften Rückmeldung zweiter Ordnung. Wenn die zu filternden Daten in ausreichender Menge Daten vor und nach dem Ereignis enthalten, können die Anfangsbedingungen ignoriert werden, da die Filterrückmeldung auf den Stufenwert der Anfangsdaten abgeklungen sein wird, bevor das Ereignis beginnt. Zu diesem Zwecke müssen Daten mindestens 500 ms vor dem Kontakt und 500 ms nach dem Ereignis aufgezeichnet werden.

c) Der ASI ist als Funktion der Zeit zu berechnen:

$$\text{ASI}(k) = \left[ \left( \bar{A}_x / 12 \right)^2 + \left( \bar{A}_y / 9 \right)^2 + \left( \bar{A}_z / 10 \right)^2 \right]^{0,5} \quad (6)$$

Dabei sind

$\bar{A}_x$ ,  $\bar{A}_y$ ,  $\bar{A}_z$  die gefilterten Komponenten der Beschleunigung.

d) Der Höchstwert der Reihe der  $\text{ASI}(k)$  stellt den **ASI** dar.

e) Der ASI ist auf mindestens 2 Dezimalstellen zu berechnen und mit einer Dezimalstelle nach mathematischer Rundung anzugeben, d. h.  $1,44 = 1,4$ ,  $1,45 = 1,5$ .

### 8.1.3 Verfahren zur Berechnung der THIV

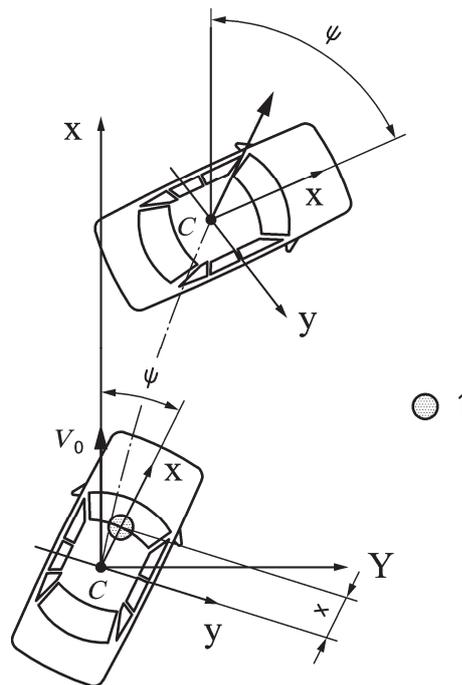
#### 8.1.3.1 Allgemeines

Der Begriff der theoretischen Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (THIV) wurde entwickelt, um die Anprallheftigkeit von Insassen solcher Fahrzeuge auszuwerten, die mit einem Fahrzeug-Rückhaltesystem kollidieren. Als Insasse wird hierbei ein frei beweglicher Gegenstand (Kopf) angesehen, der bei Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit während der Berührung mit einem Fahrzeug-Rückhaltesystem seine freie Bewegung so lange beibehält, bis er eine Oberfläche im Fahrzeuginnern berührt. Das Ausmaß der Anprallgeschwindigkeit des theoretischen Kopfs wird als ein Maß für die Anprallheftigkeit des Fahrzeugs auf das Fahrzeug-Rückhaltesystem angesehen.

### 8.1.3.2 Theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs (THIV)

Es kann angenommen werden, dass zu Beginn der Berührung des Fahrzeugs mit dem Fahrzeug-Rückhaltesystem sowohl das Fahrzeug als auch der theoretische Kopf dieselbe Horizontalgeschwindigkeit  $V_0$  aufweisen, wobei sich das Fahrzeug ausschließlich translatorisch bewegt.

Es wird davon ausgegangen, dass sich das Fahrzeug während des Anpralls nur in der horizontalen Ebene bewegt, da intensive Nick- und Rollbewegungen oder vertikale Bewegungen nicht von vorrangiger Bedeutung sind, sofern sich das Fahrzeug nicht überschlägt; in diesem Fall ist die Prüfung ungültig. Dieser extreme Vorgang braucht nicht berücksichtigt zu werden, da in diesem Fall die Entscheidung zur Zurückweisung des geprüften Systems mithilfe einer Sichtprüfung oder photographischer Aufzeichnungen erfolgt.



#### Legende

- 1 theoretischer Kopf

**Bild 7 — Bezugssysteme für das Fahrzeug und den Boden**

Es sind zwei (rechtshändige) Bezugssysteme nach Bild 7 zu verwenden:

- 1) Ein Bezugssystem für das „Fahrzeug“,  $C_{xy}$ , wobei  $x$  die Längsrichtung (positiv vorwärts) und  $y$  die Querrichtung (positiv nach rechts) darstellt. Das Bezugssystem bewegt sich mit dem Fahrzeug, sodass der Ursprung  $C$  ein feststehender Punkt innerhalb des Fahrzeugs ist, an dem zwei Beschleunigungsmessgeräte und ein Giergeschwindigkeits-Messfühler eingebaut sind, der sich in der Nähe des Masseschwerpunkts befindet, jedoch nicht notwendigerweise mit diesem Punkt zusammenfällt. Dieses Bezugssystem rotiert nicht um die  $x$ -Achse (Rollen) oder die  $y$ -Achse (Nicken), kann aber frei um die  $z$ -Achse (Gieren) rotieren, sofern das Fahrzeug in dieser Weise rotiert, sodass zum Zeitpunkt  $t$  gegenüber der Ausrichtung zum Zeitpunkt  $t = 0$  ein Winkel  $\psi$  (von oben gesehen positiv in Uhrzeigerrichtung) entsteht.

Das Fahrzeug kann um alle drei Achsen rotieren; bei der Analyse wird jedoch davon ausgegangen, dass die Rotationsbewegungen um die  $x$ -Achse (Rollen) und die  $y$ -Achse (Nicken) nur geringfügig sind, sodass die Rotation effektiv nur um die  $z$ -Achse erfolgt. In diesem Fall sind die durch die Beschleunigungsmessgeräte am Punkt  $C$  aufgezeichneten Beschleunigungen (in  $m/s^2$ ) in der  $x$ - und der  $y$ -Richtung

jeweils  $a_x$  und  $a_y$ , wobei die Giergeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  (Radiant je Sekunde) mit einem Messfühler an derselben Stelle gemessen werden kann. Die gemessenen Beschleunigungen  $a_x$  und  $a_y$  entsprechen *nicht*  $\ddot{x}_C$  und  $\ddot{y}_C$ . Die Letztgenannten beziehen sich auf die zweiten Differentiale der Positionen des Fahrzeugs im Bezugssystem, die null betragen, da das Fahrzeug am System befestigt ist.

- 2) Ein „bewegtes Boden-“ Bezugssystem  $CXY$ , dessen Achse der „Fahrzeug“-Achse zu der Zeit  $t = 0$  entspricht und sich anfangs mit derselben Geschwindigkeit bewegt wie das Fahrzeug. Diese Achse ist „inertial“, d. h., sie bewegt sich ohne Beschleunigung mit konstanter Geschwindigkeit und rotiert nicht. Obwohl sich die beiden Bezugssysteme anfangs mit der Anfangsgeschwindigkeit  $V_0$  des Fahrzeugs bewegen, sollte beachtet werden, dass die Analyse ausschließlich die Änderung gegenüber dieser Anfangsgeschwindigkeit betrachtet und daher der Wert für die Anfangsgeschwindigkeit nicht in die Berechnungen mit einbezogen wird.

Da der frei bewegliche Kopf nicht beschleunigt, bevor er an eine Oberfläche im Fahrzeug prallt, müssen seine Koordinaten im Boden-Bezugssystem während der Freiflugphase seiner Bewegung konstant bleiben.

### 8.1.3.3 Fahrzeugbewegungen (in Koordinaten des bewegten, jedoch nicht rotierenden Bodensystems)

Anfangsbedingungen zu der Zeit  $t = 0$ .

$$\begin{cases} X_C = 0 & Y_C = 0 & \psi = 0 \\ \dot{X}_C = 0 & \dot{Y}_C = 0 & \dot{\psi} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Der Gierwinkel  $\psi$  muss mithilfe der Aufzeichnungen einer geeigneten Overhead-Kamera gemessen oder durch Integration der Giergeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  oder andere geeignete Mittel berechnet werden:

$$\psi(t) = \int_0^t \dot{\psi} dt \quad (8)$$

anschließend ist aus den Komponenten der Fahrzeugbeschleunigung im Bezugssystem des Bodens:

$$\begin{cases} \ddot{X}_C = a_x \cos \psi - a_y \sin \psi \\ \ddot{Y}_C = a_x \sin \psi + a_y \cos \psi \end{cases} \quad (9)$$

durch Integration die Fahrzeuggeschwindigkeit und -position zu berechnen:

$$\begin{cases} \dot{X}_C = \int_0^t \ddot{X}_C dt \\ \dot{Y}_C = \int_0^t \ddot{Y}_C dt \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} X_C = \int_0^t \dot{X}_C dt \\ Y_C = \int_0^t \dot{Y}_C dt \end{cases} \quad (11)$$

#### 8.1.3.4 Theoretische Kopfbewegung relativ zum Boden (Bezugssystem)

Die Anfangsbedingungen des Kopfs relativ zu den Achsen des „bewegten Bodensystems“ entsprechen der Anfangsposition im Fahrzeug (die Bezugssysteme stimmen per Definition zur Zeit  $t = 0$  überein). Bei  $x_0$  und  $y_0$  handelt es sich jeweils um die anfänglichen  $x$ - und  $y$ -Abstände des Kopfs von  $C$  zur Zeit  $t = 0$  ( $y_0$  wird üblicherweise mit 0 angesetzt). Der Index  $b$  wird verwendet, um den „Kopf“ zu bezeichnen und (0) steht für „zur Zeit  $t = 0$ “.

$$\begin{cases} X_b(0) = x_0 & Y_b(0) = y_0 \\ \dot{X}_b(0) = 0 & \dot{Y}_b(0) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

Da sich der Kopf in einer freien Flugbewegung befindet (ohne Beschleunigung) und das „Boden“-Bezugssystem ebenfalls nicht beschleunigt und eine Geschwindigkeit aufweist, die der Fahrzeuggeschwindigkeit zur Zeit  $t = 0$  entspricht, behält der Kopf seine Position und Geschwindigkeit im „Boden“-Bezugssystem bei, bis er an das Fahrzeuginnere prallt. Da die „Fahrzeug“-Koordinaten relativ zum Fahrzeug feststehend sind, gilt in ähnlicher Weise, dass die Verschiebung und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs bei den „Fahrzeug“-Koordinaten stets null betragen. Die Verschiebung (gegenüber der Anfangsposition) und die Geschwindigkeit des Kopfs in Bezug auf das Fahrzeug werden daher durch den Negativwert der Position und der Fahrzeuggeschwindigkeit in Bezug zu den Bodenkoordinaten gebildet.

$$\begin{aligned} X_b &= x_0 - X_C & \dot{X}_b &= -\dot{X}_C \\ Y_b &= y_0 - Y_C & \dot{Y}_b &= -\dot{Y}_C \end{aligned} \quad (13)$$

#### 8.1.3.5 Theoretische Kopfbewegung relativ zum Fahrzeug

Die Verschiebungskordinaten des theoretischen Kopfs in Bezug zum Bezugssystem des Fahrzeugs können daher nach den folgenden Gleichungen aus der Verschiebung des Fahrzeugs in Bezug zu den „Boden“-Koordinaten berechnet werden:

$$\begin{aligned} x_b(t) &= (x_0 - X_C) \cos \psi + (y_0 - Y_C) \sin \psi & X_C &= \int_0^t \dot{X}_C dt \\ y_b(t) &= -(x_0 - X_C) \sin \psi + (y_0 - Y_C) \cos \psi & Y_C &= \int_0^t \dot{Y}_C dt \end{aligned} \quad (14)$$

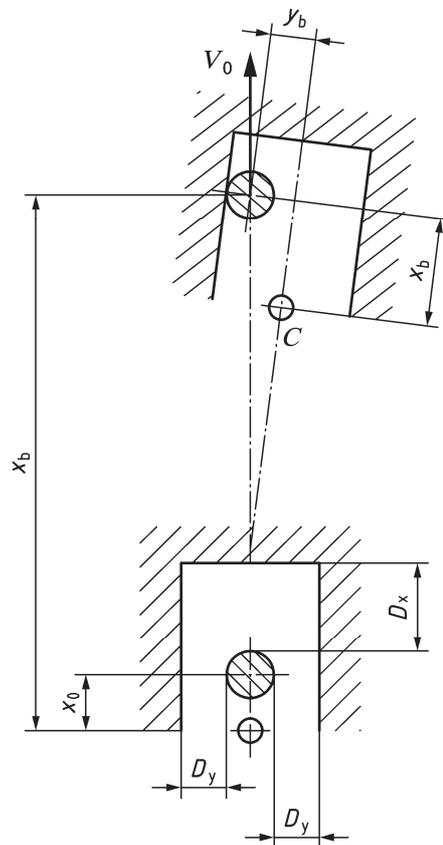
Die Geschwindigkeitskoordinaten des theoretischen Kopfs in Bezug zum Bezugssystem des Fahrzeugs sind wie folgt:

$$\begin{aligned} \dot{x}_b(t) &= -\dot{X}_C \cos \psi - \dot{Y}_C \sin \psi + y_b(t) \dot{\psi} \\ \dot{y}_b(t) &= \dot{X}_C \sin \psi - \dot{Y}_C \cos \psi - x_b(t) \dot{\psi} \end{aligned} \quad (15)$$

Die Ausdrücke  $x_b(t) \dot{\psi}$  und  $y_b(t) \dot{\psi}$  ergeben sich aus der Geschwindigkeit eines Punkts im rotierenden Bezugssystem mit den Koordinaten  $(x_b, y_b)$  in diesem System. Die Winkelgeschwindigkeit  $\dot{\psi}$  ist in Radiant je Sekunde (rad/s) und nicht in Grad je Sekunde ( $^\circ/s$ ) zu messen. Diese Geschwindigkeiten sind von den Geschwindigkeiten des Kopfs im (nicht rotierenden) Bezugssystem des Bodens abzuziehen, um so die Geschwindigkeiten des Kopfs in Bezug zum (rotierenden) Bezugssystem des Fahrzeugs bestimmen zu können.

### 8.1.3.6 Flugzeit

Es wird angenommen, dass die fiktiven Anprallflächen im Fahrzeuginnern eben und rechteckig zur  $x$ - und zur  $y$ -Achse des Fahrzeugs verlaufen (siehe Bild 8). Die Abstände dieser Flächen von der ursprünglichen Kopfposition (Flugwege) müssen  $D_x$  vorwärts und  $D_y$  nach beiden Seiten sein.



**Bild 8 — Anprall des theoretischen Kopfs auf der linken Seite**

Die Flugzeit des theoretischen Kopfs ist die Anprallzeit auf einer der drei fiktiven Flächen in Bild 6, d. h. die kürzeste Zeit  $T$ , wenn eine der folgenden drei Gleichwertigkeiten erfüllt ist:

$$x_b(T) = D_x + x_0; \quad \text{oder } y_b(T) = D_y; \quad \text{oder } y_b(T) = -D_y \quad (16)$$

Die Standardwerte der Flugwege müssen wie folgt sein:

$$D_x = 0,6 \text{ m} \quad D_y = 0,3 \text{ m}$$

**8.1.3.7 Wert für THIV**

Die theoretische Anprallgeschwindigkeit des Kopfs ist schließlich die Geschwindigkeit des Kopfs zur Zeit  $T$ , d. h.:

$$THIV = [V_x^2(T) + V_y^2(T)]^{0,5} \tag{17}$$

Dabei ist

$$V_x(T) = \dot{x}_b(T) \text{ und } V_y(T) = \dot{y}_b(T) .$$

Der THIV ist auf mindestens 1 Dezimalstelle zu berechnen und mit null Dezimalstellen nach mathematischer Rundung anzugeben, d. h.  $33,4 = 33$ ,  $33,5 = 34$ .

**8.1.3.8 Zusammenfassung des Verfahrens zur Berechnung der THIV**

- a) Die Fahrzeugbeschleunigungen und die Giergeschwindigkeit sind aufzuzeichnen und in digitaler Form mit der Abtaste  $S$  zu speichern. Die Datenaufzeichnung sollte mindestens 500 ms vor der Berührung mit dem Fahrzeug-Rückhaltesystem beginnen. Vor dem Beginn der Auswertung kann es erforderlich sein, jegliche Nullpunktverschiebung mit einem geeigneten Verfahren mithilfe der Daten vor dem Anprall zu entfernen. Anschließend sollten die Daten nach den Festlegungen in Abschnitt 7 gefiltert werden.
- b) Es ist eine lineare Interpolation zwischen den Messwerten für den Gierwinkel vorzunehmen, um Daten für den Gierwinkel bei der gleichen Abtaste wie bei den weiteren aufgezeichneten Daten zu erhalten; alternativ kann die Giergeschwindigkeit integriert werden, mithilfe von Integrationsroutinen geeigneter Auswertungssoftware oder wiederum alternativ mit einer geeigneter Intergrationssoftware [Gleichung (8)]:

$$\psi = \int \dot{\psi} dt \tag{18}$$

- c) Die Fahrzeugbeschleunigung ist mit „Boden“-Koordinaten (nicht rotierend) zu berechnen [Gleichung (9)]:

$$\begin{aligned} \ddot{X}_C &= a_x \cos \psi - a_y \sin \psi \\ \ddot{Y}_C &= a_x \sin \psi + a_y \cos \psi \end{aligned} \tag{19}$$

- d) Die Fahrzeugbeschleunigung ist mit „Boden“-Koordinaten (nicht rotierend) zu integrieren [Gleichungen (20), (21)].

**ANMERKUNG** Vor der Ausführung der Integrationen müssen die Beschleunigungen in Einheiten „m/s<sup>2</sup>“ und nicht in Einheiten „g“ vorliegen. Erfolgte die ursprüngliche Aufzeichnung in Einheiten von „g“, sollten die Beschleunigungen mit 9,81 multipliziert werden, sodass sich „m/s<sup>2</sup>“ ergibt.

$$\begin{cases} \dot{X}_C = \int_0^t \ddot{X}_C dt \\ \dot{Y}_C = \int_0^t \ddot{Y}_C dt \end{cases} \tag{20}$$

$$\begin{cases} X_C = \int_0^t \dot{X}_C dt \\ Y_C = \int_0^t \dot{Y}_C dt \end{cases} \tag{21}$$

- e) Die Position und die Geschwindigkeit des theoretischen Kopfs sind im Verhältnis zu den fahrzeug-bezogenen Koordinaten (rotierend) zu berechnen [Gleichungen (22) und (23)]:

$$\begin{aligned}
 x_b(t) &= (x_0 - X_c) \cos \psi + (y_0 - Y_c) \sin \psi & X_c &= \int_0^t \dot{X}_c dt \\
 y_b(t) &= -(x_0 - X_c) \sin \psi + (y_0 - Y_c) \cos \psi & Y_c &= \int_0^t \dot{Y}_c dt
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Die Geschwindigkeitskoordinaten des theoretischen Kopfs in Bezug auf das Bezugssystem des Fahrzeugs ergeben sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_b(t) &= -\dot{X}_c \cos \psi - \dot{Y}_c \sin \psi + y_b(t) \dot{\psi} \\
 \dot{y}_b(t) &= \dot{X}_c \sin \psi - \dot{Y}_c \cos \psi - x_b(t) \dot{\psi}
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

- f) Es ist der Mindestwert für  $t$  zu bestimmen, für den eine der drei Gleichungen:

$$x_b(t) = D_x + x_0 \qquad y_b(t) = D_y \qquad y_b(t) = -D_y
 \tag{24}$$

erfüllt ist.

- g) Folgendes ist zu berechnen:

$$\text{THIV} = \left[ \dot{x}_b^2(t) + \dot{y}_b^2(t) \right]^{1/2}
 \tag{25}$$

- h) Der THIV ist auf mindestens 1 Dezimalstelle zu berechnen und mit null Dezimalstellen nach mathematischer Rundung anzugeben, d. h.  $33,4 = 33$ ,  $33,5 = 34$ .

## 8.2 Index der Verformung des Cockpits (VCDI)

### 8.2.1 Verformung

Der Zweck dieses Index besteht darin, eine genormte Art der Beschreibung der Verformung des Fahrzeuginnern anzugeben, um so das Verständnis der Schwere des Anpralls zu erleichtern und er sollte den Schaden am Fahrzeug widerspiegeln, der beim Anprall mit dem Fahrzeug-Rückhaltesystem und nicht durch sekundäre Anprallvorgänge entsteht.

Der VCDI darf nur für Personenkraftwagen bestimmt werden.

Dieser Index bezeichnet sowohl den Ort als auch das Ausmaß der Verformung des Cockpits und muss aus 2 alphabetischen Zeichen und 7 numerischen Zeichen bestehen und die folgende Form aufweisen:

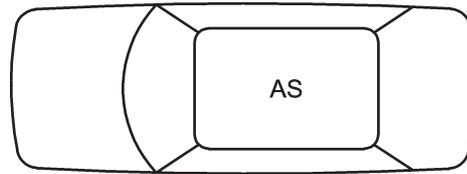
XXabcdefg

Bei den Abstandsmessungen muss die Genauigkeit  $\pm 0,02$  m betragen.

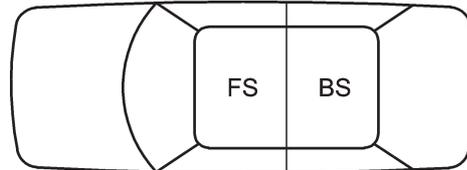
### 8.2.2 Ort der Verformung

Der Ort, an dem die Verformung des Cockpits auftritt, muss durch die beiden ersten alphabetischen Zeichen angegeben werden, wie in Bild 9 dargestellt.

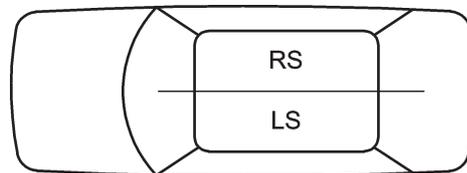
Wenn keine Verformung des Cockpits festgestellt werden kann, müssen die beiden ersten alphabetischen Zeichen ND (Keine Verformung; en: No Deformation) lauten.



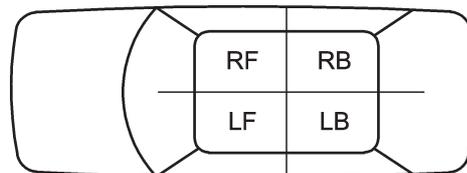
a) alle Sitze: XX = AS



b) Vordersitze: XX = FS; Rücksitze: XX = BS



c) Sitze rechts: XX = RS; Sitze links: XX = LS

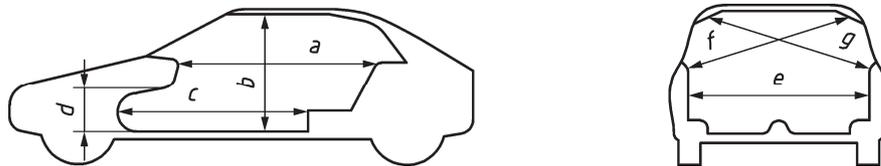


d) rechts vorne: XX = RF; rechts hinten: XX = RB  
links vorne: XX = LF; links hinten: XX = LB

**Bild 9 — Ort der Verformung des Cockpits**

### 8.2.3 Ausmaß der Verformung

Mit den 7 Teilindexwerten a, b, c, d, e, f und g muss das prozentuale Ausmaß der Verringerung von 7 Innenmaßen angegeben werden (siehe Bild 10):



#### Legende

- a Mindestabstand zwischen dem Armaturenbrett und der Oberseite des Rücksitzes
- b Mindestabstand zwischen dem Dach und dem Fahrzeugboden
- c Mindestabstand zwischen dem Rücksitz und der Motorabdeckung
- d Mindestabstand zwischen der Unterseite des Armaturenbretts und dem Fahrzeugboden
- e minimale Innenbreite zwischen den rechten und linken Unterkanten der Fenster
- f Mindestabstand zwischen der Unterkante des rechten Fensters und der Oberkante des linken Fensters
- g Mindestabstand zwischen der Unterkante des linken Fensters und der Oberkante des rechten Fensters

**Bild 10 — Innenmaße**

Die Teilindexwerte a, b, c und d müssen auf der rechten Seite, linken Seite oder der Mittellinie des Fahrzeugs gemessen werden, je nachdem wo sich die größte Verformung befindet.

Die Teilindexwerte e, f und g müssen vorne, in der Mitte oder hinten im Cockpit gemessen werden, je nachdem wo sich die größte Verformung befindet.

Die Werte für jeden der 7 numerischen Teilindexwerte müssen nach der folgenden Skala bestimmt werden:

- wenn die Verringerung kleiner oder gleich 3 % ist;
- wenn die Verringerung mehr als 3 % und maximal 10 % beträgt;
- wenn die Verringerung mehr als 10 % und maximal 20 % beträgt;
- wenn die Verringerung mehr als 20 % beträgt oder infolge der Verformung nicht gemessen werden kann.

Wenn die Verringerungen mehr als 10 % betragen, muss eine photographische Beschreibung der verformten Teile dem Prüfbericht beigefügt werden.

Alle Erhöhungen müssen als „0“ angegeben werden.

8.2.4 Beispiele (informativ)

Beispiel 1

	Messung vor der Anprallprüfung cm	Messung nach der Anprallprüfung cm	Verringerung von weniger als 3 %	Verringerung von mehr als 3 % und maximal 10 %	Verringerung von mehr als 10 % und maximal 20 %	Verringerung beträgt mehr als 20 % oder kann nicht gemessen werden
a	163,5	161,5	x			
b	105,5	104,5	x			
c	128,5	123,0		x		
d	32,0	34,0	x			
e	129,0	126,0	x			
f	126,0	130,0	x			
g	126,0	130,0	x			

VCDI = RS0010000

Beispiel 2

	Messung vor der Anprallprüfung cm	Messung nach der Anprallprüfung cm	Verringerung von weniger als 3 %	Verringerung von mehr als 3 % und maximal 10 %	Verringerung von mehr als 10 % und maximal 20 %	Verringerung beträgt mehr als 20 % oder kann nicht gemessen werden
a	169,5	164,0	x			
b	104,5	105,0	x			
c	127,5	107,0			x	
d	31,0	20,0				x
e	129,0	128,5	x			
f	125,5	128,0	x			
g	125,5	127,0	x			

VCDI = RS0023000

## Anhang A (informativ)

### Berechnung des Index für die Schwere der Beschleunigung (ASI)

Der Index für die Schwere der Beschleunigung (ASI) ist eine Funktion der Zeit und wird nach der folgenden Gleichung (A.1) berechnet:

$$ASI(t) = \left[ (\bar{a}_x / \hat{a}_x)^2 + (\bar{a}_y / \hat{a}_y)^2 + (\bar{a}_z / \hat{a}_z)^2 \right]^{0,5} \quad (A.1)$$

Dabei sind

$\hat{a}_x, \hat{a}_y, \hat{a}_z$  die Grenzwerte für die Komponenten der Beschleunigung entlang der Körperachsen  $x, y,$  und  $z$ ;

$\bar{a}_x, \bar{a}_y, \bar{a}_z$  die Komponenten der Beschleunigung, die mit einem 4-poligen, phasenlosen, Butterworth-Tiefpass-Digitalfilter gefiltert werden und eine Grenzfrequenz von 13 Hz aufweisen.

Der ASI-Index ist dafür vorgesehen, ein Maß für die Heftigkeit der Bewegung anzugeben, die auf eine Person wirkt, die sich während eines Anpralls des Fahrzeugs am Rückhaltesystem im Fahrzeug befindet.

Beim Tiefpassfiltern wird die Tatsache berücksichtigt, dass Fahrzeugbeschleunigungen durch relativ weiche Berührungen, die die höchsten Frequenzen nicht übersteigen können, auf den Körper des Insassen übertragen werden können. Anstatt den früheren gleitenden Durchschnitt von 50 ms zu verwenden, wurde ein 4-poliger, phasenloser, Butterworth-Filter zur Verringerung der Streuung von Ergebnissen durch eine Verringerung der Empfindlichkeit für die Schwingungen des Beschleunigungsmessgeräts eingeführt. Der Wert von 13 Hz wurde für die Grenzfrequenz gewählt, da dieser im Durchschnitt den mit dem vorherigen Verfahren berechneten ASI-Wert nicht verändert.

Die Gleichung (A.1) ist die einfachstmögliche Gleichung zu den Wechselbeziehungen der drei Variablen  $x, y$  und  $z$ : Wenn zwei beliebige Komponenten der Fahrzeugbeschleunigung null betragen, erreicht der ASI den Grenzwert 1, sobald die dritte Komponente die Grenzbeschleunigung erreicht; betragen jedoch zwei oder drei Komponenten nicht null, kann der ASI 1 betragen, auch wenn die einzelne Komponenten wesentlich unter den relevanten Grenzwerten liegen.

Als Grenzbeschleunigungen gelten die Werte, unterhalb derer das Risiko für die Insassen sehr gering ist (nur geringe Verletzungen, sofern sie auftreten).

Für angeschnallte Insassen gelten folgende allgemein angewendete Grenzbeschleunigungen:

$$\hat{a}_x = 12g, \quad \hat{a}_y = 9g, \quad \hat{a}_z = 10g \quad (A.2)$$

Dabei ist

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \text{ der Bezugswert für die Beschleunigung.}$$

Nach Gleichung (A.1) ist der ASI eine dimensionslose Größe, die eine Skalarfunktion der Zeit und allgemein eine Funktion des gewählten Fahrzeugpunkts ist und ausschließlich positive Werte annimmt. Je weiter der ASI über 1 liegt, desto höher ist das Sicherheitsrisiko für die Insassen, wenn der Punkt die Sicherheitsgrenzwerte überschreitet; deshalb wird der bei einer Kollision erreichte Höchstwert des ASI als eindeutiger Wert der Schwere bzw. wie folgt angenommen:

$$ASI = \max [ASI(t)] \quad (A.3)$$

## Anhang B (informativ)

### Fahrzeugbeschleunigung — Messung und Berechnungsverfahren

#### B.1 Einleitung

Während eines Anpralls kann die Beschleunigung eines Fahrzeugs aufgrund von Winkelgeschwindigkeiten und -beschleunigungen von einem Fahrzeugpunkt zu einem anderen variieren. Folglich ist es möglich, dass die Messung an einem einzigen Punkt nicht ausreicht, um das vollständige Beschleunigungsfeld innerhalb eines Fahrzeugs zu bestimmen.

Im Allgemeinen besteht während einer Kollision ein Innenbereich in einem Fahrzeug, der mehr oder weniger starr bleibt, abgesehen von Aufbauschwingungen, die ausgefiltert werden, wenn ein geeigneter Tiefpassfilter angewendet wird.

In diesem Anhang werden zwei Verfahren zur Bestimmung der vollständigen Beschleunigung eines Fahrzeugs, das als starrer Körper angesehen wird, zu einer bestimmten Zeit beschrieben; wobei die Messungen zur selben Zeit durchgeführt werden. Die Sensoren für diese Messungen sollten an ortsfesten Punkten an dem Teil des Fahrzeugs angebracht werden, der ein starres Verhalten aufweist.

Die Kenntnis des vollständigen Beschleunigungsfeldes eines Fahrzeugs kann für die Berechnung der Beschleunigung an verschiedenen Punkten des Fahrzeugs oder für die Nachstellung des Fahrzeugweges durch Integration erforderlich sein.

#### B.2 Beschleunigung eines starren Körpers

Die Beschleunigung  ${}_p a$  eines beliebigen Punkts  $P$  eines starren Körpers kann als Vektordarstellung wie folgt ausgedrückt werden:

$${}_p a = {}_c a + \dot{\omega} \times R + \omega \times (\omega \times R) \tag{B.1}$$

Dabei ist

$${}_p a \equiv \begin{Bmatrix} p^a x \\ p^a y \\ p^a z \end{Bmatrix} \quad \text{die Beschleunigung des allgemeinen Punkts } P;$$

$${}_c a \equiv \begin{Bmatrix} c^a x \\ c^a y \\ c^a z \end{Bmatrix} \quad \text{die Beschleunigung eines Bezugspunktes } C;$$

$$\omega \equiv \begin{Bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{Bmatrix} \quad \text{die Winkelgeschwindigkeit des starren Körpers;}$$

$$R = P - C \quad \text{der Radiusvektor von Punkt } C \text{ nach Punkt } P.$$

Alternativ kann Gleichung (B.1) auch wie folgt angegeben werden:

$${}_p a = {}_c a + \dot{\omega} \wedge R + (\omega \cdot R)\omega - (\omega \cdot \omega)R \quad (\text{B.2})$$

wobei der Punkt (hinter der Variablen) das Skalarprodukt, der Punkt (über der Variablen) die zeitbezogene Ableitung und das Symbol  $\wedge$  das Vektorprodukt bezeichnet.

Gleichung (B.1) kann auch in Matrixform angegeben werden:

$$\{ {}_p a \} = \{ {}_c a \} + [A] \{ R \} \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

$$[A] = \begin{bmatrix} -\dot{\omega}_y^2 - \dot{\omega}_z^2 & \omega_x \omega_y - \dot{\omega}_z & \omega_x \omega_z + \dot{\omega}_y \\ \omega_x \omega_y + \dot{\omega}_z & -\dot{\omega}_x^2 - \dot{\omega}_z^2 & \omega_y \omega_z - \dot{\omega}_x \\ \omega_x \omega_z - \dot{\omega}_y & \omega_y \omega_z + \dot{\omega}_x & -\dot{\omega}_x^2 - \dot{\omega}_y^2 \end{bmatrix} \quad (\text{B.4})$$

und  $\{ R \}$  ist die Säulenmatrix

$$\{ R \} = \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} \quad (\text{B.5})$$

Für die Ermittlung der Beschleunigung  ${}_p a$  eines beliebigen Punkts  $P$  eines starren Körpers zu einer bestimmten Zeit  $t$  müssen entweder die Beschleunigungskomponenten  $a_x$ ,  $a_y$  und  $a_z$  an genau dem Punkt oder an einem sonstigen Punkt mit einem Abstand  $R$  vom Punkt  $P$ , zusammen mit den Komponenten  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  und  $\omega_z$ , der Winkelgeschwindigkeit des Körpers und den Komponenten  $\dot{\omega}_x$ ,  $\dot{\omega}_y$  und  $\dot{\omega}_z$  der Winkelbeschleunigung gemessen werden. Auf den ersten Blick scheint es, dass 9 Größen gemessen werden müssen. Die Winkelbeschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit sind jedoch Zeitreihen und nicht unabhängig voneinander. Da sowohl die Winkelbeschleunigung als auch die Winkelgeschwindigkeit (im Gegensatz zu Winkeln) Vektoren sind, können die Komponenten der Winkelbeschleunigung durch einfache Differentiation der Komponenten der Winkelgeschwindigkeit bestimmt werden; die Winkelgeschwindigkeit kann auch durch einfache Integration der Komponenten der Winkelbeschleunigung bestimmt werden. Somit müssen nur die Werte für sechs Größen ermittelt werden, d. h. für drei Komponenten der linearen Beschleunigung und drei Winkelkomponenten (Geschwindigkeit oder Beschleunigung), um die Beschleunigung an einem beliebigen Punkt in einem starren Körper zu berechnen.

### B.3 Verfahren zur Messung der Bewegung eines starren Körpers

Grundsätzlich sind nur sechs Messfühler erforderlich, um Werte für die sechs Größen zu erhalten. Die Größen können entweder vollständig aus Beschleunigungsmessungen oder aus einer Kombination aus Beschleunigung und Winkelmessungen berechnet werden.

Das einfachste und direkteste mit der heutigen Technik mögliche Verfahren besteht darin, drei lineare Beschleunigungsmessgeräte und drei Winkelgeschwindigkeitsmessgeräte anzuwenden. Diese Messungen ergeben die erforderlichen Größen direkt, wobei sich die Winkelbeschleunigung durch Differentiation der Winkelgeschwindigkeit ergibt.

Die vollständige Ableitung der Winkelbewegung aus Beschleunigungsmessungen ist komplizierter und kann zu einigen signifikanten Problemen führen. Grundsätzlich ist es möglich, alle erforderlichen Daten aus den Ergebnissen von sechs linearen Beschleunigungsmessungen zu bestimmen, wobei die Beschleunigungsmessgeräte in angemessener Weise innerhalb des Körpers angeordnet und ausgerichtet sind. Das Problem besteht darin, dass die Gleichungen für die Ableitung der Winkelbeschleunigung Ausdrücke für die Winkelgeschwindigkeit enthalten ( $\omega_x$ ,  $\omega_y$  usw. in Gleichung (B.3)). Diese wiederum werden aus den Winkelbeschleunigungen ( $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$ ) abgeleitet, die in den vorangegangenen Schritten der Berechnung bestimmt wurden. Der Prozess ist instabil, und schon ein kleiner Fehler in einem dieser Ausdrücke verstärkt sich rasch und führt zu großen Fehlern, sofern die Gesamtberechnung nicht auf ein sehr kurzes Zeitintervall beschränkt ist.

Ein alternatives Verfahren, das unter Anwendung von neun Beschleunigungsmessgeräten entwickelt wurde, ist bei Padgaonkar et al. beschrieben. Hier wird deutlich, dass, wenn die Beschleunigungsmessgeräte ordnungsgemäß angeordnet und ausgerichtet sind, die Ausdrücke für die Winkelgeschwindigkeit aus den Gleichungen gestrichen und so die Winkelbeschleunigungen direkt als Ausgang der Beschleunigungsmessgeräte angegeben werden können. Die Winkelgeschwindigkeiten können anschließend durch Integration berechnet werden, jedoch werden diese Winkelgeschwindigkeiten *nicht* wieder in die Ableitung der Winkelbeschleunigung mit einbezogen, sodass die Lösungen stabil sind.

Ist bei der Anordnung der Beschleunigungsmessgeräte vollständige Freiheit gefordert, ist es erforderlich, alle neun Elemente der Transformationsmatrix  $A$  (Gleichung (B.4)) einzeln zu berechnen, was (zusammen mit der Berechnung der drei linearen Beschleunigungen) Ausgangsdaten von nicht weniger als zwei Beschleunigungsmessgeräten erfordert. Dies wird äußerst mühselig, sowohl in Hinblick auf die Bereitstellung der Messfühler als auch auf die Berechnung und wird nicht empfohlen.

Bei jedem Versuch, eines der vorstehend beschriebenen Verfahren anzuwenden, sollte Folgendes beachtet werden:

- a) Rotiert das Fahrzeug erheblich um die Roll- oder die Nickachsen, ändert sich die Ausrichtung der Beschleunigungsmessgeräte in Bezug auf den Masseschwerpunkt; daher schließen die Ausgangsdaten der Beschleunigungsmessgeräte auch eine Komponente der Schwerkraft sowie die Beschleunigung in Bezug zum Boden ein. Die Schwerkraft hat keinen Einfluss auf die Berechnungen der Winkelbewegung; werden die Ergebnisse jedoch für die Nachstellung des Weges genutzt, können die Auswirkungen der Schwerkraft äußerst signifikant sein und sollten in die Berechnungen mit einbezogen werden. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, das Äquivalenzprinzip anzuwenden; ein Fehler von 1  $g$  aufwärts gerichteter Beschleunigung ist zu den Daten des (anfänglich) vertikalen Beschleunigungsmessgerätes hinzuzufügen, anschließend ist die Bewegung des Fahrzeugs auf einen Satz von „Boden“-Achsen zu beziehen, die ebenfalls eine aufwärts gerichtete Beschleunigung von 1  $g$  aufweisen.
- b) Obwohl die Zweifachintegration der linearen Beschleunigung sehr erfolgreich unter Anwendung von Beschleunigungsmessgeräten sehr hoher Qualität bei Trägheitsnavigatoren von Flugzeugen eingesetzt wurde, weisen die für Anprallprüfungen angewendeten anprallgeschützten Beschleunigungsmessgeräte nur eine begrenzte Genauigkeit auf und zwar sowohl hinsichtlich der anfänglichen Messfehler (wobei die Genauigkeit fundamental durch die üblicherweise im Digitalisierer vorliegende Auflösung begrenzt wird) als auch hinsichtlich der Skalenfehler, die üblicherweise in der Größenordnung von 1 % liegen. Die Genauigkeit bei der durch Zweifachintegration der Ausgangsdaten der Anprall-Beschleunigungsmessgeräte berechneten Verschiebung nimmt mit zunehmender Zeit rasch ab. Das Verfahren sollte normalerweise nicht für Bewegungsabläufe angewendet werden, die länger als einige Sekunden andauern. Es ist stets wünschenswert, für jeden einzelnen Aufbau eine Fehleranalyse durchzuführen.

#### **B.4 Messung mit sechs linearen Aufnehmern und drei Winkelaufnehmern**

Dieses Verfahren erfordert sechs Messgeräte für die lineare Beschleunigung und drei Winkelgeschwindigkeitsaufnehmer. Drei Messgeräte für die lineare Beschleunigung und die Winkelgeschwindigkeits-Messfühler werden — auf einem einzelnen Block — im Bezugspunkt  $C$  angeordnet. Die drei Messgeräte für die lineare Beschleunigung und die drei Winkelgeschwindigkeitsaufnehmer sind wie die Fahrzeugachsen  $x$ ,  $y$  und  $z$  ausgerichtet.

Dies ergibt ein direktes Maß für  ${}_c a$  und  $\omega$ , daher bleiben nur drei Unbekannte zu bestimmen, d. h. die Komponenten von  $\dot{\omega}$ . Diese können wie folgt durch das Hinzufügen von nur drei Messgeräten für die lineare Beschleunigung bestimmt werden.

Jedes der 3 letztgenannten Beschleunigungsmessgeräte ist am Punkt  ${}_i P$  anzuordnen, wobei die Ausrichtung durch die Vektoreinheit  ${}_i n$  ( $i = 1, 2, 3$ ) bestimmt wird; nach der skalaren Multiplikation mit  ${}_i n$ , nimmt Gleichung (B.2) die folgende Form an:

$${}_i m \cdot \dot{\omega} = P_i \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

$$\begin{aligned} {}_i R &= {}_i P - C && \text{der Positionsvektor für } {}_i P; \\ {}_i m &= {}_i R \wedge {}_i n; \\ P_i &= a_i - {}_c a_i - (\omega \cdot {}_i R)\omega_i + (\omega \cdot \omega)R_i; \\ a_i &= {}_i a \cdot {}_i n && \text{der Messwert des Sensors in Punkt } {}_i P; \\ {}_c a_i &= {}_c a \cdot {}_i n && \text{die Komponente für } {}_c a \text{ in der Richtung von } {}_i n; \\ \omega_i &= \omega \cdot {}_i n && \text{die Komponente für } \omega \text{ in der Richtung von } {}_i n; \\ R_i &= {}_i R \cdot {}_i n && \text{die Komponente für } {}_i R \text{ in der Richtung von } {}_i n. \end{aligned}$$

Indem Gleichung (B.6) jeweils mit den Messwerten der letztgenannten drei Aufnehmer zusammengefasst wird, ergibt sich folgende endgültige Form:

$$[M] \{\dot{\omega}\} = \{p\} \quad (\text{B.7})$$

Dabei ist

$$[M] = \begin{bmatrix} 1m_x & 1m_y & 1m_z \\ 2m_x & 2m_y & 2m_z \\ 3m_x & 3m_y & 3m_z \end{bmatrix}; \quad \{\dot{\omega}\} = \begin{Bmatrix} \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{Bmatrix}; \quad \{p\} = \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{Bmatrix} \quad (\text{B.8})$$

Aus Gleichung (B.7) ergibt sich folgende Winkelbeschleunigung:

$$\{\dot{\omega}\} = [M]^{-1} \{p\} \quad (\text{B.9})$$

Eine derartige Lösung ist nur möglich, wenn die Matrix  $[M]$  nicht singulär ist; dies wiederum erfordert eine sorgfältige Auswahl der Punkte für  ${}_i P$  und der Ausrichtungen  ${}_i n$  ( $i = 1, 2, 3$ ) des Messfühlers.

Nach Ausführung dieser Schritte sind alle 9 kinematischen Parameter, d. h.  $\{{}_c a\}$ ,  $\{\omega\}$  und  $\{\dot{\omega}\}$ , bekannt. Diese können zur Berechnung der Beschleunigung jedes beliebigen Punkts  $P$  des Fahrzeugs mithilfe von (B.1), (B.2) oder (B.3) oder mithilfe eines geeigneten Verfahrens, zur Nachstellung des Fahrzeugwegs angewendet werden.

Eine gute Möglichkeit zur Auswahl der Position und der Ausrichtung der Aufnehmer ist in den folgenden Beispielen angegeben, bei denen sich der Punkt  $C$  in der  $xz$ -Ebene (Symmetrieebene), in der Nähe des Masseschwerpunkts des Fahrzeugs befindet, und die übrigen drei Beschleunigungsmessgeräte an zwei symmetrisch zur  $xz$ -Ebene gelegenen Punkten angeordnet sind. Es sind auch weitere geeignete Anordnungen möglich.

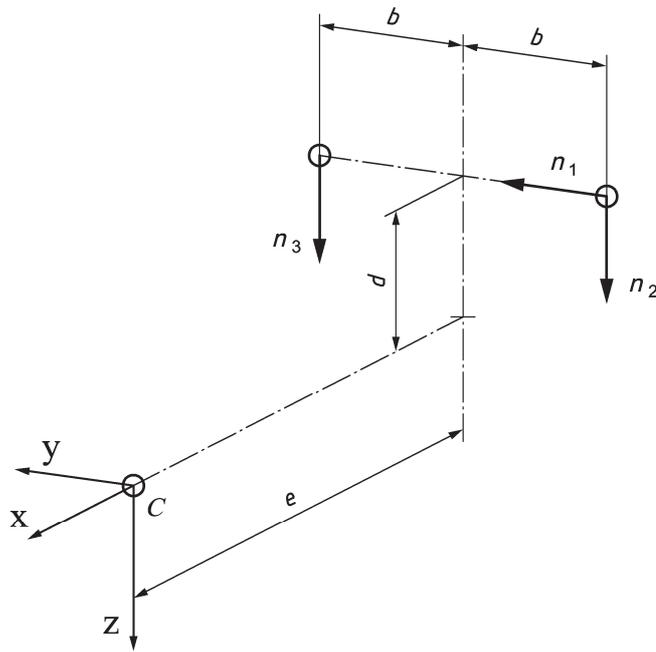


Bild B.1 — Beispiel A

$$[M] = \begin{bmatrix} d & 0 & -e \\ -b & e & 0 \\ b & e & 0 \end{bmatrix}; [M]^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1/2b & 1/2b \\ 0 & 1/2e & 1/2e \\ -1/e - d/2be & d/2be & \end{bmatrix}$$

$$\{p\} = \begin{cases} a_1 - c a_y - b (\omega_x^2 + \omega_z^2) + e \omega_x \omega_y + d \omega_y \omega_z \\ a_2 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_z + b \omega_y \omega_z \\ a_3 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_z - b \omega_y \omega_z \end{cases}$$

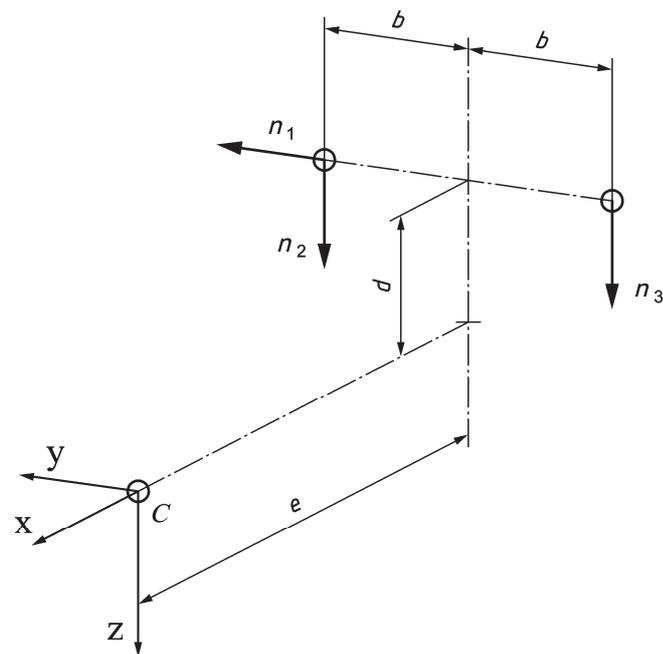


Bild B.2 — Beispiel B

$$[M] = \begin{bmatrix} d & 0 & -e \\ b & e & 0 \\ -b & e & 0 \end{bmatrix}; [M]^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2b & -1/2b \\ 0 & 1/2e & 1/2e \\ -1/e & d/2be & -d/2be \end{bmatrix}$$

$$\{p\} = \begin{Bmatrix} a_1 - c a_y + b (\omega_x^2 + \omega_z^2) + e \omega_x \omega_y + d \omega_y \omega_z \\ a_2 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_z - b \omega_y \omega_z \\ a_3 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_z + b \omega_y \omega_z \end{Bmatrix}$$

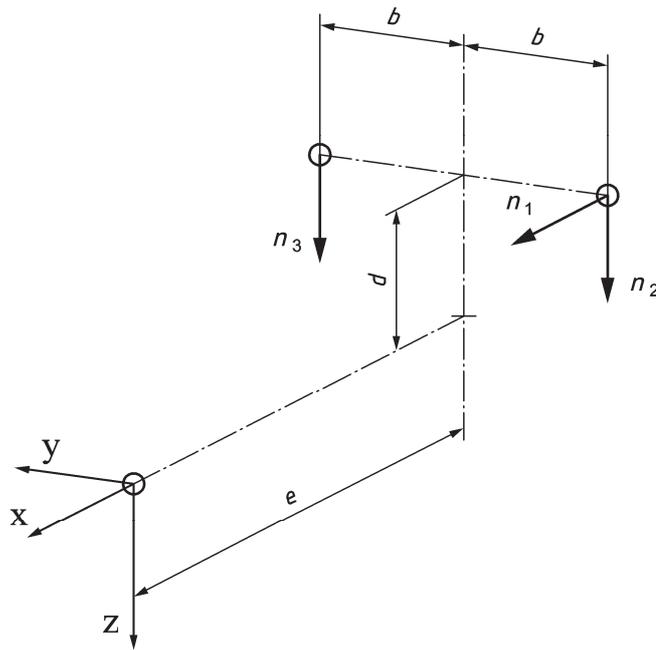


Bild B.3 — Beispiel C

$$[M] = \begin{bmatrix} 0 & -d & b \\ -b & e & 0 \\ b & e & 0 \end{bmatrix}; [M]^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1/2b & 1/2b \\ 0 & 1/2e & 1/2e \\ 1/b & d/2be & d/2be \end{bmatrix}$$

$$\{p\} = \begin{cases} a_1 - c a_x - e (\omega_y^2 + \omega_z^2) + b \omega_x \omega_y + d \omega_x \omega_z \\ a_2 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_y + b \omega_y \omega_z \\ a_3 - c a_z - d (\omega_x^2 + \omega_y^2) + e \omega_x \omega_z - b \omega_y \omega_z \end{cases}$$

## B.5 Anmerkungen

Bei dem ersten empfohlenen Verfahren sind nur Aufnehmer für die lineare Beschleunigung erforderlich, jedoch in redundanter Anzahl; dieses Verfahren ist gut für die Beurteilung der Beschleunigung eines beliebigen Punkts im Fahrzeug geeignet.

Das zweite Verfahren, das eine Mindestanzahl von Aufnehmern (6 für die lineare Beschleunigung und 3 für die Winkelgeschwindigkeit) erfordert, ist besser geeignet, wenn eine Nachstellung des Weges durchzuführen ist. Von den in den Beispielen dargestellten drei Anordnungen wird A für Kollisionen an den rechten Seite, B für Kollisionen an der linken Seite und C für Frontkollisionen empfohlen.

In jedem Fall sollten beim Vergleich der beiden Verfahren auch die Genauigkeit und die Kosten für die jeweils erforderliche unterschiedliche Anzahl von Aufnehmern berücksichtigt werden.

## Literaturhinweise

- [1] EN 1317-5:2007+A1:2008, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 5: Anforderungen an die Produkte, Konformitätsverfahren und -bescheinigung für Fahrzeugrückhaltesysteme*
- [2] prEN 1317-6, *Rückhaltesysteme an Straßen — Teil 6: Fußgängerrückhaltesysteme, Brückengeländer*
- [3] ISO 8855, *Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary*
- [4] SAE J211, *Instrumentation for Impact Test*
- [5] Padgaonkar, A.J., Krieger, K.W., King, A.I., "Measurement of Angular Acceleration of a Rigid Body Using Linear Accelerometers", presented at the 1975 Applied Mechanics Summer Conference of The American Society of Mechanical Engineers, and reprinted in the *Journal of Applied Mechanics*, September 1975