

## 6.1. Einleitung

- Sicherheitskonzept der Eisenbahn
- Definition
- Kollisionen konventioneller Fahrzeuge

## 6.2. Physik des Stoßes

- Geschwindigkeiten, Energieumwandlungen, Größe der Kollisionsenergien
- Verformungskennlinie, Kompatibilität

## 6.3. Anforderungen an kollisionsschutzgerechte Fahrzeuge

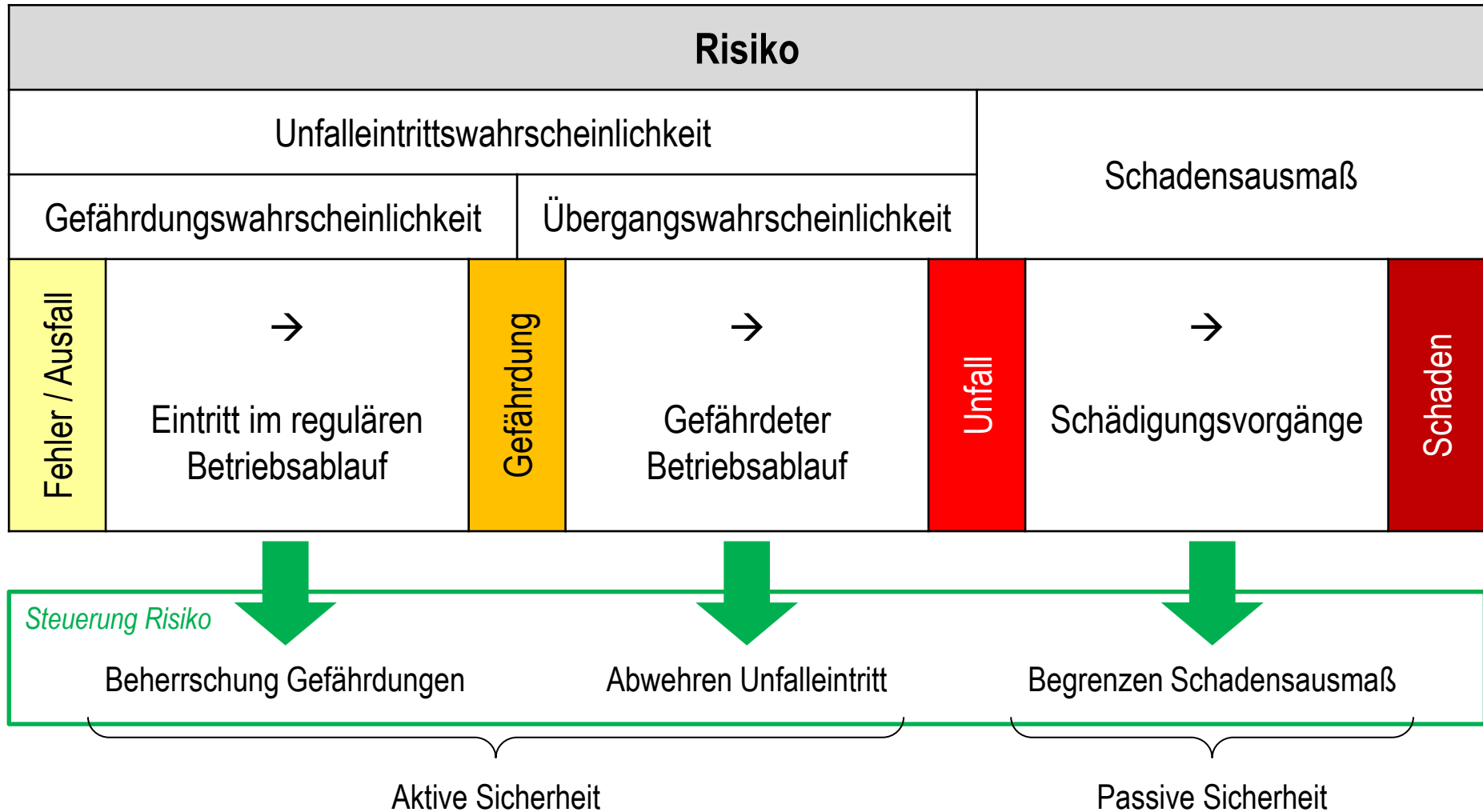
- Unfallanalysen
- Aktuelle Vorschriften
- Nachweis

## 6.4. Umsetzung der kollisionsschutzgerechten Konstruktion

- Konstruktive Beherrschung der Energien
- Energieverzehrelemente, Aufkletterschutz
- Beispiele

## 6.5. Weitere Aspekte

# Folie Risikoformel nach CSM-RA

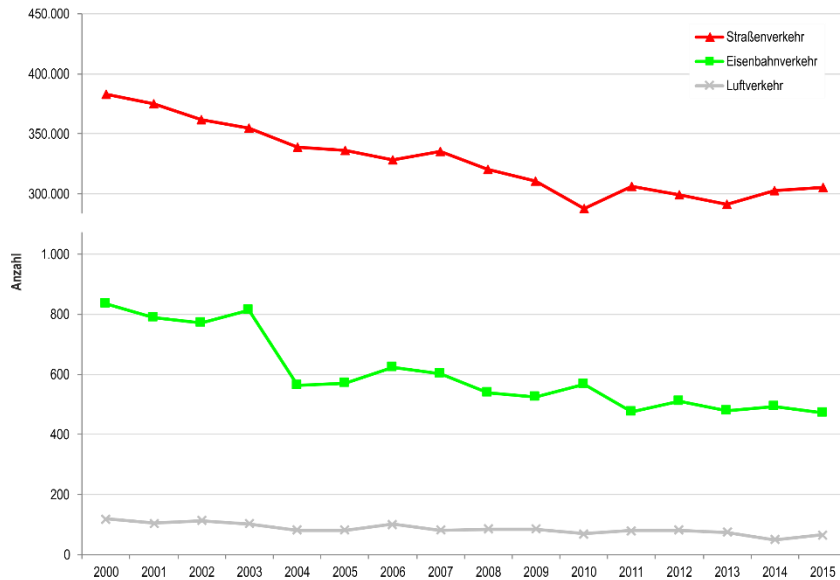


(Quelle: nach Bosse: Begriffe der Risiko- und Sicherheitsanalyse (Teil 1), EI 63(2014)10)

# Folie Unfallstatistik Deutschland

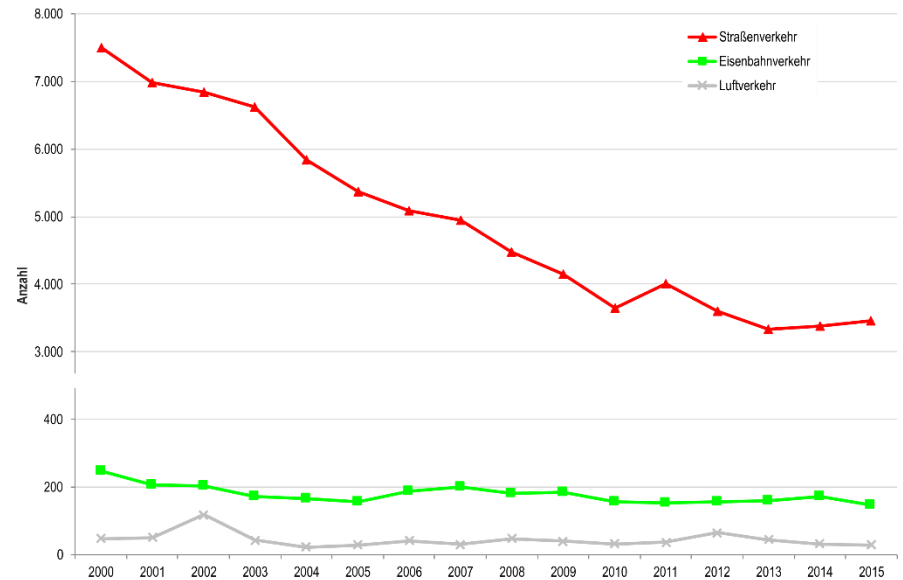
## Unfälle mit Personenschaden nach Verkehrszweigen

(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 7, Tabelle 12, 10.10.2017)



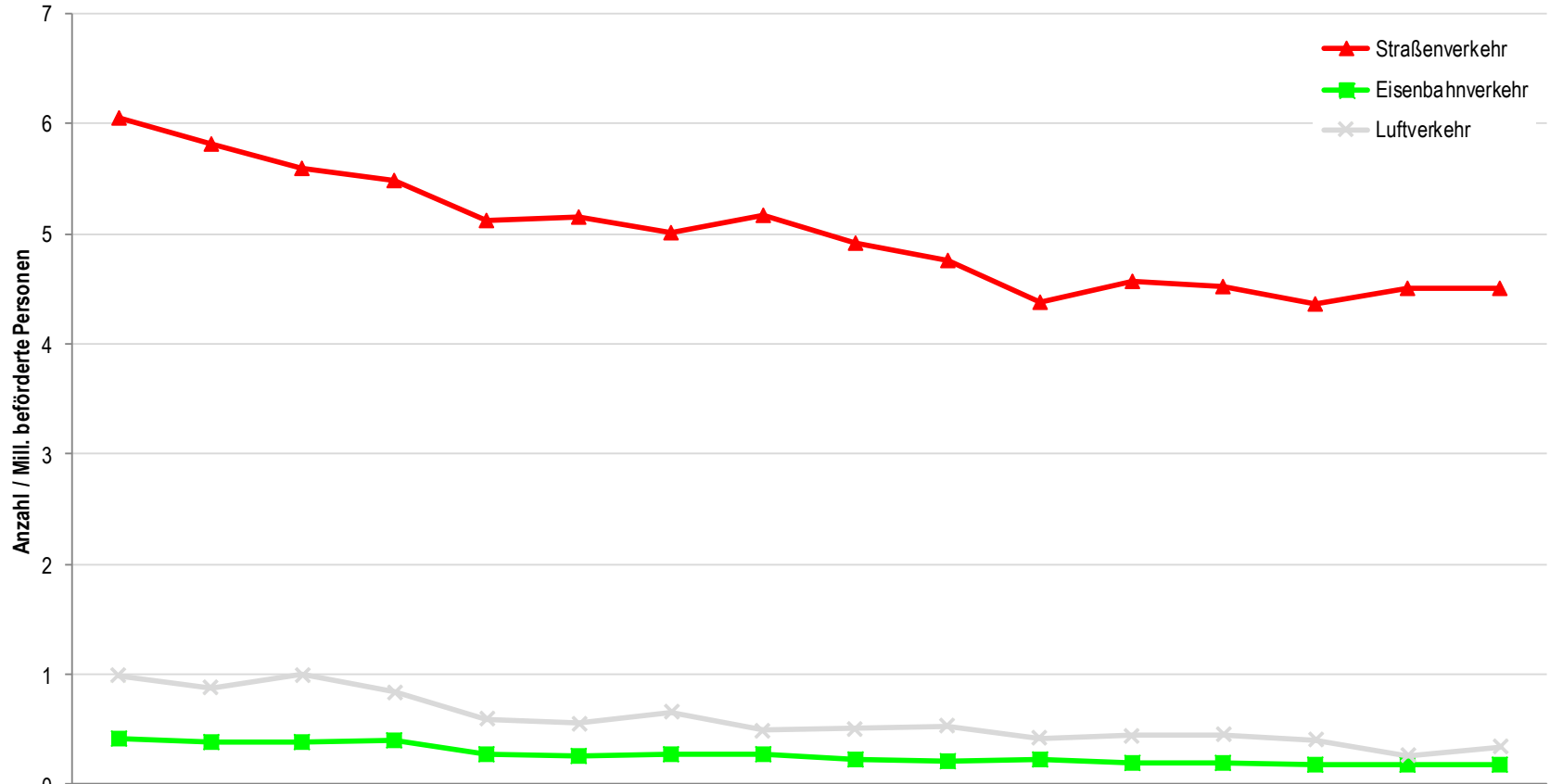
## Getötete Personen nach Verkehrszweigen

(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 7, Tabelle 12, 10.10.2017)



## Unfälle mit Personenschaden pro Mill. beförderte Personen nach Verkehrszweigen

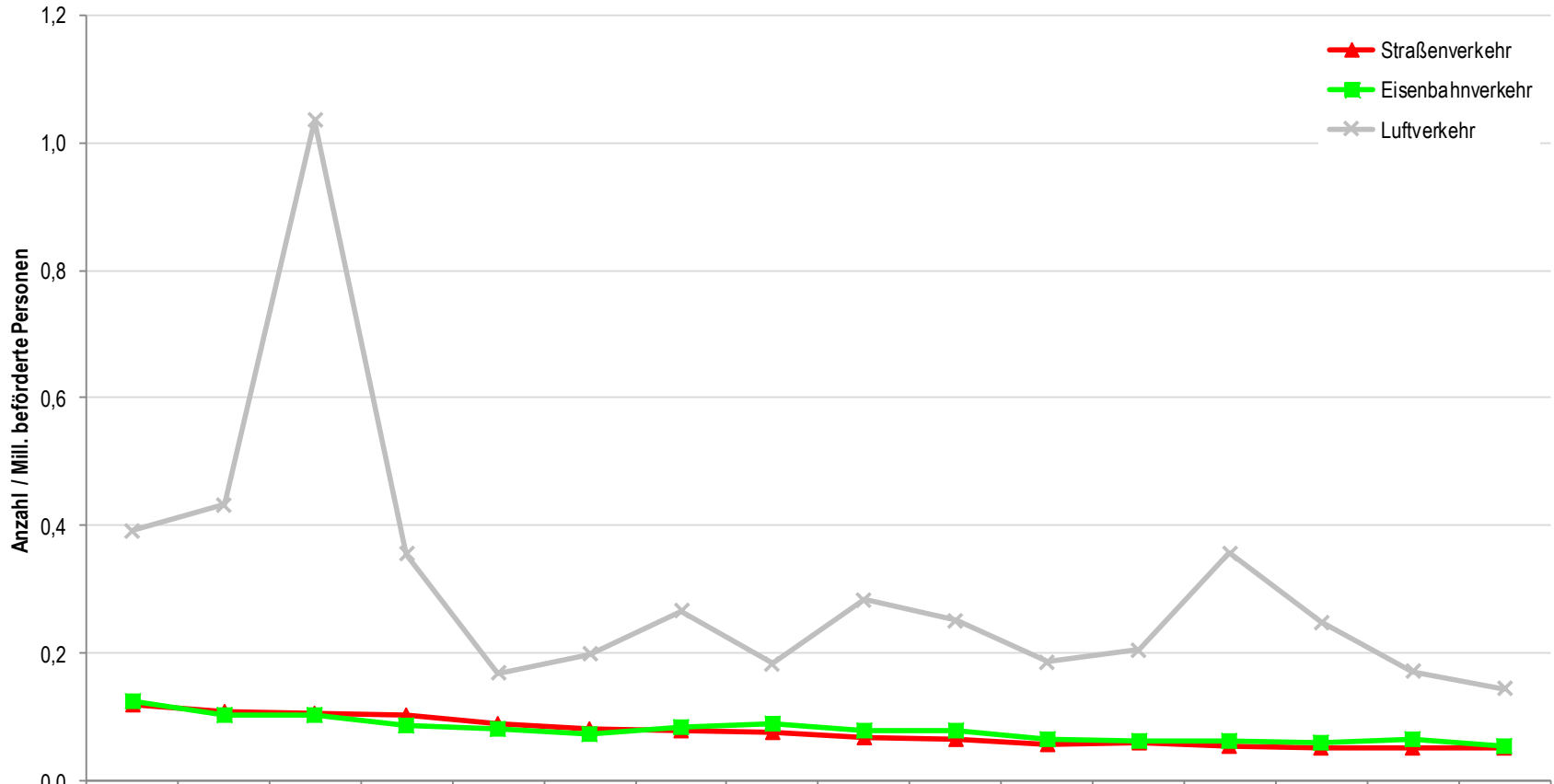
(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 1.2 (Übersicht 2, 07.11.2017), Reihe 7 (Tabelle 12, 10.10.2017))



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Straßenverkehr	6,050	5,824	5,601	5,492	5,115	5,148	5,007	5,175	4,918	4,753	4,382	4,576	4,521	4,365	4,512	4,512
Eisenbahnverkehr	0,418	0,394	0,391	0,402	0,270	0,264	0,277	0,269	0,230	0,220	0,233	0,192	0,200	0,183	0,183	0,176
Luftverkehr	0,992	0,881	1,000	0,843	0,596	0,555	0,656	0,494	0,512	0,535	0,419	0,449	0,452	0,409	0,268	0,340

## Getötete Personen pro Mill. beförderte Personen nach Verkehrszweigen

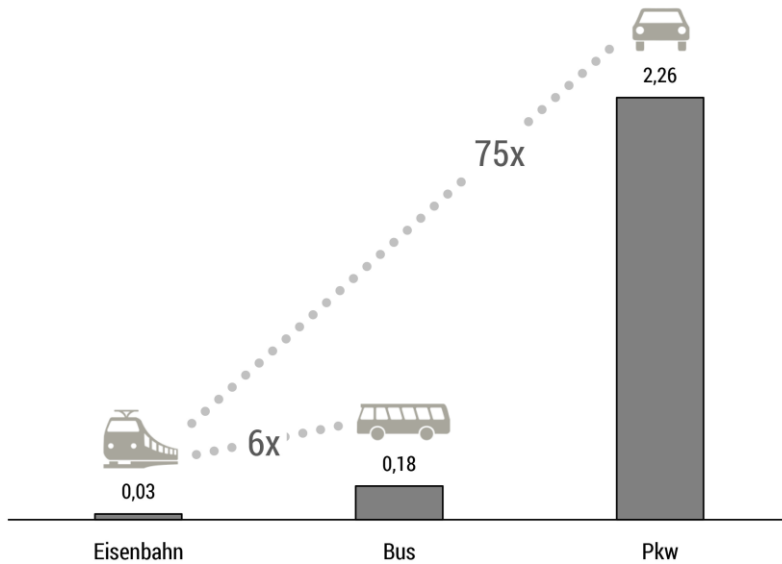
(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 1.2 (Übersicht 2, 07.11.2016), Reihe 7 (Tabelle 12, 10.10.2017))



	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Straßenverkehr	0,119	0,108	0,106	0,102	0,088	0,082	0,078	0,076	0,069	0,063	0,055	0,060	0,054	0,050	0,050	0,051
Eisenbahnverkehr	0,124	0,103	0,103	0,085	0,080	0,073	0,083	0,089	0,078	0,078	0,064	0,061	0,061	0,060	0,064	0,054
Luftverkehr	0,392	0,432	1,035	0,355	0,169	0,199	0,266	0,183	0,283	0,252	0,186	0,205	0,357	0,248	0,171	0,144

## Todesrisiko: Im Zug 75-mal geringer als im Auto

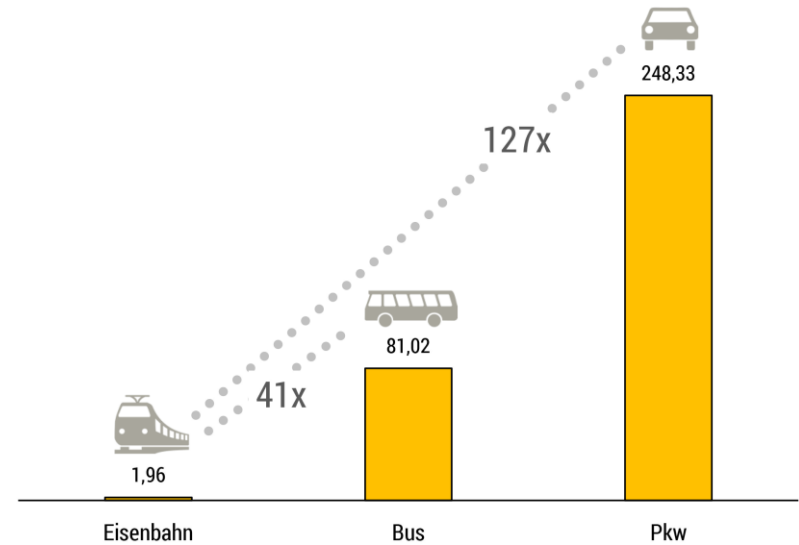
Getötete Reisende pro Milliarde Personenkilometer,  
Durchschnitt 2006-2015



Quelle: Allianz pro Schiene auf Basis von Statistisches Bundesamt. Stand 01/2017.

## Verletzungsrisiko: Im Zug 127-mal geringer als im Auto

Verletzte Reisende pro Milliarde Personenkilometer,  
Durchschnitt 2006-2015



Quelle: Allianz pro Schiene auf Basis von Statistisches Bundesamt. Stand 01/2017.

# Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen

---



Zusammenstoß von UIC-Wagen mit ca. 25 km/h



Zusammenstoß D-Zug mit Güterzug (Oebisfelde 1991)

# Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen

---



Zusammenstoß D-Zug – Güterzug (27.06.1977, Lebus)



D62 Berlin - Prag – Wien (05.12.1927, Sigmundsherberg)

# Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen



09.04.1993: Berlin-Wannsee: Frontalzusammenstoß mit  $v_{rel} \approx 140$  km/h (IC 995: Berlin- Stuttgart ↔ D 1045: Hannover-Berlin)

(Quelle: DWA; [web1.berlin089.server4free.de/v160](http://web1.berlin089.server4free.de/v160))

# Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen



Bei Freihung ist eine Regionalbahn  
Armin Weigel



Bundesministerium für Verkehr  
und digitale Infrastruktur

Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle  
des Bundes

## 2.1.29 Zugkollision am 28.10.2015 in Bonn Gbf

Am 28.10.2015 gegen 05.32 Uhr kollidierte Zug DPN 25409 bei der abweichenden Einfahrt in Bonn Gbf nach Gleis 205 auf der Weiche 51 mit einem aus Gleis 126 kommenden Zweiwegebagger. Bei der Kollision entgleist der Zweiwegebagger.



Personen wurden nicht verletzt. Der Sachschaden wurde auf ca. 60.000 Euro geschätzt.

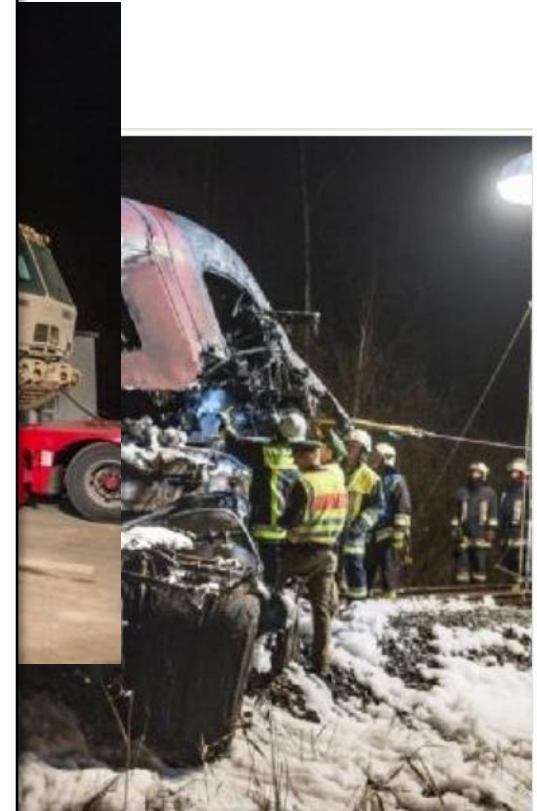
## 2.1.30 Bahnübergangsunfall am 5.11.2015 zwischen Vilseck und Freihung

Am 5.11.2015 gegen 22.00 Uhr kollidierte auf dem Bahnübergang bei Freihung in km 27,132 RE 3535 mit einem liegendebliebenen Tieflade-Sattelzug.



Quelle: Landespolizei

Der Triebfahrzeugführer und der Fahrer des Sattelzuges werden bei dem Unfall getötet. Ein Fahrgast wird schwer verletzt, 21 Personen werden leicht verletzt. Der führende Triebwagenteil 612 060-3 wird im Frontbereich zerstört, brennt teilweise aus und entgleist mit dem führenden Drehgestell. Der Oberbau der Strecke wird auf ca. 460 m Länge beschädigt und durch auslaufende Betriebsstoffe verunreinigt. Die Sachschäden wurden auf ca. 3.200.000 Euro geschätzt.



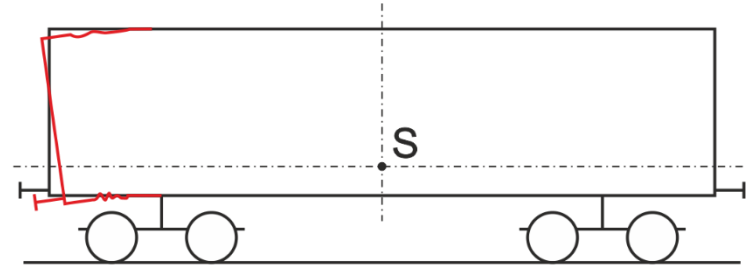
Die Front der Zugmaschine eines Sattelzuges  
nach dem Unfall. Foto: Armin Weigel

(Quelle: [www.kstaww.de](http://www.kstaww.de))

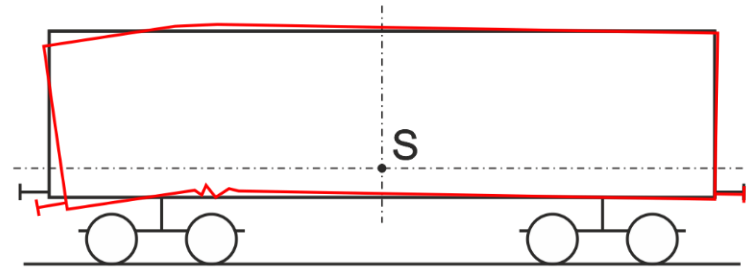
# Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen

---

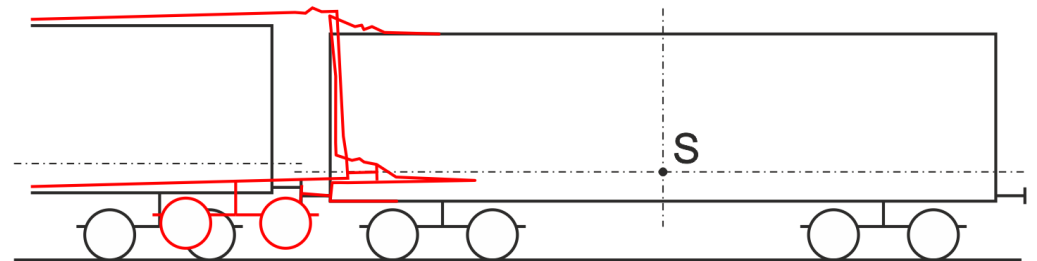
Abknicken Überhangkonstruktion



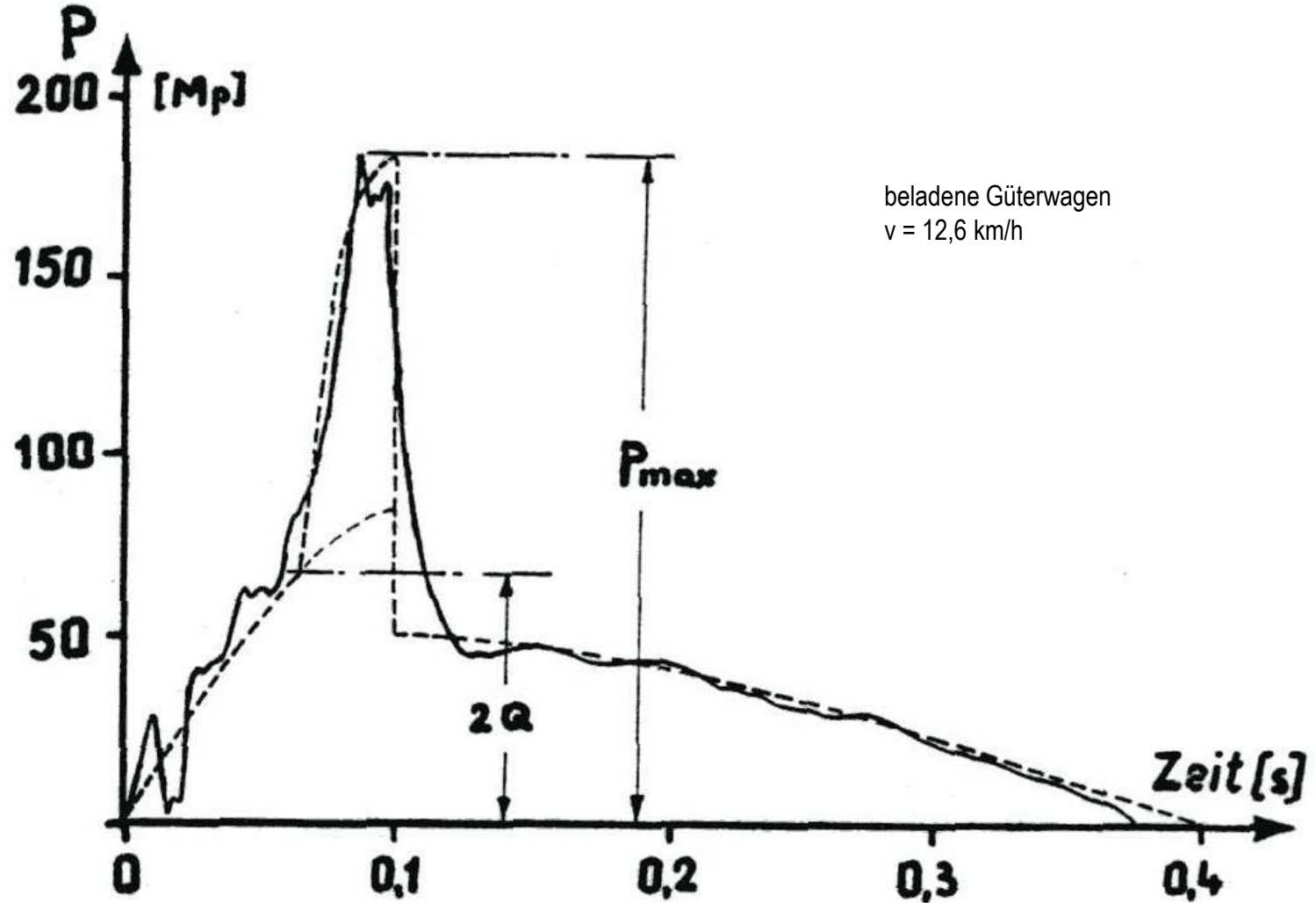
Abknicken hinter Vorbau



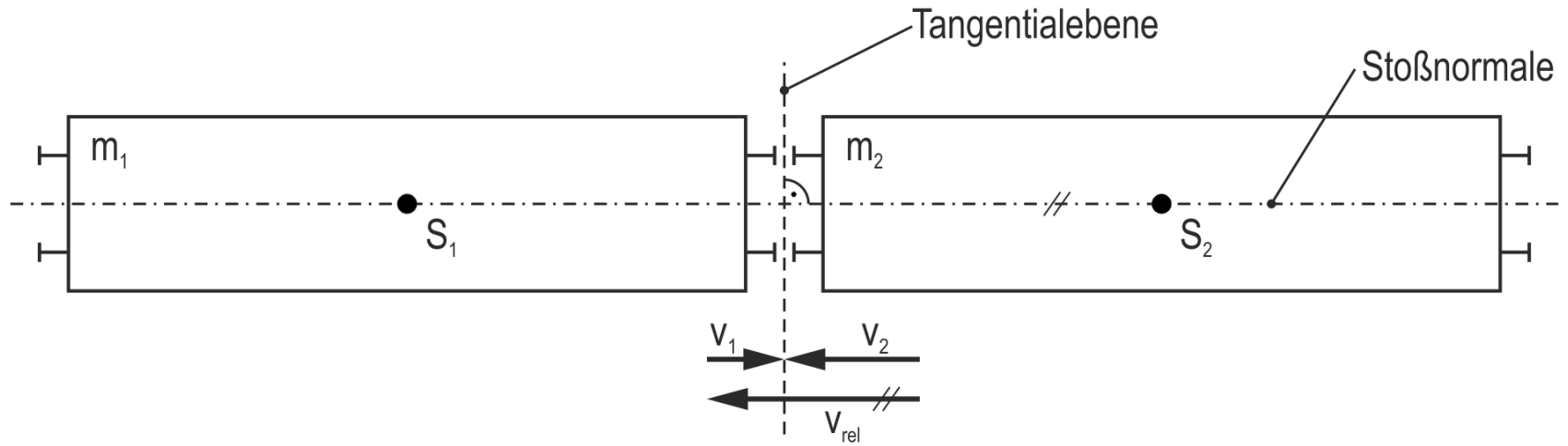
Aufklettern mit vorwiegender  
Zerstörung der nicht aufkletternden  
Struktur



# Folie Gemessene Pufferkraft beim Auflaufstoß



(Quelle: Buschmann: Leichtbau der Verkehrsbetriebe (1971)3)

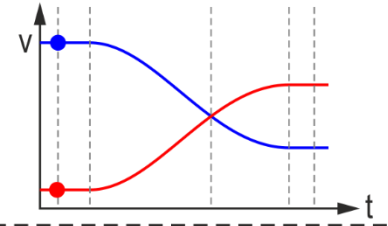
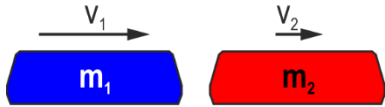


**gerade:** Relativgeschwindigkeit liegt auf Stoßnormale

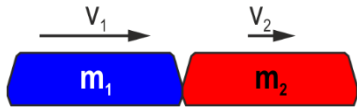
**zentral:** Schwerpunkte der Kollisionspartner liegen auf Stoßnormale

# Folie Zeitlicher Verlauf eines Stoßvorganges

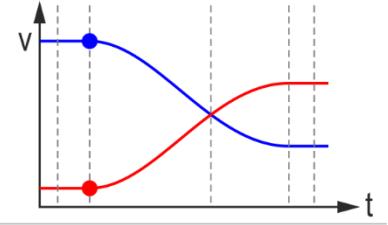
**Zustand 0:** vor dem Stoß, Fahrzeuge nähern sich mit ungleichen Geschwindigkeiten



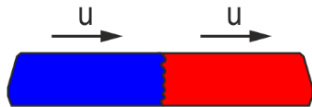
**Zustand I:** unmittelbar vor dem Stoß, Fahrzeuge gerade in Kontakt



**Kompressionsphase:**  
Ein Teil der kinetischen Energie wird in Kollisionsenergie umgewandelt

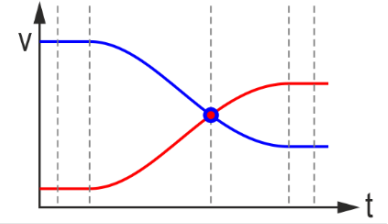


**Zustand II:** Zeitpunkt der größten Annäherung der Fahrzeuge

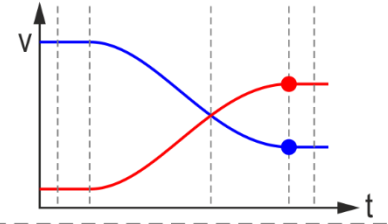


- Relativgeschwindigkeit = Null
- Summe der kinetischen Energie = Minimum
- Zeitpunkt der größten Energiespeicherung

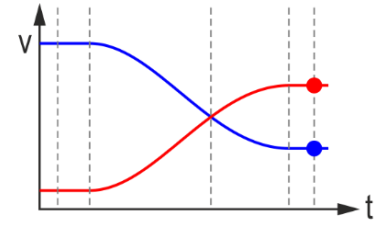
**Expansionsphase:**  
Der reversibel gespeicherte Anteil der Kollisionsenergie wird in kinetische Energie zurückgewandelt

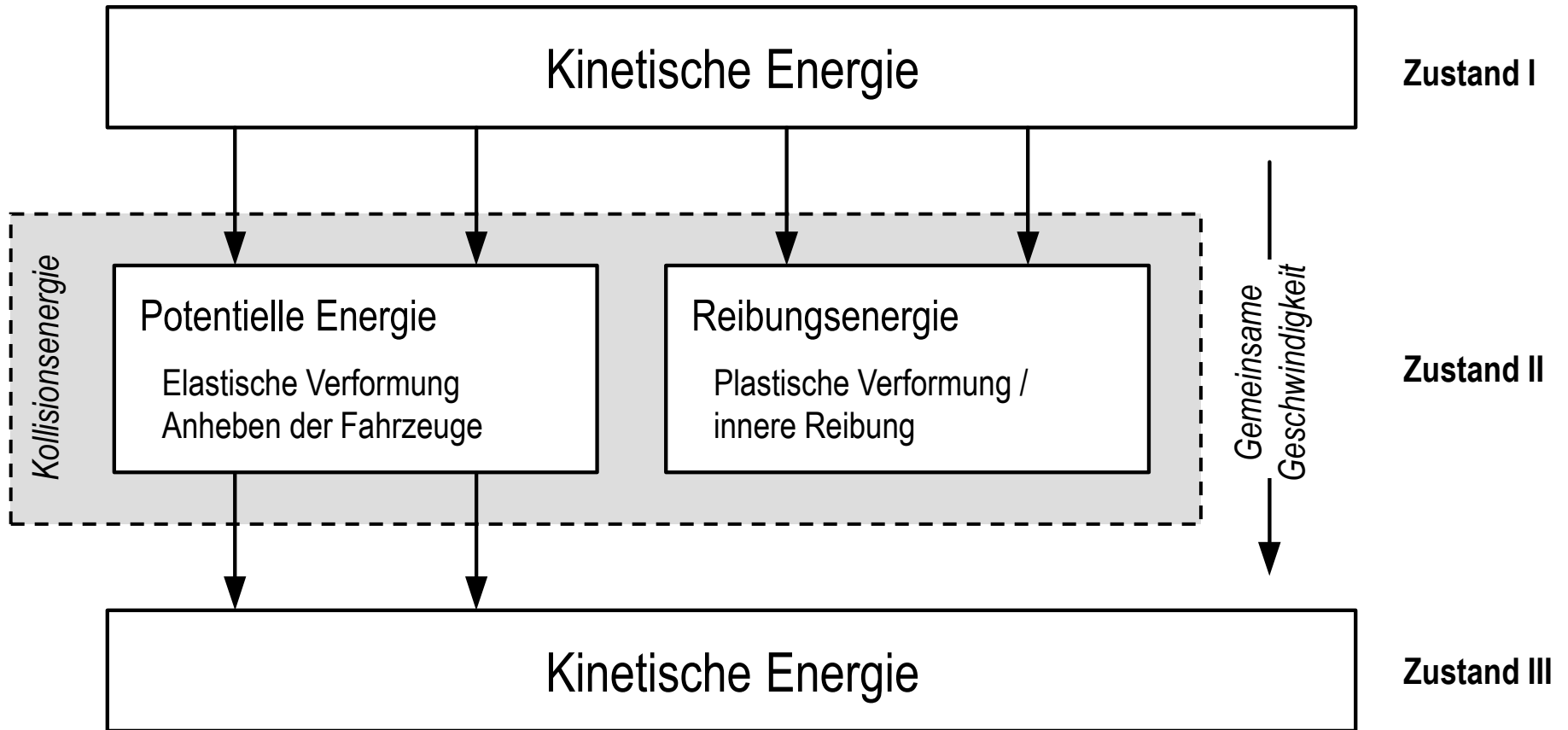


**Zustand III:** Kontaktfläche gerade noch nicht getrennt

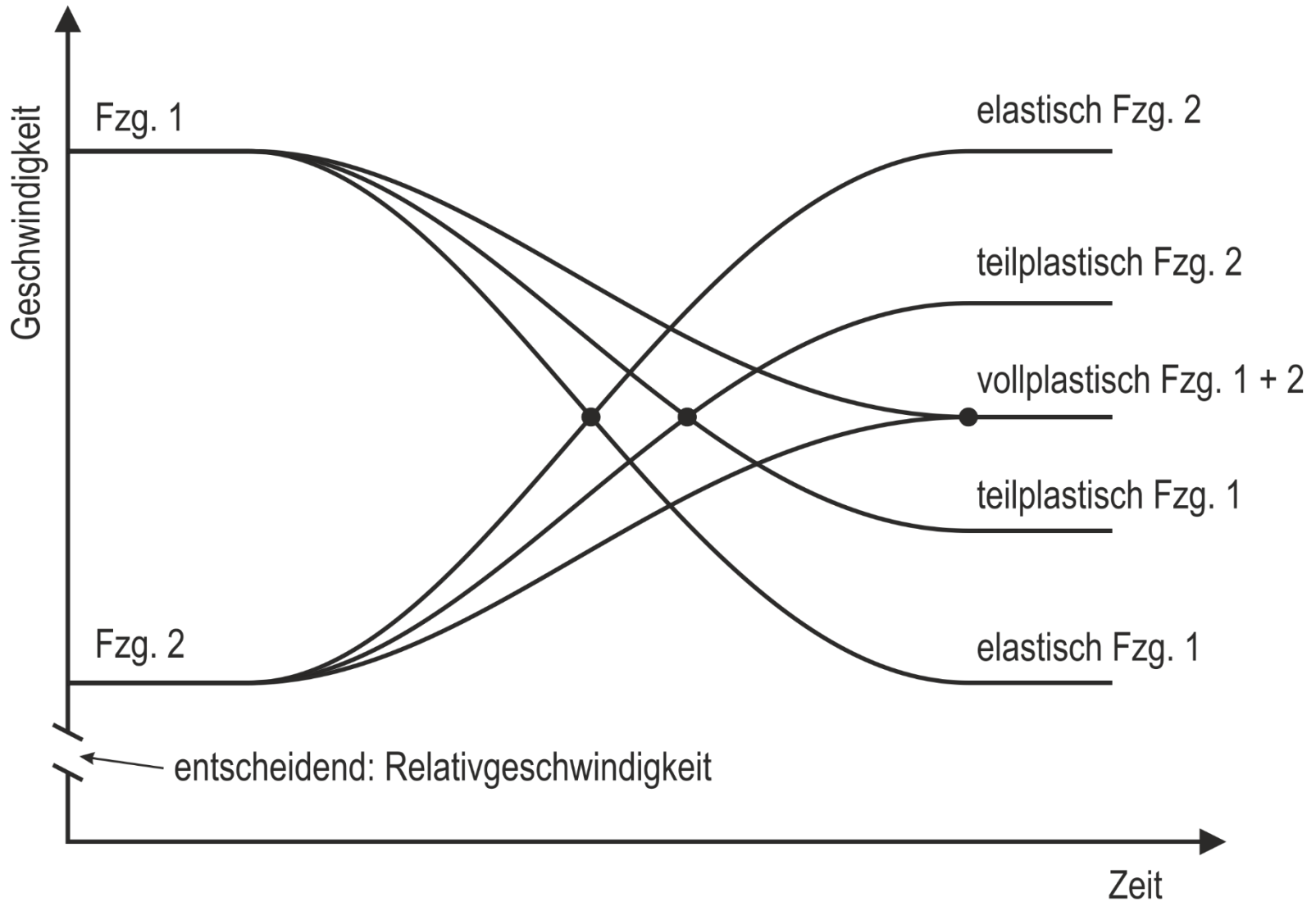


**Zustand IV:** nach dem Stoß, Fahrzeuge entfernen sich voneinander mit ungleichen Geschwindigkeiten

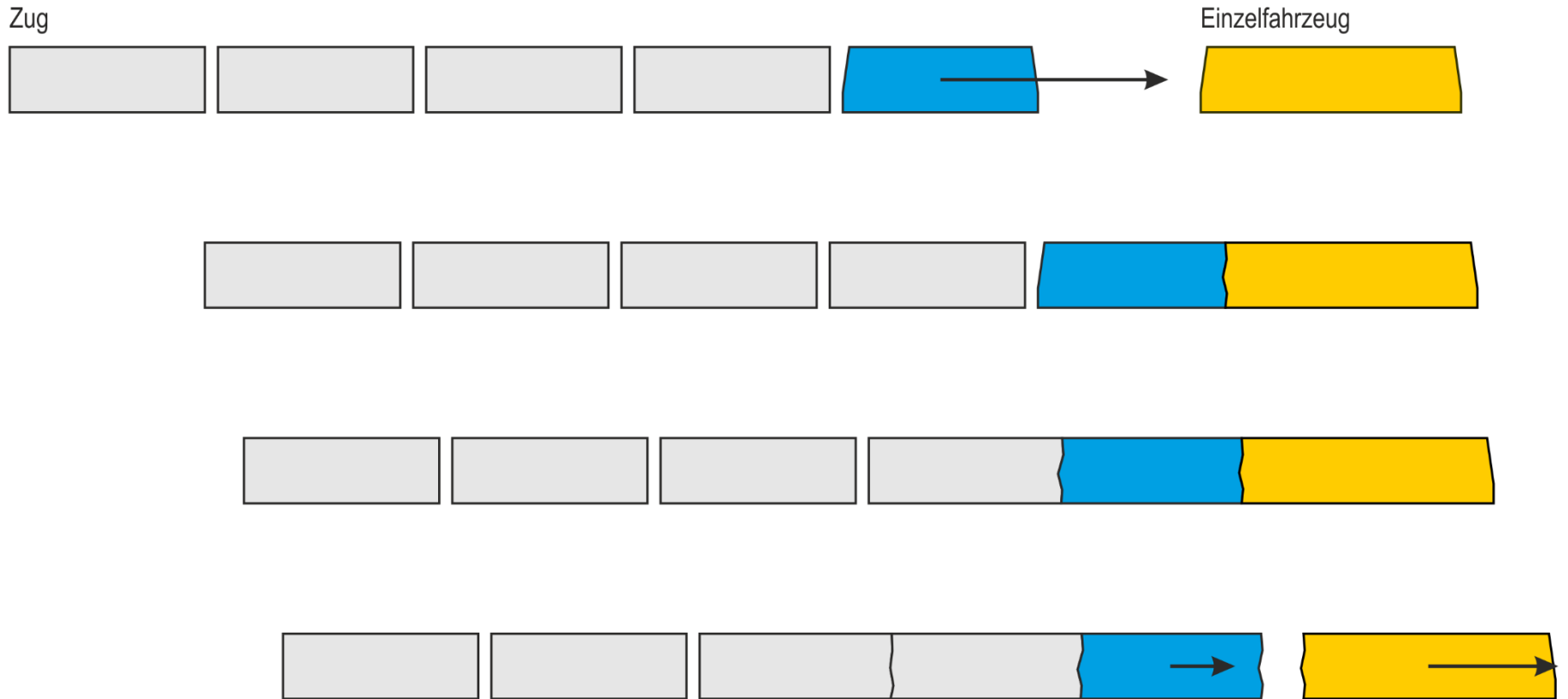




# Folie Geschwindigkeitsverläufe verschiedener Stoßarten

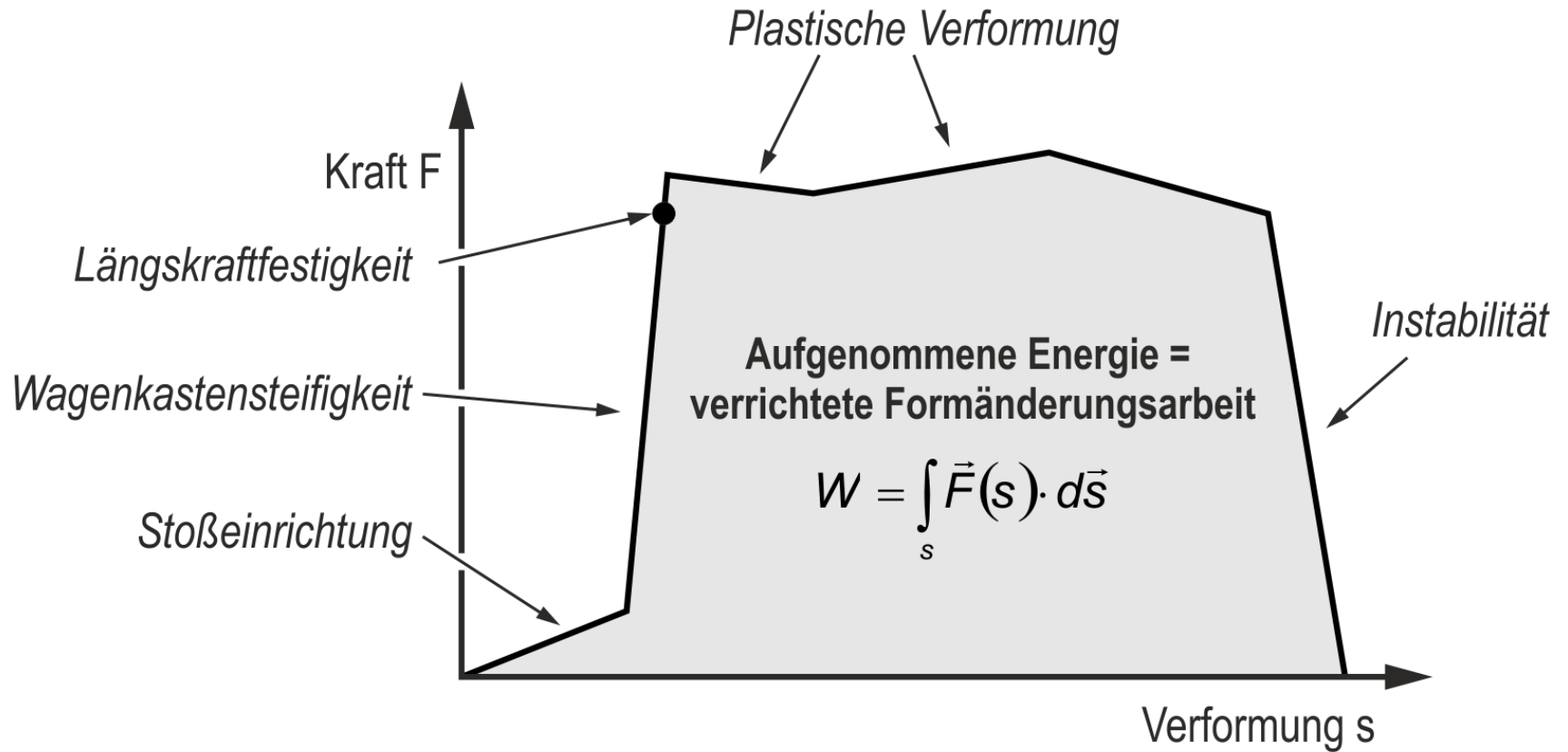


# Folie Stoßwelle im Zug



(Quelle: nach Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füser)

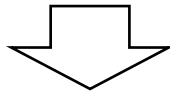
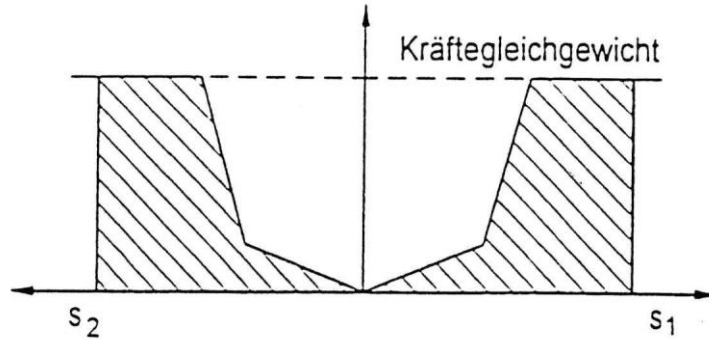
# Folie Abschnitte einer Verformungskennlinie



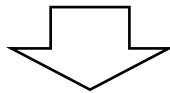
(Quelle: nach Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füsser)

# Folie Verformungskennlinien bei Kollisionen

gleiche Stoßpartner

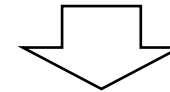
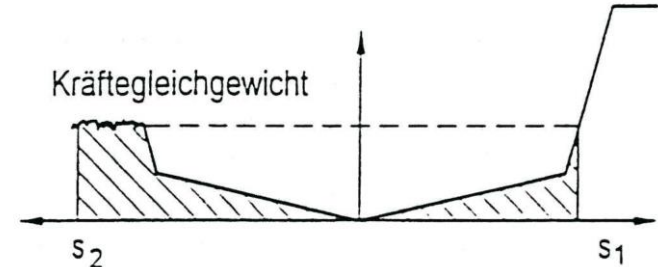


gleichmäßige Aufteilung der Kollisionsenergie

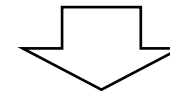


$$E_{Koll} = 2 \cdot \int_{s_{Fzg}} F_{Fzg} \cdot ds$$

ungleiche Stoßpartner



weniger fester Stoßpartner nimmt Kollisionsenergie fast allein auf

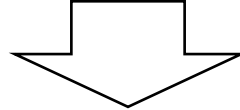


$$\begin{aligned} E_{Koll} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{Fzg1} \cdot m_{Fzg2}}{m_{Fzg1} + m_{Fzg2}} \cdot v_{rel}^2 \\ &= \int_{s_{Fzg1}} F_{Fzg1} \cdot ds + \int_{s_{Fzg2}} F_{Fzg2} \cdot ds \end{aligned}$$

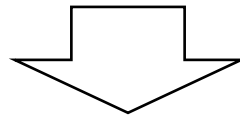
(Quelle: Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füsler)

RICHTLINIE (EU) 2016/798 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES  
vom 11. Mai 2016 über Eisenbahnsicherheit

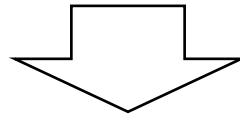
→ Artikel 1: Einrichtung einer Stelle für die Untersuchung von Unfällen und Störungen für jeden Mitgliedstaat



Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) § 5 Abs. (1f)  
&  
Gesetz zur Neuordnung der Eisenbahnunfalluntersuchung vom 27. Juni 2017

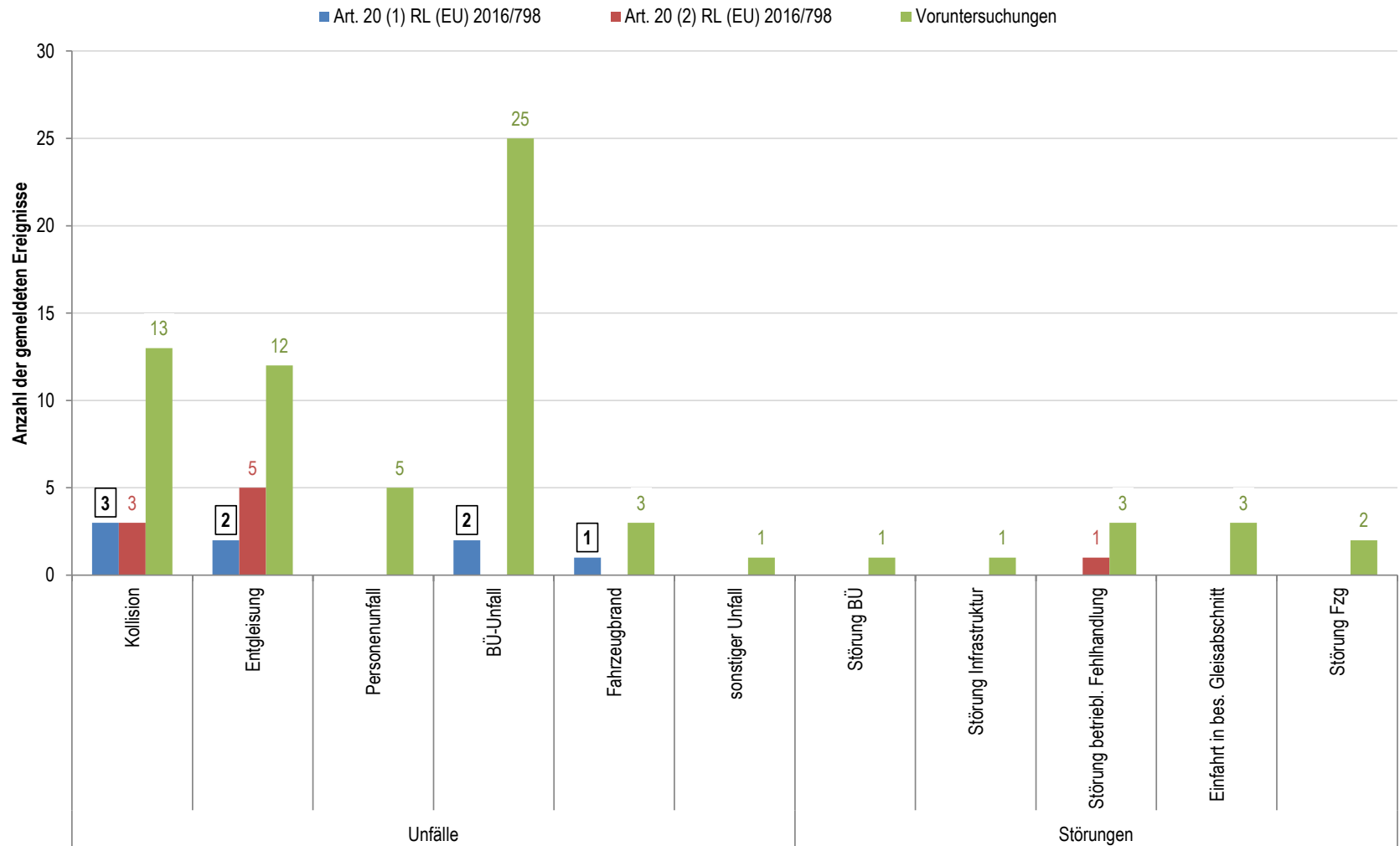


Organisationserlass zur Errichtung der Bundesstelle für Unfalluntersuchung  
vom 14.07.2017



Bundesstelle für  
Eisenbahnunfalluntersuchung

## Gefährliche Ereignisse im Eisenbahnbetrieb im Jahre 2020



(Quelle: EUB-Jahresbericht 2018, <https://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de>)

Unfallkategorie		Anzahl	
		absolut	%
1	<b>Zusammenstoß mit einem anderen Schienenfahrzeug</b>	121	39,8
2	<b>Zusammenstoß zwischen einem Zug und einem Fahrzeug auf einem schienengleichen Bahnübergang</b>	111	36,5
3	Aufprall eines Zuges auf ein Hindernis, jedoch weder auf einen anderen Zug noch auf ein Fahrzeug auf einem schienengleichen Bahnübergang	24	7,9
4	<b>Aufprall auf einen Prellbock</b>	33	10,9
5	Aufprall nach einer Entgleisung	2	0,7
6	Entgleisung ohne Aufprall	13	4,3
Gesamt		304	

# Folie Unfallanalyse nach ERRI B 205.1/RP 1 (II)

Kategorie		1.1	1.2	2.1	2.2	4
Anzahl		31	69	28	80	33
Geschwindigkeit in km/h	S30	36	11	54	50	2
	S50	54	20	72	68	6
	S80	91	41	104	102	19
Energie in MJ	S50	10,2	1,2	0,2	1,8	0,7
	S80	32,1	3,2	1,5	5,6	3,4
Masse $m_2$	S50	219	213	1,2	16,5	$\infty$
Durchschnittliche Schwere S		374	27	25	28	5

## Hauptkategorien ( $\approx 79\%$ d. Unfälle):

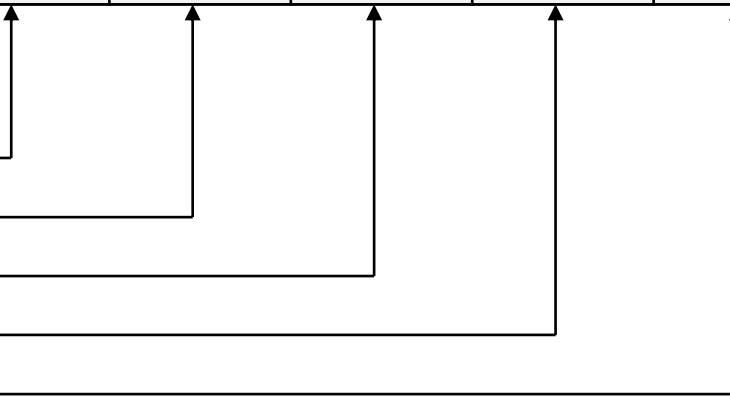
Frontalzusammenstöße mit anderem Sfz

Zusammenstöße auf Rückseite eines anderen Sfz

Zusammenprall am BÜ mit Pkw

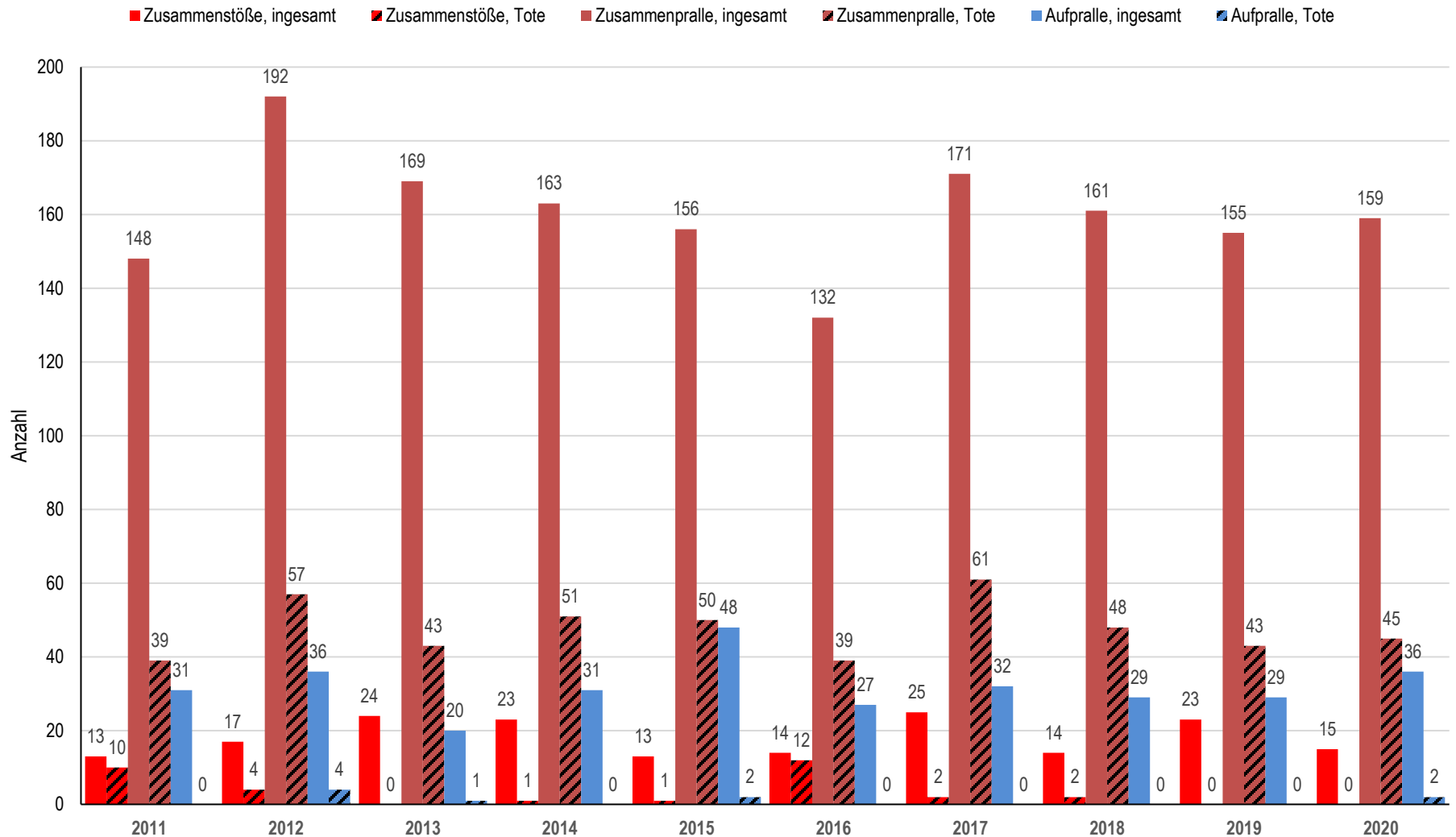
Zusammenprall am BÜ mit Lkw/Bus/Traktor

Aufprall auf Prellbock



## Eisenbahnunfälle in Deutschland

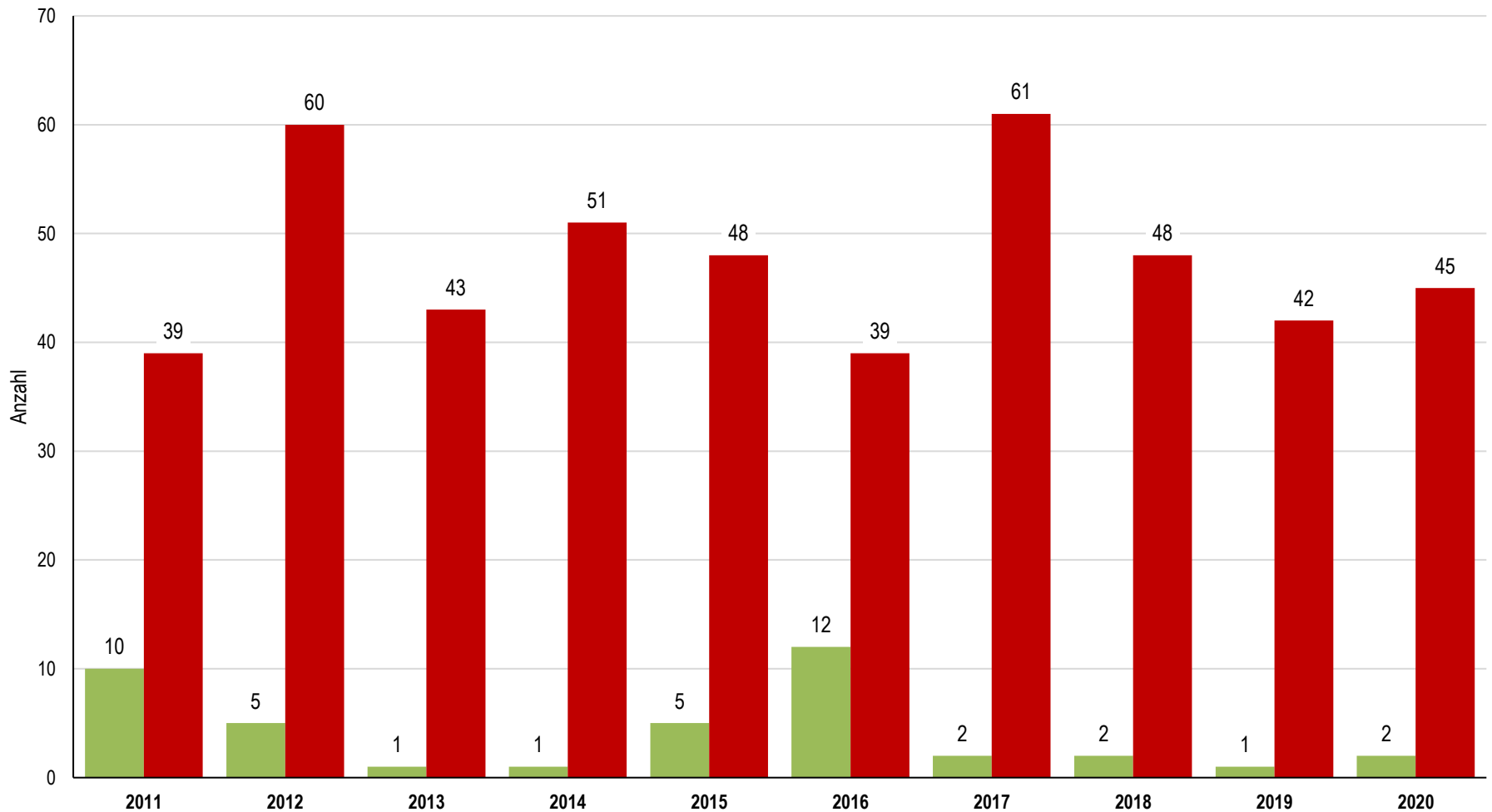
(DESTATIS Zeitreihen: Verkehrsunfälle 2020, Blatt 10)



## Tote bei Eisenbahnunfällen in Deutschland

(DESTATIS Zeitreihen: Verkehrsunfälle 2020, Blatt 10)

■ Reisende & Bahnbedienstete ■ Bahnfremde



# Folie Notwendiges Energieabsorptionsvermögen

	Frontalzusammenstoß			Zusammenprall mit LKW (16,5 t)		
Zug	v in km/h	E <sub>1</sub> in MJ	E <sub>2</sub> in MJ	v in km/h	E <sub>1</sub> in MJ	E <sub>2</sub> in MJ
<i>TGV ↔ TGV</i>						
m = 340 t	55	3,6	2,7	96	5,0	0,7
<i>ICE3 ↔ ICE3</i>						
m = 412 t	55	2,95	2,8	96,5	4,9	0,7
<i>3teiliger Nahverkehrszug ↔ 3teiliger Nahverkehrszug</i>						
m = 129 t	55	2,3	1,4	98	4,8	0,6

E<sub>1</sub> – von führendem Fahrzeug zu absorbierende Energie  
 E<sub>2</sub> – zwischen den Fahrzeugen zu absorbierende Energie

(Quelle: SAFETRAIN Final Report 2001)

## 4.2.2.5. Passive Sicherheit

(5) Die passive Sicherheit soll die aktive Sicherheit ergänzen, wenn alle anderen Maßnahmen erfolglos waren. Zu diesem Zweck muss die mechanische Struktur der Einzelfahrzeuge die Insassen im Fall eines Zusammenstoßes durch folgende Merkmale schützen:



- Begrenzung der Verzögerung,
- Bewahrung des Überlebensraums und der strukturellen Unversehrtheit der von Fahrgästen und Zugpersonal belegten Bereiche,
- Verringerung der Aufklettergefahr,

### Anlage J

#### In dieser TSI genannte technische Spezifikationen

##### J.1 Normen oder normative Dokumente

TSI		Normatives Dokument		
Ziffer	Zu bewertende Merkmale	Abschnitt	Dokument Nr.	Obligatorische Punkte
8	Passive Sicherheit — allgemeine Kategorisierungsszenarien Hindernis-Abweiser	4.2.2.5	EN 15227:2008 +A1:2011	Außer Anlage A 4 — Tabelle 1 5 — Tabelle 2, 6 5 — Tabelle 3, 6.5

DEUTSCHE NORM		Januar 2011
	<b>DIN EN 15227</b>	
ICS 45.080.01	Ersatz für DIN EN 15227:2008-07	
<p><b>Bahnanwendungen – Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugkästen; Deutsche Fassung EN 15227:2008+A1:2010</b></p> <p>Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies; German version EN 15227:2008+A1:2010</p> <p>Applications ferroviaires – Exigences en sécurité passive contre collision pour les structures de caisses des véhicules ferroviaires; Version allemande EN 15227:2008+A1:2010</p>		
Gesamtumfang 41 Seiten		
Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN		
NormCD - Stand 2011-02	<small>© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. - Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin</small>	<small>Preisgruppe 17 www.din.de www.beuth.de</small>  1730518

**Tabelle 1 — Kollisionssicherheits-Auslegungskategorien von Schienenfahrzeugen**

Kategorie	Definition	Beispiele der Fahrzeugtypen
C-I	Fahrzeuge, die für den Betrieb auf TEN-Strecken, internationalen, nationalen und regionalen Strecken (mit Bahnübergängen) ausgelegt sind	Lokomotiven, Reisezugwagen und Triebzüge
C-II	Städtische Fahrzeuge, die ausschließlich für ein geschlossenes Netz ohne Schnittstellen mit dem Straßenverkehr ausgelegt sind	U-Bahn-Fahrzeuge
C-III	Leichte Nahverkehrsfahrzeuge, die für städtische und/oder regionale Netze ausgelegt sind mit gemeinsamer Gleisbenutzung von Vollbahnstrecken und mit Schnittstellen zum Straßenverkehr	Leichttriebwagen, Regio-Stadtbahnen
C-IV	Leichte Nahverkehrsfahrzeuge, die ausschließlich für Stadtnetze ausgelegt sind, mit Schnittstellen zum Straßenverkehr	Innerstädtische Straßenbahnfahrzeuge

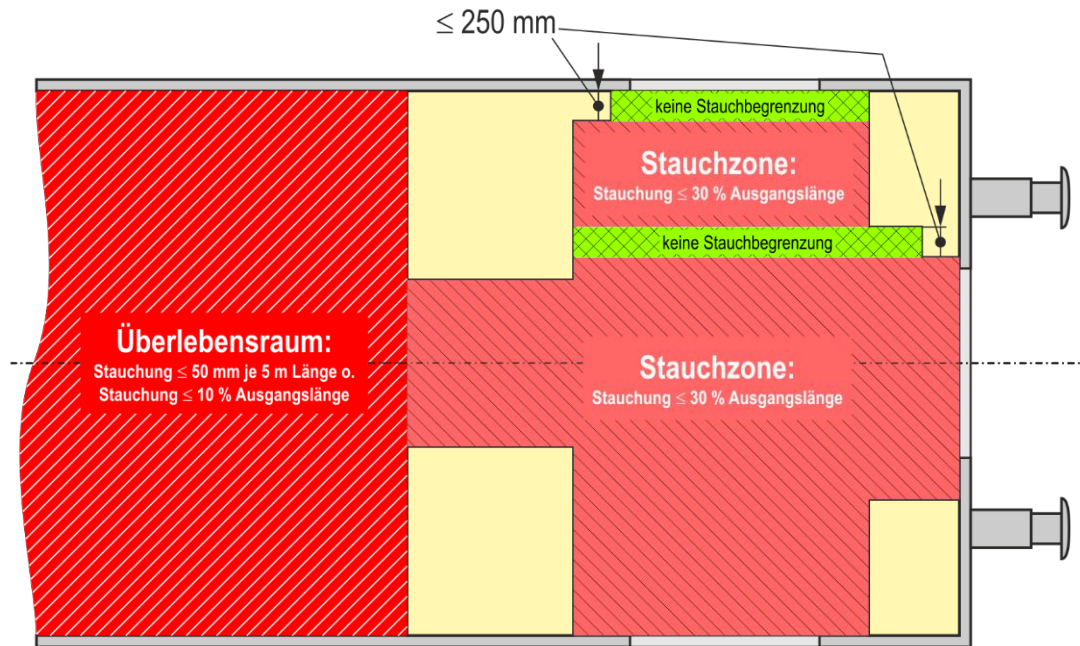
## 6 Strukturelle passive Sicherheit

### 6.1 Allgemeine Prinzipien

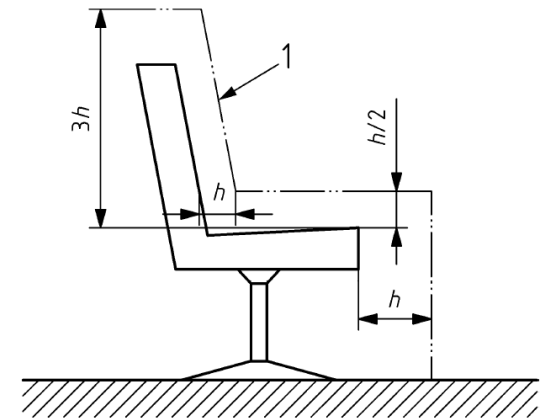
Folgende Maßnahmen müssen in dem von dieser Norm geforderten Umfang eingesetzt werden, um im Kollisionsfall Schutz für die Insassen zu bieten:

- Vermindern des Aufkletterrisikos;
- Kontrollierte Absorption der Kollisionsenergie;
- Aufrechterhalten des **Überlebensraums** und der strukturellen Integrität von Bereichen, die von Personen besetzt sind;
- Begrenzen der Verzögerungen;
- Vermindern des Entgleisungsrisikos und Begrenzen der Folgen einer Kollision mit Hindernissen im Gleis.

Die Anwendung dieser Grundsätze für die Kollisionsszenarien wird in den folgenden Abschnitten detaillierter betrachtet.



nach  
**Bild 1 — Beispiel für eine Freiraumforderung an Stauchzonen  
in zeitweilig besetzten Bereichen  
(z. B. Vorraum)**



## Legende

- $h = 300$  mm
- 1 Freiraum-Profil






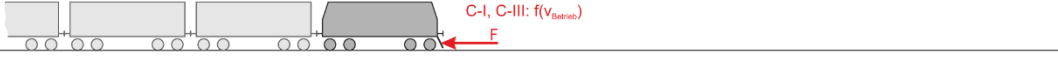
**Bild 2 — Freiraumbereich für den Fahrersitz**

# Folie Kollisionsszenarien nach EN 15227:2008 + A1:2010 (I)

Tabelle 2 — Kollisionsszenarien und Kollisionshindernisse

Kollisions-szenario	Kollisions-hindernis	Betriebscharakteristik — Anforderungen	Kollisionsgeschwindigkeit — km/h				Kollisionspartner und Bedingungen
			C-I	C-II	C-III	C-IV	
1	Identische Zugeinheit	Alle Systeme	36	25	25	15	Identische Zugeinheit
2	80 t Güterwagen	Gemischter Verkehr mit Fahrzeugen, die mit Seitenpuffern ausgerüstet sind	36	n.a.	25	n.a.	siehe C.1 zur Definition des Güterwagens
	129 t Regionalzug	Gemischter Verkehr mit Fahrzeugen mit Mittelkupplung	n.a.	n.a.	10	n.a.	siehe C.2 zur Definition des Referenz-Regionalzuges
3	15 t deformierbares Hindernis	TEN und ähnlicher Betrieb mit Bahnübergängen	$V_{lc} - 50$ $\leq 110$	n.a.	25	n.a.	siehe C.3 zur Definition des großen Hindernisses
	3 t starres Hindernis	Straßenbahn, nicht getrennt vom Straßenverkehr	n.a.	n.a.	n.a.	25	siehe C.4 zur Definition des Hindernisses
4	Hindernis, schmal, klein	Zu erfüllende Anforderungen an den Bahnräumer	Siehe Tabelle 3	n.a.	Siehe Tabelle 3	n.a.	Siehe auch 6.5

# Folie Kollisionsszenarien nach EN 15227:2008 + A1:2010 (II)

		Nachweisbedingungen	Nachweisforderungen		
<p><b>Szenario 1 alle Systeme</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Identische Zugeinheit</p> <p>C-I: 36 km/h C-II: 25 km/h C-III: 25 km/h C-IV: 15 km/h</p>		gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner ungebremst	vertikaler Höhenversatz $\geq 40$ mm	Einhaltung Überlebensraum	
<p><b>Szenario 2 C-I, C-III Seitenpufferverkehr</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      80-t-Güterwagen</p> <p>C-I: 36 km/h C-III: 25 km/h</p>					min. 1 Radsatz je Drehstell ständig im Gleis
<p><b>C-III Mittelpufferverkehr</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      129-t-Regionalzug</p> <p>C-III: 10 km/h</p>					
<p><b>Szenario 3 C-I, C-III TEN-Verkehr mit BÜ</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Deformierbares 15-t-Hindernis</p> <p>C-I: <math>\leq 110</math> km/h C-III: 25 km/h</p>					Beschl. $\leq 7,5 \cdot g$
<p><b>C-IV im Straßenverkehr</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Starres 3-t-Hindernis, 45°</p> <p>C-IV: 25 km/h</p>					
<p><b>Szenario 4 Bahnräumer C-I u. C-III</b></p>  <p>Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste</p> <p>C-I, C-III: <math>f(v_{\text{Betrieb}})</math> F</p>		definierte Krafteinleitungsstellen	keine erheblichen plastischen Verformungen		

**Tabelle 3 — Funktionale Anforderungen an Bahnräumer**

<b>Betriebsgeschwindigkeit <sup>a</sup></b>	<b>≥ 160 km/h</b>	<b>140 km/h</b>	<b>120 km/h</b>	<b>100 km/h</b>	<b>≤ 80 km/h</b>
Statische Last in der Mittellinie <sup>b</sup>	300 kN	240 kN	180 kN	120 kN	60 kN
Statische Last 750 mm seitlich von der Mittellinie <sup>b</sup>	250 kN	200 kN	150 kN	100 kN	50 kN

<sup>a</sup> Für hiervon abweichende Betriebsgeschwindigkeiten dürfen die Kraftwerte interpoliert werden.

<sup>b</sup> Details für die Anwendung dieser Lasten und die funktionalen Eigenschaften des Bahnräumers werden in 6.5.1 angegeben

## 7 Validierung der Kollisionssicherheit







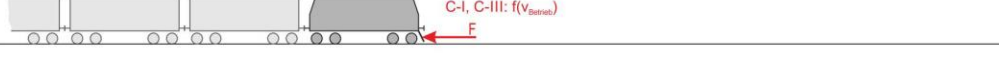
Die Anforderungen an die passive Sicherheit werden für komplette Zugeinheiten vorgegeben. Da es unmöglich ist, das Verhalten alleine durch Versuche von kompletten Zugeinheiten zu bewerten, kann das Erreichen der Ziele durch **dynamische Simulationen**, welche den jeweiligen Auslegungs-Kollisionsszenarien entsprechen, überprüft werden. Die alleinige Anwendung der numerischen Simulation ist ausreichend für eine genaue Voraussage des Strukturverhaltens in Bereichen mit begrenzter Deformation. Für Bereiche mit **erheblichen Deformationen** muss das Validierungsprogramm jedoch einen **Abgleich** der numerischen Modelle **mit geeigneten Versuchen** beinhalten (kombinierte Methode). Anhang B beschreibt die Anforderungen an die Modellvalidierung detaillierter.

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen des Szenarios 4 kann direkt durch einen Versuch nachgewiesen werden.

Die Hauptschritte dieser kombinierten Methode bei einer Neukonstruktion der Struktur sind nachfolgend aufgeführt.

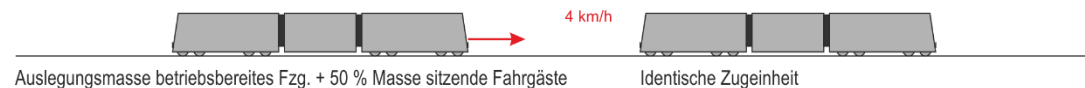
- Klarere Fassung der anwendbaren Fahrzeugtypen:
  - „Lokomotiven,
  - Wagen mit Steuerkopf, die in Personen- und Güterzügen eingesetzt werden,
  - Personenschienenfahrzeuge in Personenzügen (wie Straßenbahnen, U-Bahnen, Vollbahnzügen)“
- Klarere Definition der Fahrzeugkategorien
- neuer Abschnitt zur Beurteilung von Triebzügen
- verbindliche Anforderung des anfänglichen Höhenversatzes 40 mm (Kollisionsszenario 1)
- neue Definition der Kollisionsmasse:  
*„Auslegungsmasse des betriebsbereiten Fahrzeugs in Übereinstimmung mit EN 15663:2017+A1:2018 zuzüglich 50 % der Masse für sitzende Fahrgäste“*
- Anpassungen Kollisionsszenarien (KSz):
  - Lokomotiven mit Schwerlastkupplungen (KSz. 1)
  - Lokomotiven mit Mittelführerstand (KSz. 3)
  - zusätzliches Szenario für Straßenbahnen
- Anpassungen „Überlebensraum“
  - Ausschluss der Wagenübergänge
  - Überlebensraum für Fahrzeugführer im Führerstand!
  - modifizierte Definition Überlebensraum Fahrersitz
- Modifizierungen zur Anwendung der Verzögerungsgrenzwerte
- modifizierte Bahnräumer-Anforderung bezüglich Begrenzungslinien
- neue Anforderungen an Schienenräumer
- neue Versuchsanforderungen für Zugzwischenenden
- Modifikationen Referenzzüge und Hindernis-Geometrien

# Folie DIN EN 15227:2020-06 – Kollisionsszenarien

		Nachweisbedingungen	Nachweisforderungen	
<b>Szenario 1 alle Systeme</b>  C-I: 36 km/h C-II: 25 km/h C-III: 25 km/h C-IV: 15 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Identische Zugeinheit				
<b>Szenario 2 C-I, C-III Seitenpufferverkehr</b>  C-I: 36 km/h C-III: 25 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      80-t-Güterwagen		vertikaler Versatz $\geq 40$ mm  gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner ungebremst	mittl. Beschl. $\leq 5 \cdot g$ / $\leq 10 \cdot g$  ständiger effektiver Kontakt Fahrzeug-Gleis  oder  $\leq 100$ mm Anhebung + Aufkletterschutz wirkt ständig	Einhaltung Überlebensraum
<b>C-III Mittelpufferverkehr</b>  C-III: 10 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      129-t-Regionalzug				
<b>Szenario 3 C-I, C-III TEN-Verkehr mit BÜ</b>  C-I: $\leq 110$ km/h C-III: 25 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Deformierbares 15-t-Hindernis		seitlicher Versatz $\pm 1000$ mm		
<b>C-IV im Straßenverkehr</b>  C-IV: 25 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Starres 3-t-Hindernis, 45°				
<b>C-IV im Straßenverkehr</b>  C-IV: 15 km/h Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste      Bewegliches 7,5-t-Hindernis				
<b>Szenario 4 Bahnräumer / Schienenräumer C-I u. C-III</b>  C-I, C-III: $f(V_{\text{Betrieb}})$ F		definierte Krafteinleitungsstellen	keine erheblichen plastischen Verformungen	

# Folie Kollisionsszenarien VDV 152 (10/2016)

## Szenario 0 C-II, C-III, C-IV



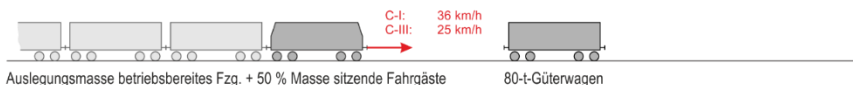
Nachweisbedingungen		Nachweisforderungen	
gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner gebremst, $\mu_i = 0,25$	kein vertikaler Höhenversatz	WK ohne signifikante bleibende Verformung	nur reversible Energieaufnahme

+ DIN EN 15227

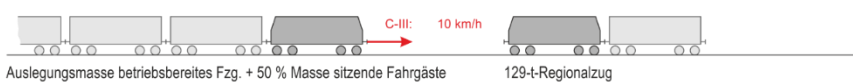
## Szenario 1 alle Systeme



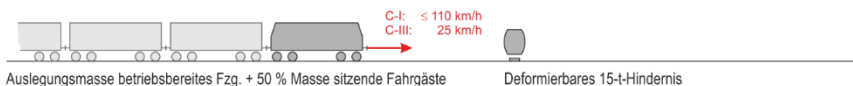
## Szenario 2 C-I, C-III Seitenpufferverkehr



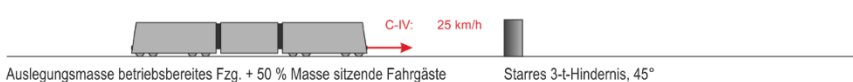
## C-III Mittelpufferverkehr



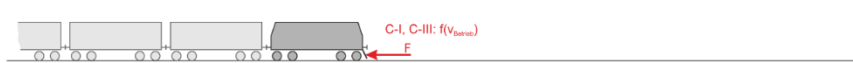
## Szenario 3 C-I, C-III TEN-Verkehr mit BÜ



## C-IV im Straßenverkehr



## Szenario 4 Bahnräumer C-I u. C-III



Nachweisbedingungen		Nachweisforderungen	
gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner ungebremst	vertikaler Höhenversatz $\ge 40 \text{ mm}$	Beschl. $\le 5 \cdot g$	min. 1 Radsatz je Drehstell ständig im Gleis
		Einhaltung Überlebensraum	oder $\le 100 \text{ mm}$ Anhebung + Aufkleberschutz wirkt ständig
definierte Kräfteinleitungsstellen		Beschl. $\le 7,5 \cdot g$	
		keine erheblichen plastischen Verformungen	



**RID**



Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF)  
Anhang C – Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung  
gefährlicher Güter (RID)

DEUTSCHE NORM		Januar 2011
	<b>DIN EN 15551</b>	<b>DIN</b>
ICS 45.060.01	Ersatz für DIN EN 15551:2009-12	
<b>Bahnanwendungen – Schienenfahrzeuge – Puffer; Deutsche Fassung EN 15551:2009+A1:2010</b>		
Railway applications – Railway rolling stock – Buffers; German version EN 15551:2009+A1:2010		
Applications ferroviaires – Wagons – Tampons; Version allemande EN 15551:2009+A1:2010		

## 7 Kollisionssichere Puffer für Kesselwagen nach RID

Kollisionssichere Puffer müssen die im **Anhang L** aufgeführten Bedingungen und die nachfolgenden Kriterien erfüllen. Die Anforderungen an die Güterwagen sind in der EN 12663 definiert.

Kollisionssichere Puffer müssen alle Anforderungen im Abschnitt 5 und im Abschnitt 6 erfüllen.

Für den Hüllraum von kollisionssicheren Komponenten, die in Puffer eingebaut sind, oder für kollisionssichere Komponenten + Pufferaufbau gelten die Bestimmungen im Anhang M statt Anhang A.

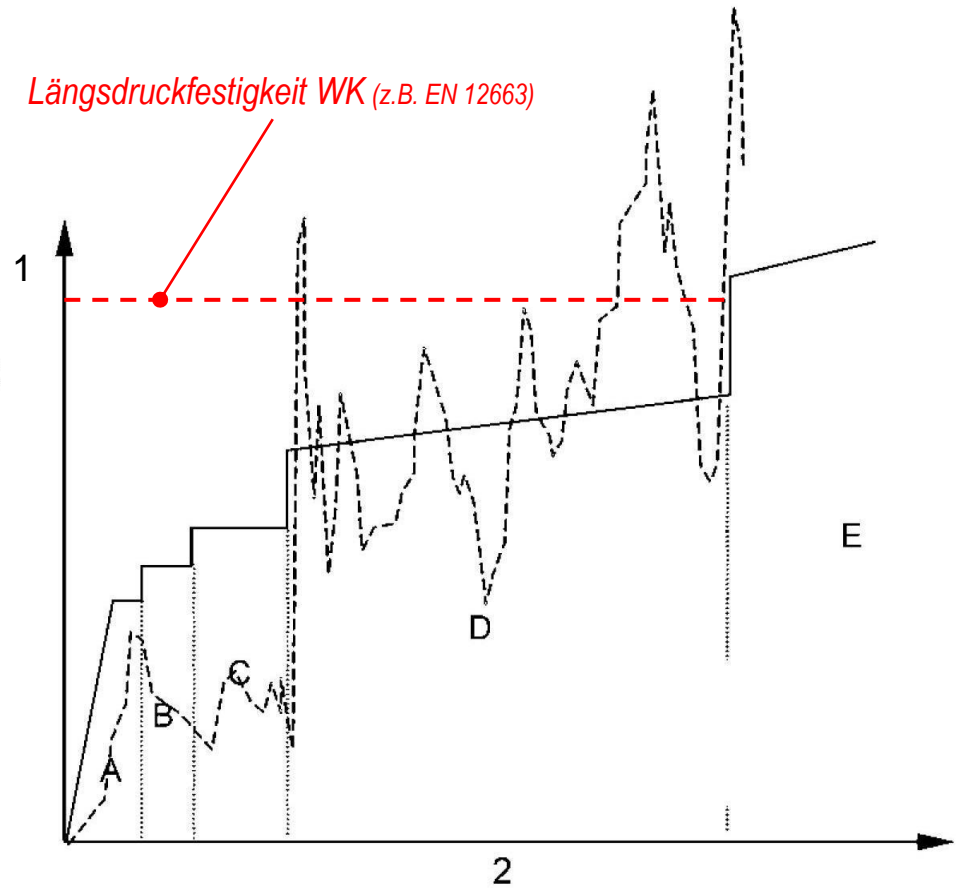
**ANMERKUNG** Der Hüllraum nach Anhang M ist nahezu identisch zum Hüllraum nach Anhang A, bei dem der Schnitt B – B gleich Schnitt A – A und Schnitt C – C gleich Schnitt D – D ist.

Für Lokomotiven (oder Reisezugwagen) mit Energieverzehrkomponenten gilt EN 15227 statt Anhang L.

# Folie Kontrollierte, gestufte Energieaufnahme

## Legende

- idealisiertes Verhalten
- - - typisches reales Verhalten
- 1 Deformationskraft am Fahrzeugende
- 2 Deformation
- A Kupplung — reversibel (normale Federwirkung);
- B Kupplung — irreversibel;
- C Aufkletterschutzeinrichtung;
- D strukturelle Deformationszone;
- E Fahrgast/Personal-Überlebensraum.



(Quelle: prEN 15227; voith.com)

# Folie Qualitativer Vergleich von Energieverzehrelementen

---

Energieverzehrelemente	extern reversibel	extern irreversibel	intern irreversibel
Integration in Gesamtkonstruktion	gering		hoch
ausführbare Baugröße	äußerst begrenzt		relativ groß
Tauschkosten	keine	niedrig	hoch
Entwicklungskosten	gering		hoch
Herstellungskosten	relativ gering		hoch
Baugröße / Arbeitsaufnahmeverhältnis	schlecht	relativ gut	
Energieaufnahmevermögen	gering	mittel	sehr hoch
Verletzungsgefahr bei Arbeitsaufnahme	praktisch nicht gegeben		vergleichsweise hoch

(Quelle: nach Diplomarbeit S. Scharf)

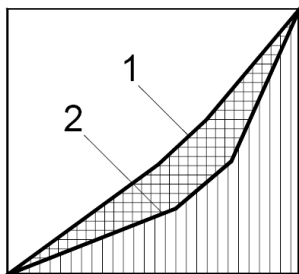
## Forderungen

Sicherheitsphilosophie (Zug)	Fahrzeugstruktur	Innenraumgestaltung/ Design	Verformungsverhalten
<ul style="list-style-type: none"><li>- Crashzonen an den Fahrzeugenden</li><li>- Aufkletterschutz</li><li>- dreieckige Arbeitsflächen (extern)</li><li>- rechteckige Arbeitsflächen (intern)</li><li>- keine Einschränkungen bei der Zugbildung</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Versteifung der Fahrgastzellen (Längsdruck-Querschnitt)</li><li>- bessere Kräfteverteilung/-einleitung in Z-Richtung</li><li>- Schadensbegrenzung auf leicht tauschbare (möglichst externe) Einheiten</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Biomechanik</li><li>- Erhalt des äußeren Erscheinungsbildes</li><li>- Erhalt des Platzangebots im Innenraum</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verbesserung herkömmlicher steifer Tragelemente</li><li>- Angleichung der Querschnitte Untergestell / Aufbauten</li><li>- hoher „Energieverzehr“ der Elemente</li><li>- geringes Verletzungsrisiko bei Verformung</li></ul>

## Bedingungen

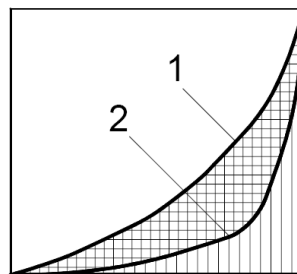
- niedrige Mehrkosten
- keine Zunahme der Fahrzeugmasse

# Folie Charakteristische Pufferkennlinien



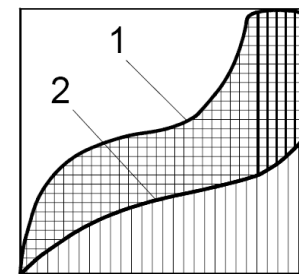
## Gummipuffer

- Progressive Kennlinie
- geringerer Dämpfungsanteil
- hoher Federanteil



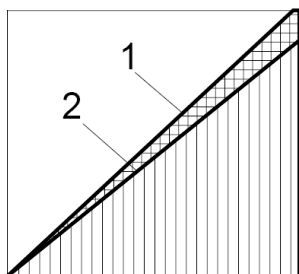
## Zellstoffpuffer

- progressive Kennlinie
- relativ geringer Dämpfungsanteil
- relativ großer Federanteil



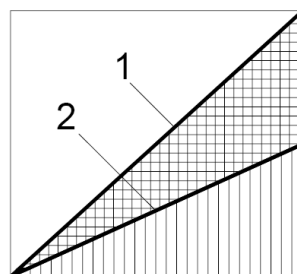
## Elastomerpuffer

- degressive keulenartige Kennlinie
- ausgeprägter Dämpfungsanteil
- relativ großer Federanteil



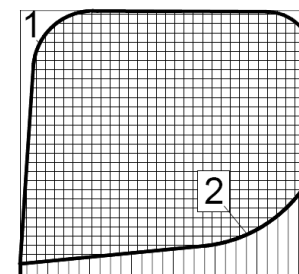
## Federpuffer

- lineare Kennlinie
- sehr geringer Dämpfungsanteil
- sehr großer Federanteil



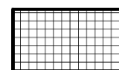
## Federpuffer mit Reibung

- lineare Kennlinie
- ausgeprägter Dämpfungsanteil
- geringerer Federanteil



## Hydraulikpuffer

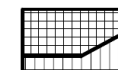
- stark ansteigende, dann konstante Kennlinie
- maximaler Dämpfungsanteil
- relativ geringer Federanteil



Dämpfung (1)



Federenergie (2)



gesamte Pufferenergie

$$\text{Dämpfung (1)} + \text{Federenergie (2)} = \text{gesamte Pufferenergie}$$

(Quelle: RÖMER Fördertechnik GmbH)

# Folie Crashpuffer



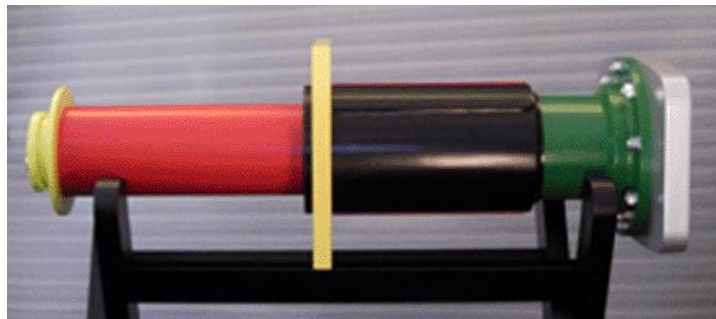
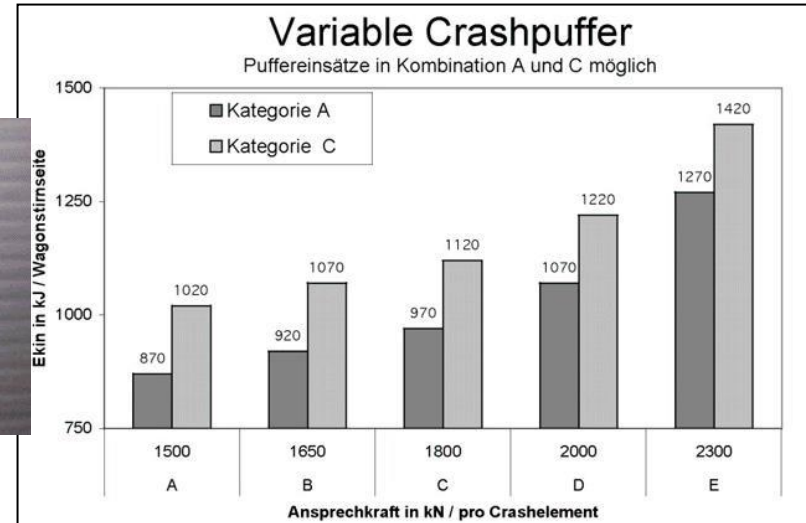
EST Crashpuffer G1-200 M

Baulänge:	620 mm (UIC 526-1)
Pufferteller:	550 x 340 mm rechteckig (UIC 527-1 und ERRI B12 DT 84)
Federsystem, Klassifizierung nach UIC:	Kat. A (UIC 526-1)
Federhub:	105 mm (+0/-5 mm, UIC 526-1)
Energieaufnahme reversibel (dyn.):	ca. 40 kJ
Befestigung:	280 x 160 mm, M24
typische Auslösekraftschwelle pro Puffer:	1500 kN
typisches mittleres Kraftniveau pro Puffer:	1125 kN
max. Deformationslänge zusätzlich zum Pufferhub:	ca. 200 mm
Energieaufnahme insgesamt pro Fahrzeugende (dyn.):	ca. 600 kJ
Gewicht pro Puffer:	127 kg



mehrstufiges Deformationssystem EST Duplex G1.A1  
(EST Crashpuffer G1 + EST Absorberblock A1)

Variable Crashpuffer  
Hofmann, Herbert Ing.-Büro Industrievertretungen GmbH & Co.



Crashpuffer Axtone

- [spanen](#)
- [weiten, beulen](#)

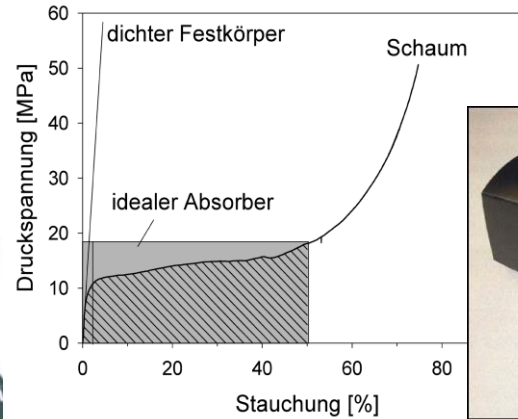
(Quelle: WWW)

# Folie Bsp. externer irreversibler Energieverzehrelemente

„Stoßstange“ aus Stahlschaum



Crashabsorber aus Aluminiumschaum  
Schunk Sintermetalltechnik GmbH  
(Combindo® Bern)



VOITH GFRP Energy Absorber

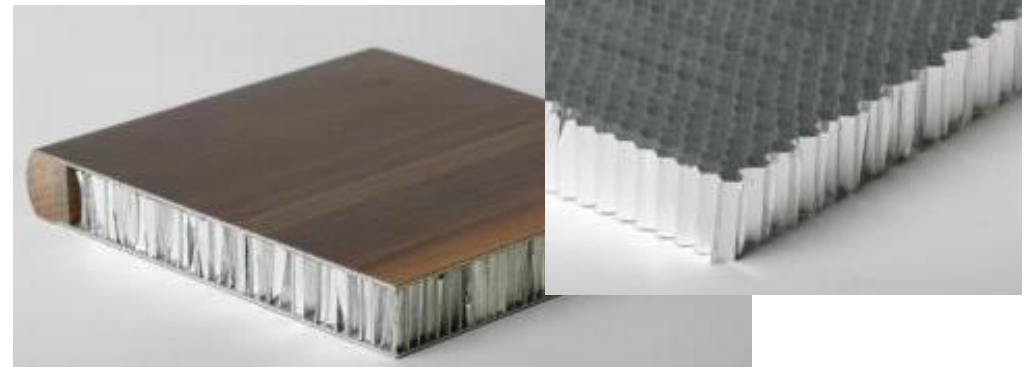


GFK-Crash-Element  
für ICE-Waggons



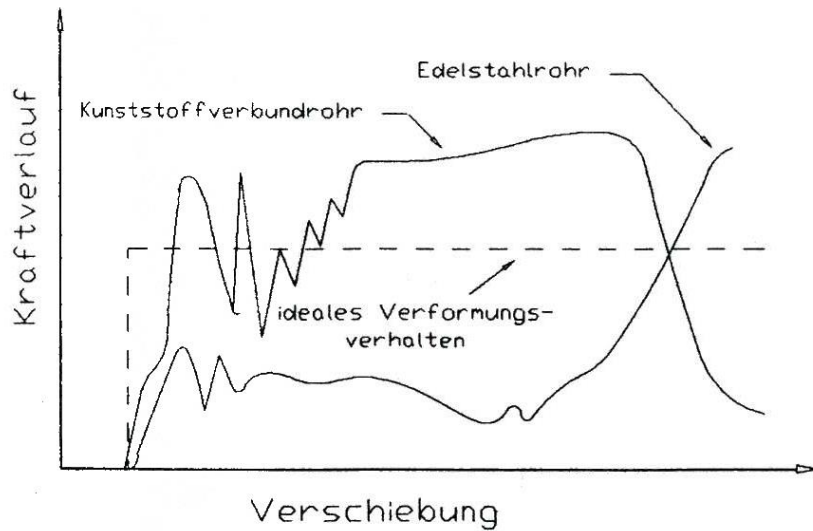
LTB Borowski

Wabenstrukturen  
(z.B. Aluminiumleg.)

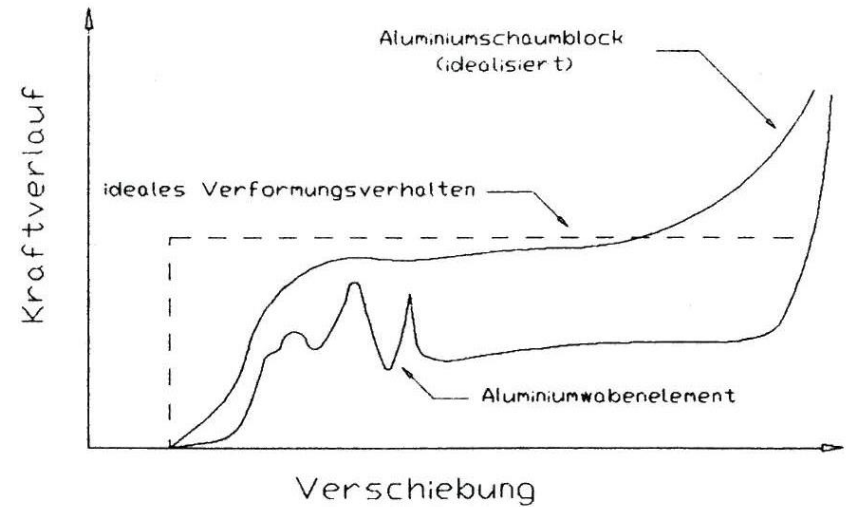


(Quelle: WWW, Voith Turbo Scharfenberg)

## Dynamische Verformungsverläufe:



Kunststoffverbundrohr  
Rohr aus nichtrostendem Stahl



Wabelement bzw. Schaumblock  
aus Aluminium-Legierung

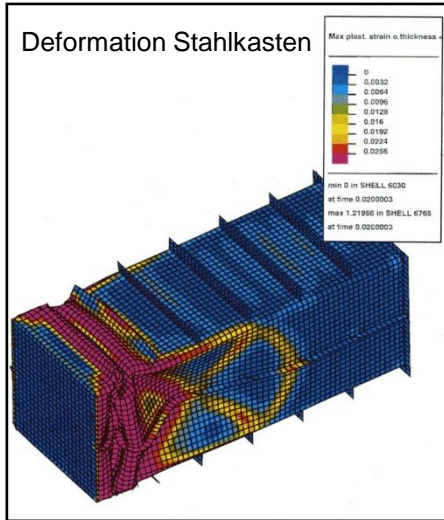
(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf)

# Folie Bewertung energieabsorbierender Konstruktionselemente

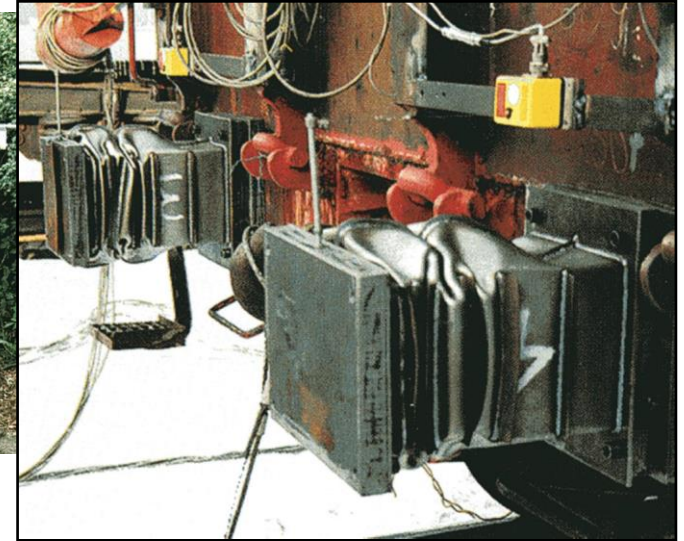
Element	Übernahme Tragfunktion?	Verformungsverhalten, Energieaufnahme	Energieverzehr : Masse	Kosten	sonstiges
Aluminiumwabenelement	nein	relativ konstant	gut	hoch	
Aluminiumschaumblock	nein	relativ konstant	sehr gut	sehr hoch	geringer Fertigungsaufwand
Kastenprofil Stahl	ja	geringe Unterschiede statisch - dynamisch	gering	mittel	relativ hoher Entwicklungs- und Fertigungsaufwand
Trapezsickenblech Stahl	ja	Plastifizierungsverhalten schwer beherrschbar	gering	sehr niedrig	
Strangpressprofil Alu-Leg.	ja	höhere Knickanfälligkeit als Stahlprofil	gering	niedrig	geringerer Fertigungsaufwand als bei vergleichbaren Stahlprofilen
Verformungsrohr Stahl	problematisch	Verformungskraft nahezu unabhängig von Verformungsgeschwindigkeit, Plastifizierungsverhalten gut beherrschbar	gering	niedrig	
Verformungsrohr Edelstahl	problematisch	Verformungskraft nahezu unabhängig von Verformungsgeschwindigkeit, Plastifizierungsverhalten gut beherrschbar, höhere Energieaufnahme als Stahlrohr	gering	mittel	
Verformungsrohr FVK	problematisch	relativ hohe Initialspitze, Plastifizierungsverhalten schwer beherrschbar, hohe Energieaufnahme (sinkt mit steigender Verformungsgeschwindigkeit),	sehr gut	mittel - hoch	

(Quelle: nach Diplomarbeit S. Scharf; Scharf; Marek: ZEV+DET Glas. Ann. (1997)12)

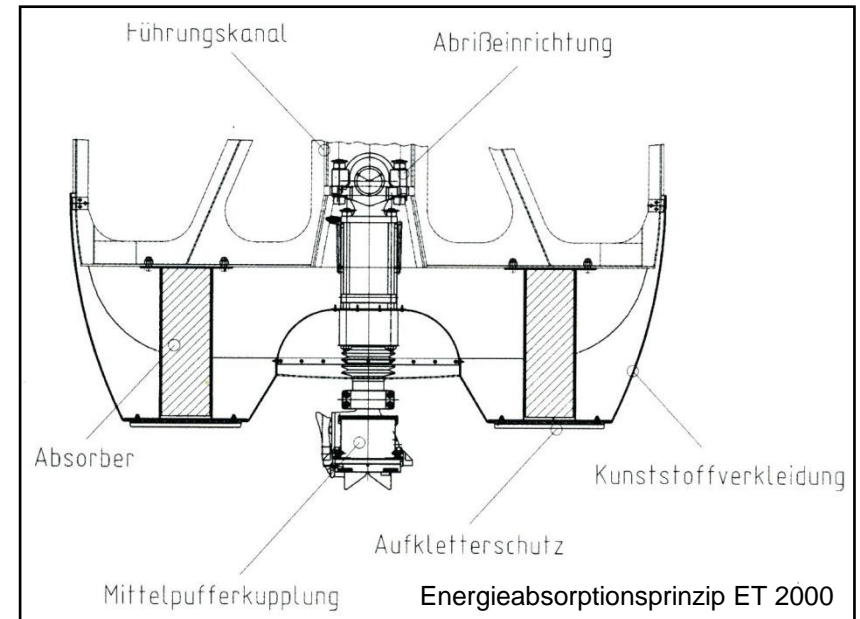
# Folie Crash-Erprobungen Absorber



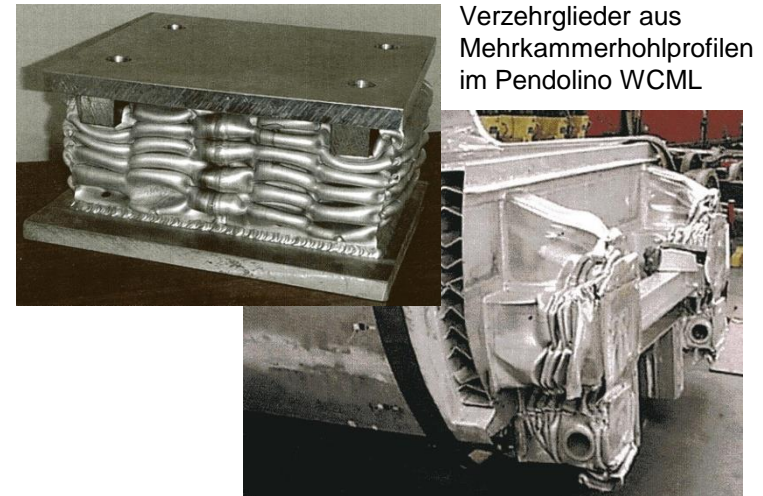
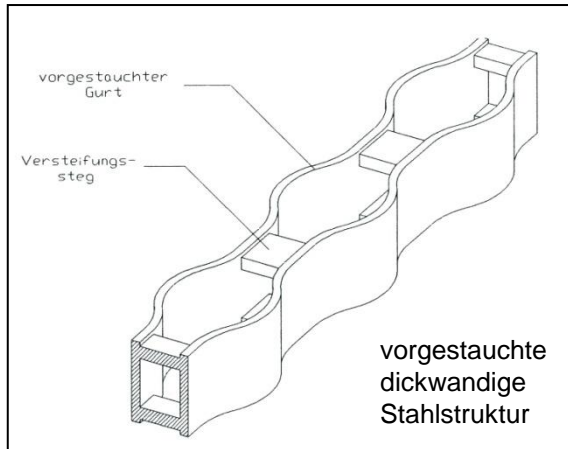
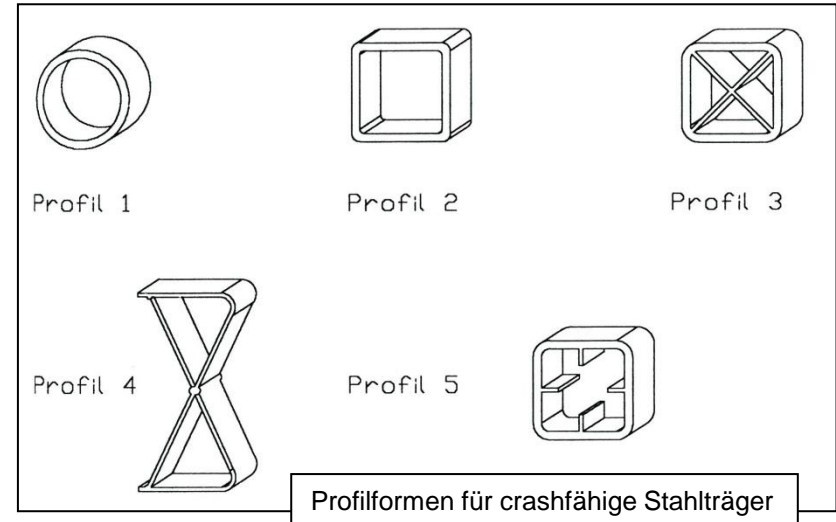
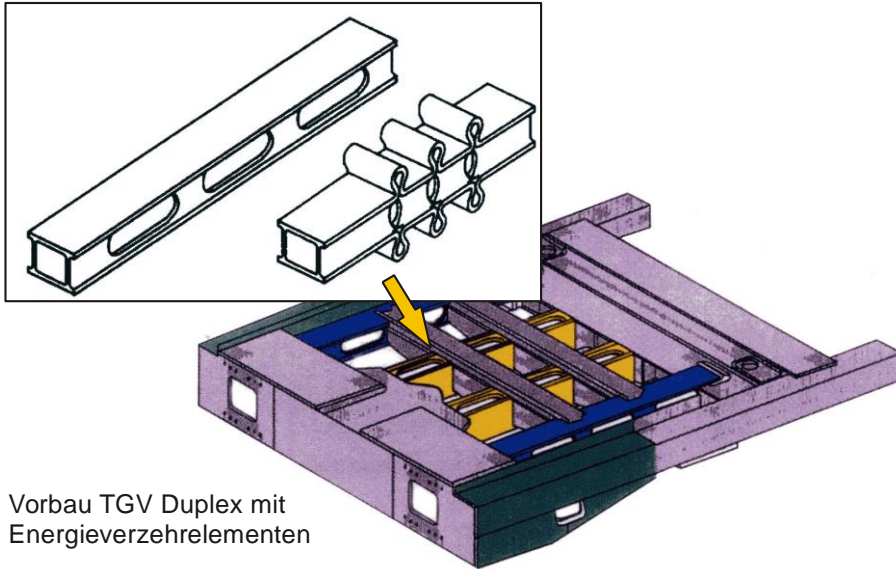
Stahlkasten-Wabe-Kombination



(Quelle: Scharf; Marek: ZEV+DET Glas. Ann. (1997)12)



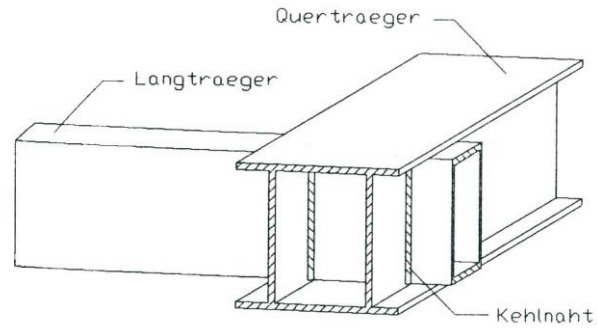
# Folie ausgeführte interne Energieverzehrelemente



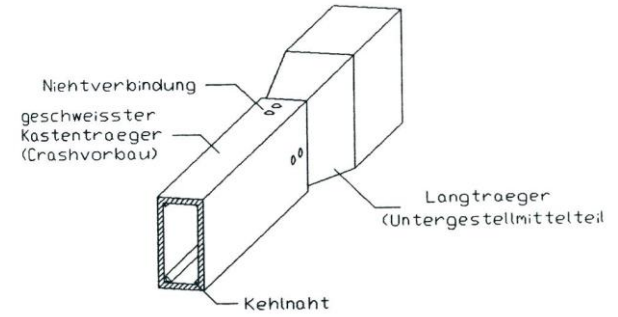
(Quelle: Zehnder: ZEV+DET Glas. Ann. (2001) 9/10; Diplomarbeit S. Scharf)

# Folie Möglichkeiten der Kraftschlussunterbrechung

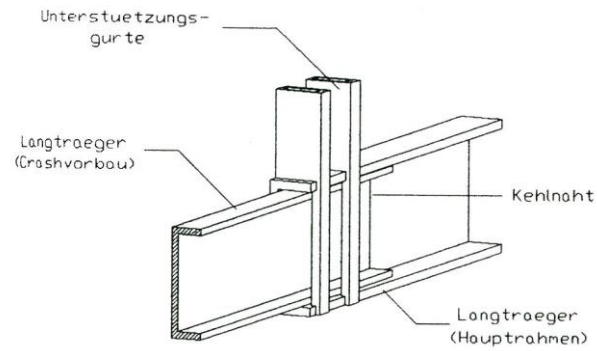
Bsp. 1



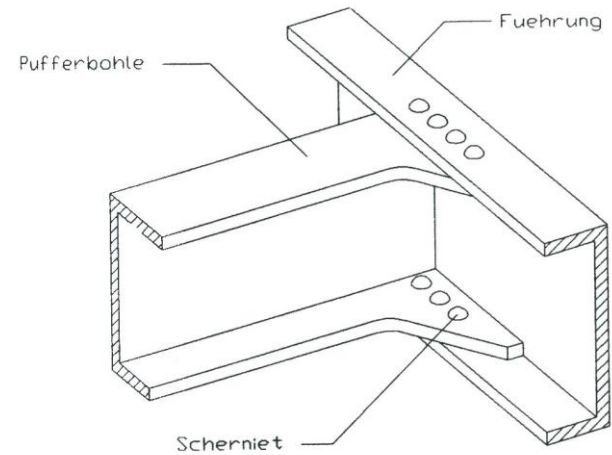
Bsp. 4



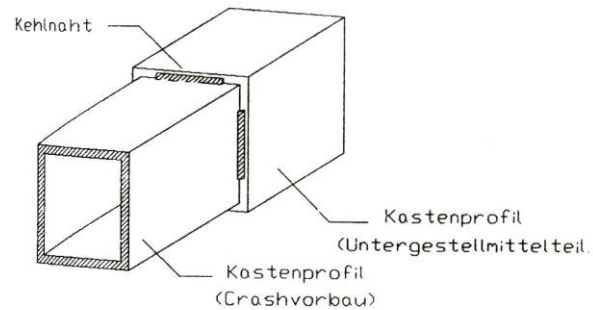
Bsp. 2



Bsp. 5

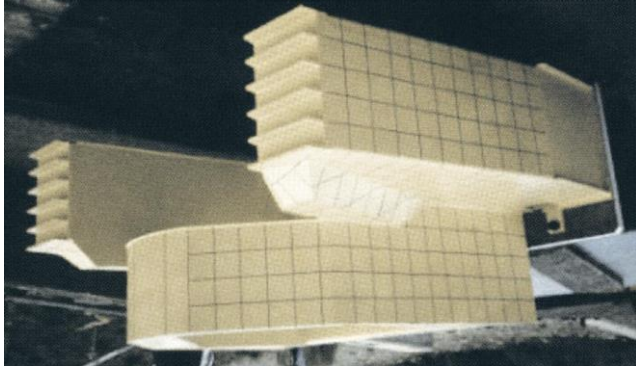
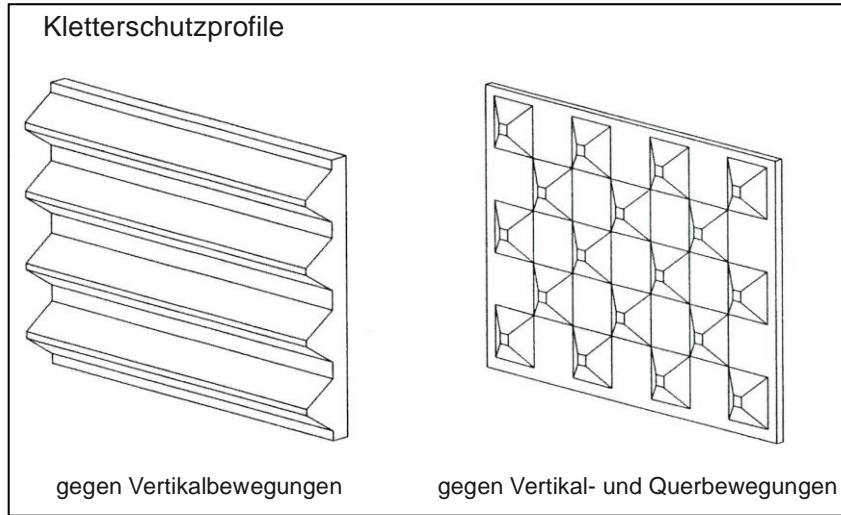


Bsp. 3



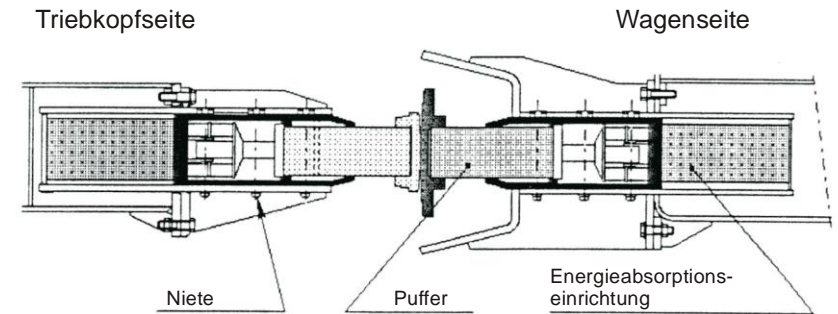
(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf)

# Folie Aufkletterschutzvorrichtungen

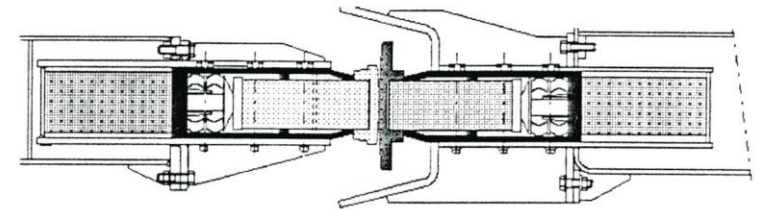


Komponente Bahnräumer/Aufkletterschutz/Pufferhörner SAFETRAIN

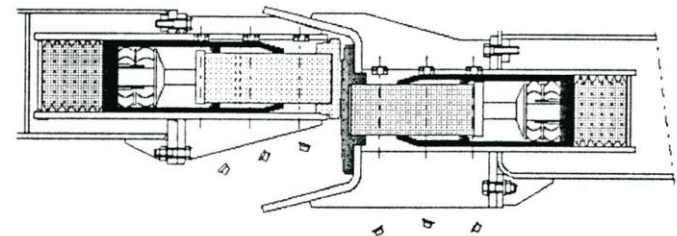
## Funktionsprinzip Aufkletterschutz TGV2N



**Normalbetrieb**



**Normalbetrieb maximale Einfederung**



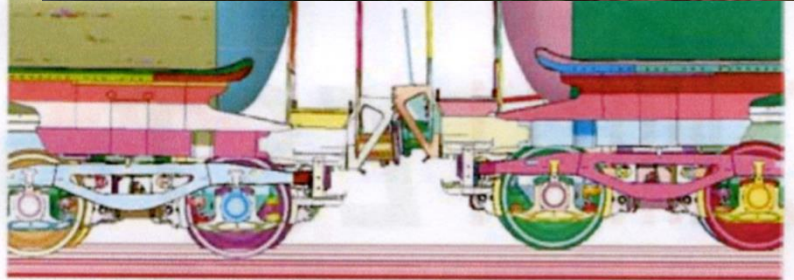
**Wirkung des Aufkletterschutzes**

(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf; Wolter: EI (2001)5; Cléon: Revue générale de chemins de fer (1993)11)

# Folie Aufkletterschutzmodul AC04 (EST)



Sicherheits-Kesselwagen „Safe Tank Car“ von Wascosa. Die Komponenten des Sicherheitspakets werden in leuchtendem Orange hervorgehoben.

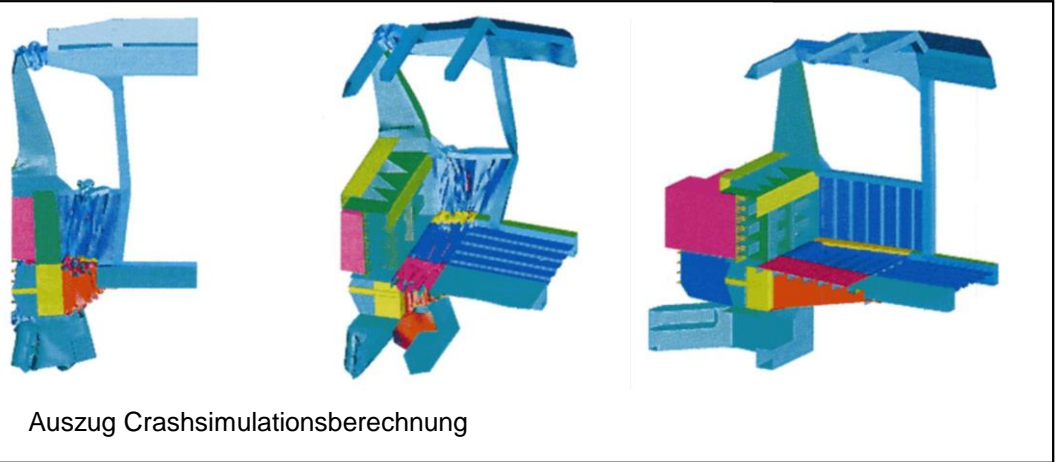
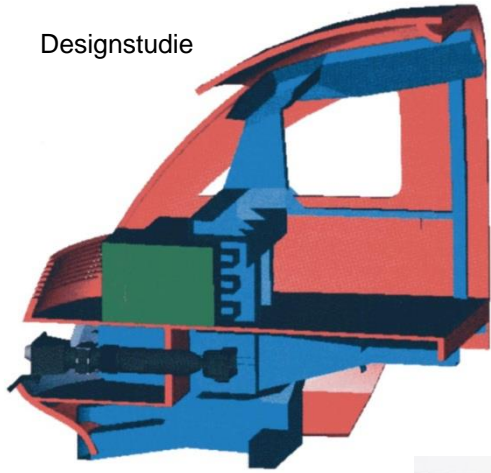


In Crash-Simulationen wurde die Verzahnung der Aufkletterschutzmodule optimiert. Dargestellt ist die Funktion bei einem Höhenunterschied von 100 mm.

(Quelle: PRIVATBAHN MAGAZIN 05/2010)

# Folie EU-Projekt SAFETRAIN

Designstudie



Auszug Crashsimulationsberechnung



(Quelle: Wolter: ZEV+DET Glas. Ann. (2001)9/10)

# Folie Design-Szenarien SAFETRAM

SAFETRAM- Design-Kollisionsszenarios Städtische Straßenbahn  
(CT - City Tram, 200 kN)

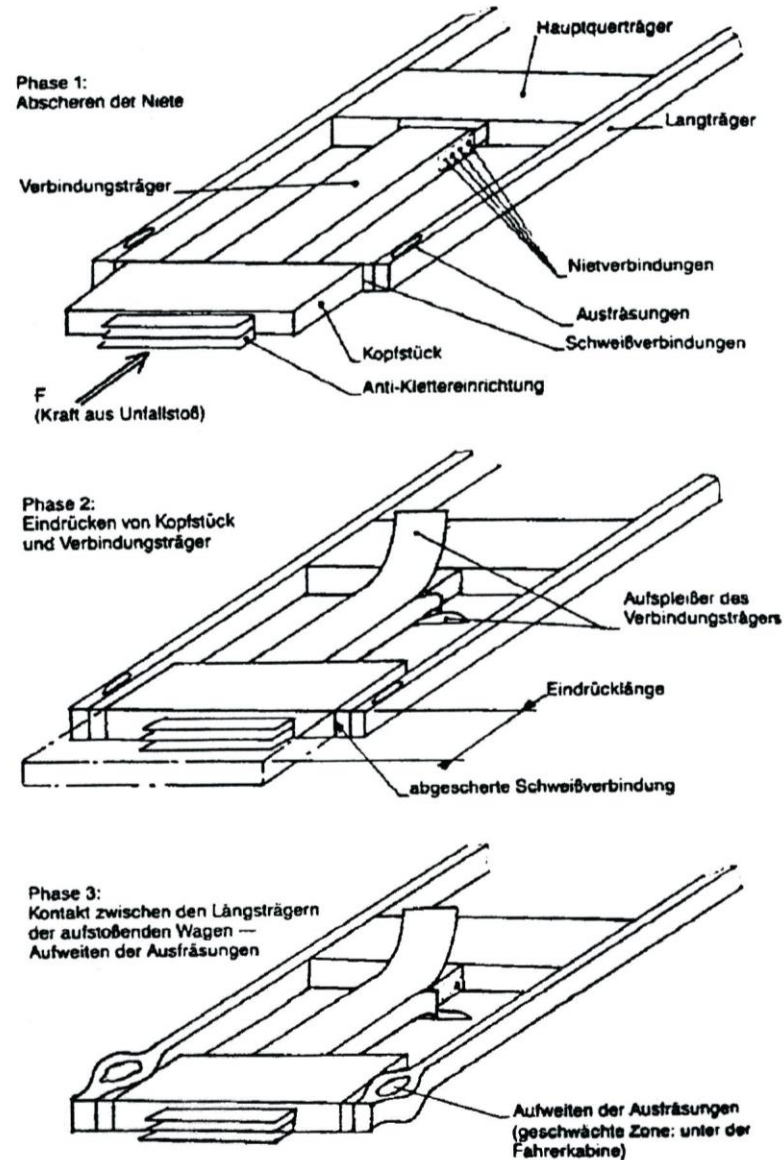
	Szenario	Geschw in km/h	Energie in kJ	Bemerkungen
CI	Notbremsung (Aufprall) von Fahrgästen			Bremsverzögerung 2,73 m/s <sup>2</sup> nach BO Strab
C2	Frontalkollision mit einer identischen Straßenbahn (CT)	20	270	Jede CT absorbiert 50 % der Kollisionsenergie
C3	Eck-Kollision rechts, unter 45° mit einem Lieferwagen (3 t)	25	66	Lieferwagen wird modelliert durch eine starre Wand (3 t)
C4	Frontalkollision mit einer Regional-Stadtbahn (55 t)	10	83	PT wird modelliert durch eine starre Wand(55 t)

SAFETRAM-Design-Kollisionsszenarios Regional-Stadtbahn  
(PT - Periurban Tram, 600 kN)

	Szenario	Geschw. in km/h	Energie in kJ	Bemerkungen
P1	Frontalkollision mit einem 80-t-Güterwagen (UIC-Prellbockwagen)	25	786	Puffer des GW sind an der Energieabsorption beteiligt
P2	Frontalkollision mit einem RE-/RB-Triebzug(129 t)	22	722	Kupplung des TZ ist an der Energieabsorption beteiligt
P3	Frontalkollision mit einer identischen Regional-Stadtbahn (PT)	36	1.375	Jede PT absorbiert 50 % der Kollisionsenergie
P4	Frontalkollision mit einem Lkw (16,5 t)	40	783	Lkw wird modelliert durch eine starre Wand (16,5 t)

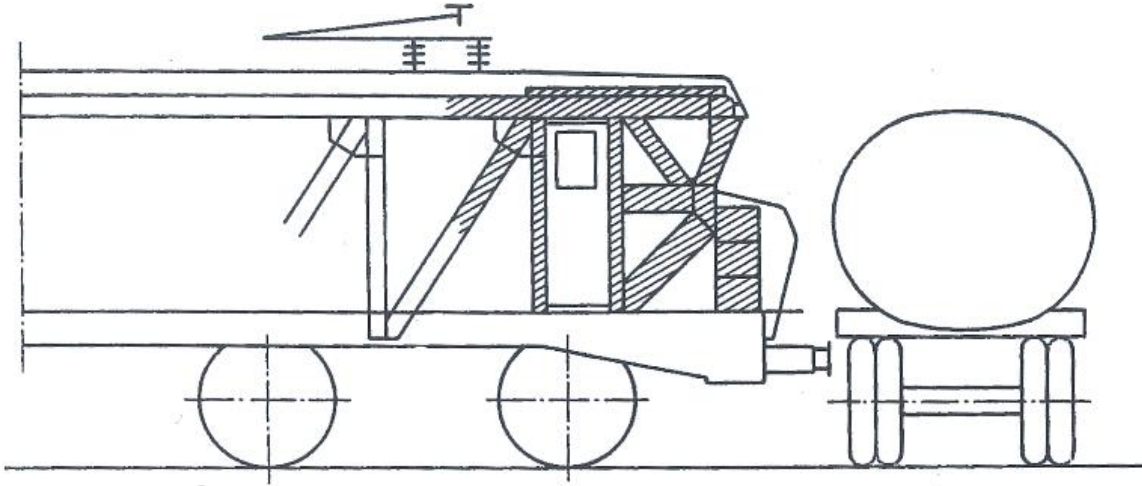
(Quelle: Wolter: ZEVrail (2004) SFT Graz)

# Folie Untergestellvorbau U-Bahn-Fahrzeug San Francisco



(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf)

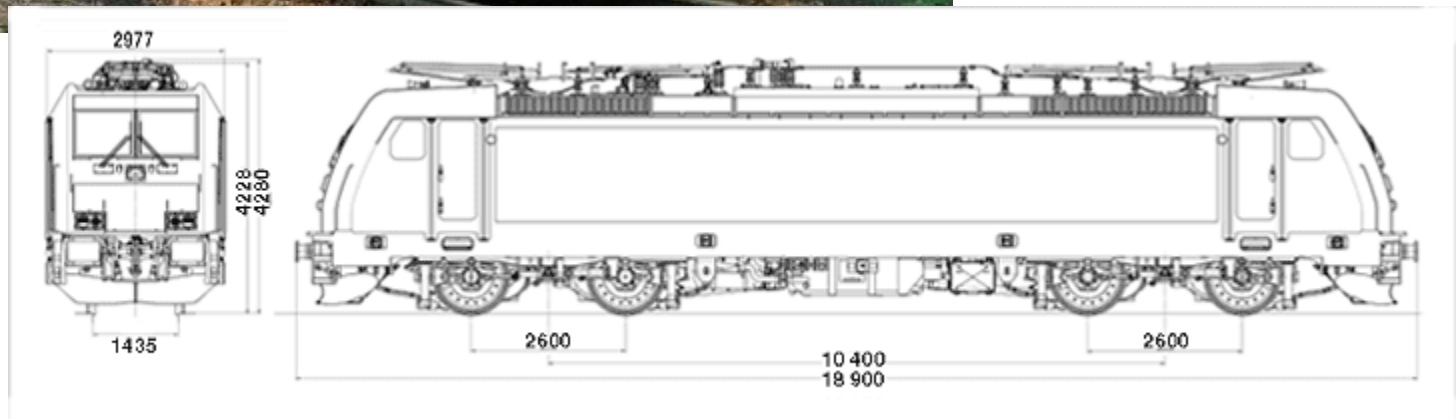
# Folie Rammschutz Lokomotivfamilie Nez cassés 2. Generation



(Quelle: Werner Streit: Baureihe 111; M. Kache)



# Folie Beispiel für Realisierung: TRAXX-Lokomotivfamilie Bombardier



(Quelle: Bombardier)

# Folie Spezielle Aspekte der kollisionssicheren Auslegung von Lokomotiven

## Betriebsbedingungen

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Keine fest konfigurierte Zugeinheit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Möglichkeiten zur Beeinflussung des Gesamt-Kollisionsverhaltens des Zugverbands sind begrenzt</li> <li>– Für die Auslegung ist die Festlegung eines kollisionssicheren Referenzzuges notwendig (Abschnitt 2)</li> </ul>
b) Konzentrierte Antriebsanlage, d.h. hohe statische und dynamische Lasten	Gibt eine untere Schranke für die Deformations-Kraftniveaus vor

## Statische / dynamische Lasten

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Hohe normative Lastanforderungen, z.B. statischer Pufferdruck 2000 kN (EN 12663)	Gibt eine untere Schranke für die Deformations-Kraftniveaus vor
b) Hohe Traktionskräfte, z.B. Doppeltraktion bei schweren Güterzügen	Führt zum Zielkonflikt zwischen gewünschten dynamischen Festigkeitsreserven und angemessenen Auslösekräften der Deformation
c) Schwere konzentrierte Massen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Starke lokale Massenträgheitseffekte bei dynamischer Belastung</li> <li>– Hohe Lasten auf Ausrüstungsbefestigungen</li> </ul>



## Strukturbauweise

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Bei selbsttragendem Kastenrohbau: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verteilte Lastpfade</li> <li>– Hohe globale Steifigkeit durch große Kastenbauhöhe</li> </ul>	Strukturelle Deformation kann durch gezielte lokale Instabilität in der Struktur eingeleitet werden: → Energieaufnahme innerhalb der Kastenstruktur möglich
b) Bei Untergestell-Bauweise (nichttragende Aufbauten): <ul style="list-style-type: none"> <li>– Konzentrierte Lastpfade</li> <li>– Hohe lokale Steifigkeit durch große Blechdicken und gedrungene Bauweise</li> </ul>	Hohe Kollapsgefahr durch globales Knicken des Rahmens: → Energieaufnahme kann nur durch externe Anbauelemente sinnvoll erreicht werden

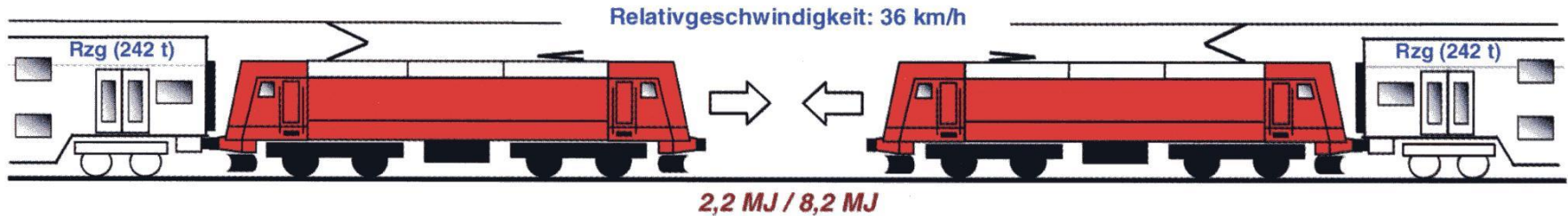
## Geometrie, Kupplungen

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Symmetrie, d.h. Lokomotivkästen normalerweise mit zwei identischen Fahrzeugenden (Fahrerständen)	Gleiches Energieaufnahmevermögen an beiden Fahrzeugenden: Bei vielen Kollisionen wird auch das hintere Fahrzeugende aktiviert und trägt zur Energieaufnahme bei
b) Kompakte Bauform: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Keine aerodynamisch langen Fahrzeugenden</li> <li>– Geringer Abstand zwischen Kopfstück und Drehgestellrahmen</li> <li>– Sitzposition des Triebfahrzeugführers nahe am Fahrzeugende</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verfügbare Deformationslänge ist begrenzt</li> <li>– An den Schutz des Triebfahrzeugführers sind besonders hohe Anforderungen zu stellen</li> </ul>
c) Kurzer Fahrzeug-Überhang wegen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Radsatz-Führungskräfte (UIC 518)</li> <li>– Laterale Kräfte in Kupplungsebene</li> <li>– Kuppelbarkeit in Gleisbögen</li> <li>– Geringe Verspannkräfte und hohe Entgleisungssicherheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verfügbare Deformationslänge ist begrenzt</li> <li>– Besonders kompakte Baulänge für Deformationselemente und Kopfstückstruktur ist anzustreben</li> </ul>
d) Üblicherweise ausgestattet mit Seitenpuffern und Schraubenkupplung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zugänglichkeit für den Rangierer muss erhalten werden ("Berner Raum")</li> <li>– Es muss eine technische Lösung für den Aufkletterschutz gefunden werden, die mit verschiedenen Arten von unfallgegnerischen Fahrzeugen wirksam ist</li> </ul>

(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)

# Folie Kollisionsszenarien für Auslegung der TRAXX-Lokomotiven

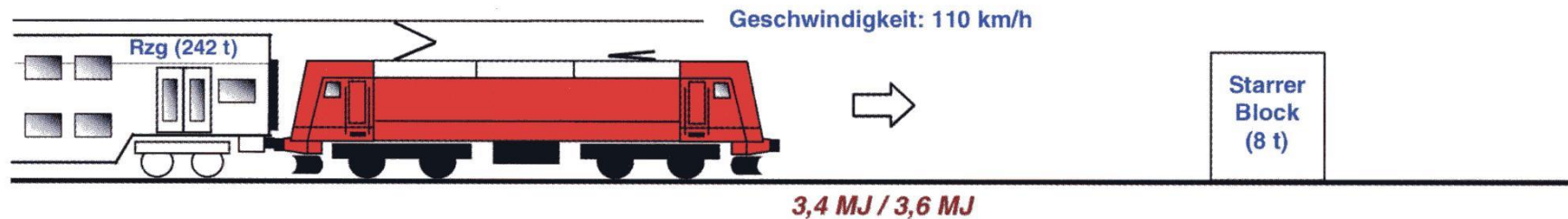
## Szenario TSI-1 (jeweils ohne / mit Referenzzug)



## Szenario TSI-2 (jeweils ohne / mit Referenzzug)

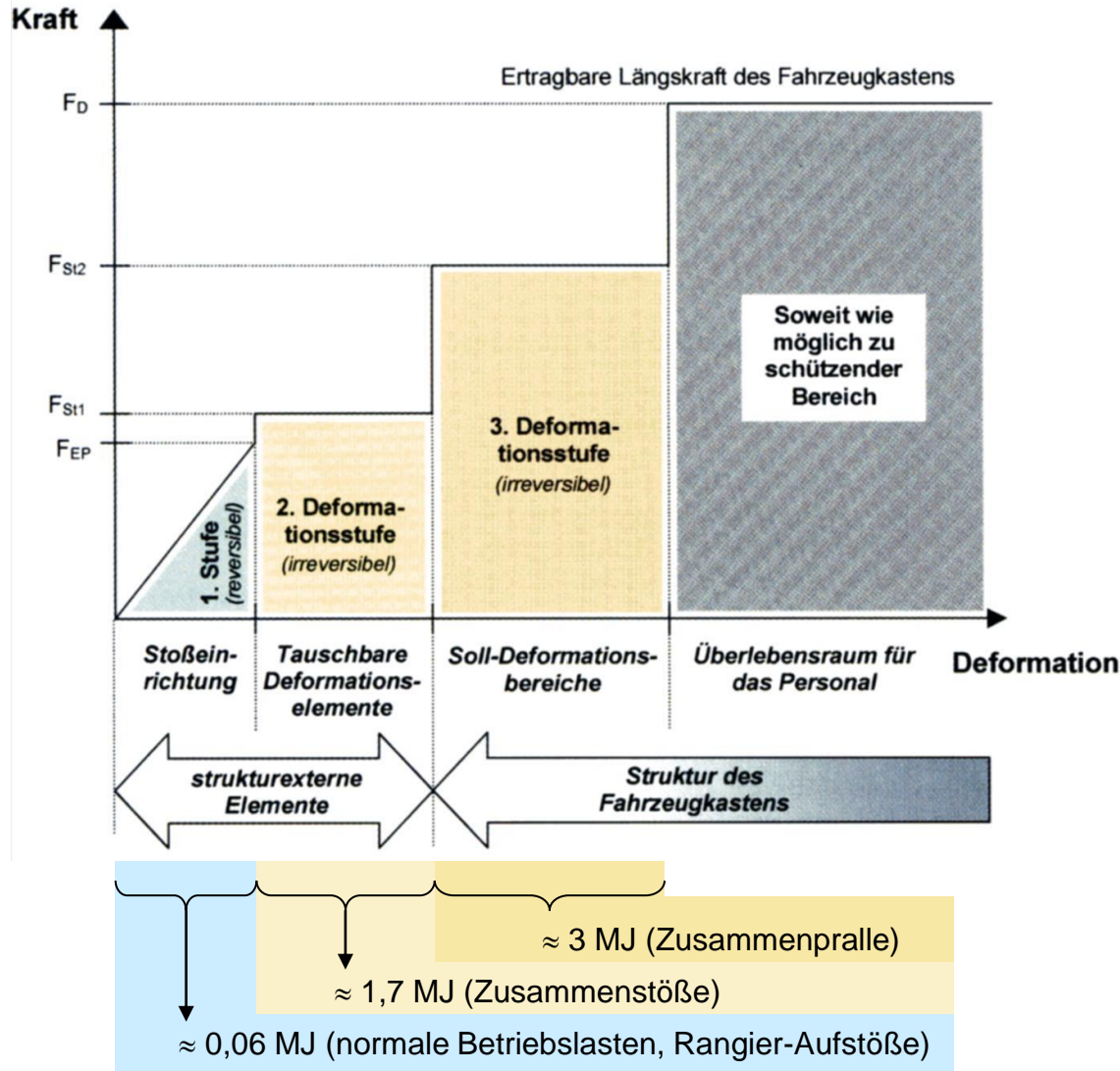


## Szenario TSI-3 (jeweils ohne / mit Referenzzug)

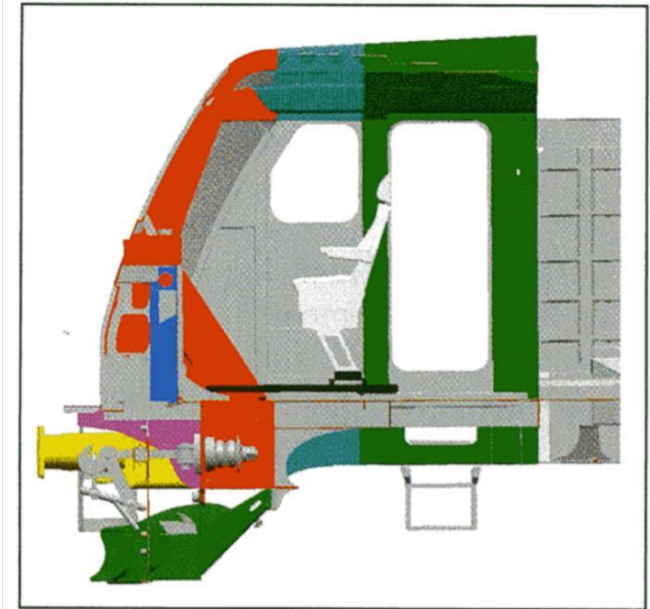


(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)

# Folie TRAXX-Crashkonzept



(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)



**Abb. 3: Bausteine des TRAXX-Crashkonzepts:**

- Rot – Adaptiver Front-Schutzverbund
- Dunkelblau – Anti-Penetrationswand
- Hellblau – Deformationssegmente der Langträger
- Violett – Aufkletterschutz
- Gelb – Strukturexterne Deformationselemente EST Duplex G1.A1
- Hellgrün – Craschoptimierter Schnee- und Hindernisräumer
- Dunkelgrün – Überlebensraum mit Deformationsbarrieren (Reparaturkonzept)
- Schwarz – Integraler Tragrahmen zur Aufnahme von Führertisch und Führersitzverankerung

# Folie Crashtest bzw. Simulation TRAXX

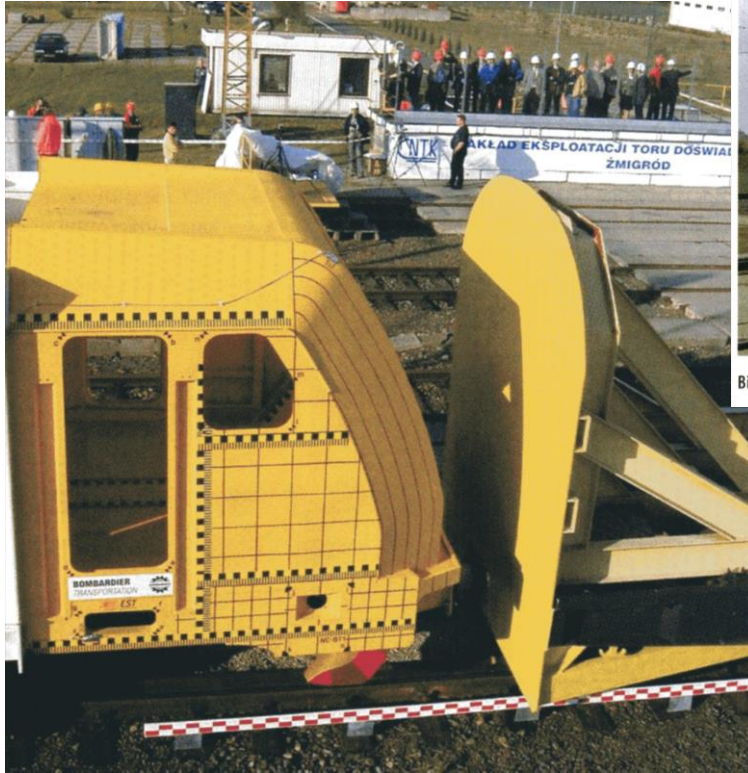


Bild 15: Deformationen am Versuchs-Frontsegment nach dem Crash-Versuch

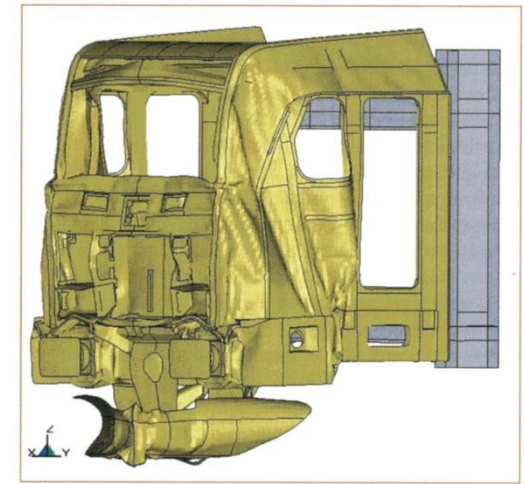
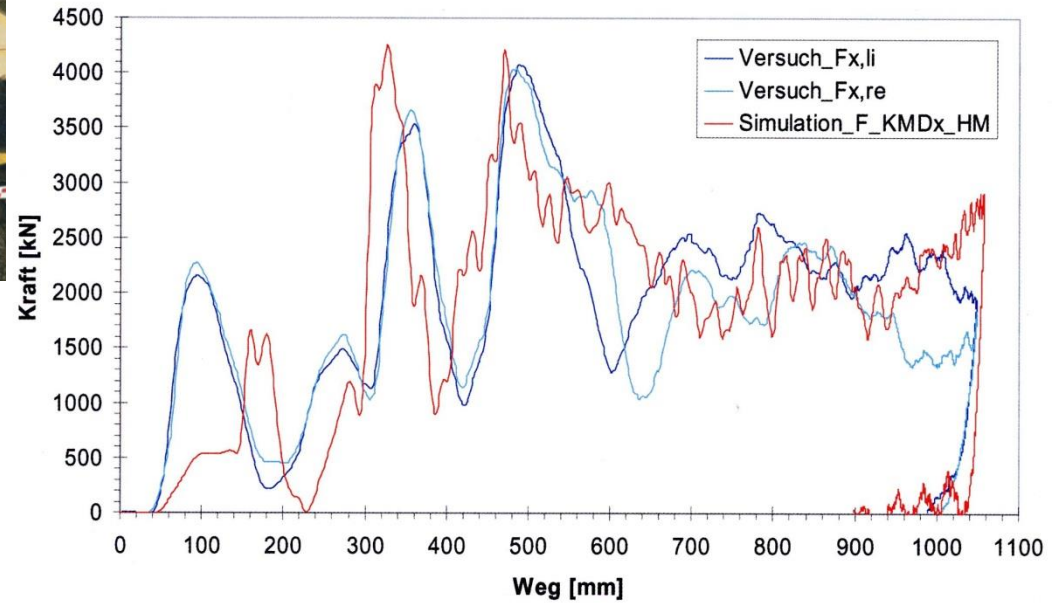


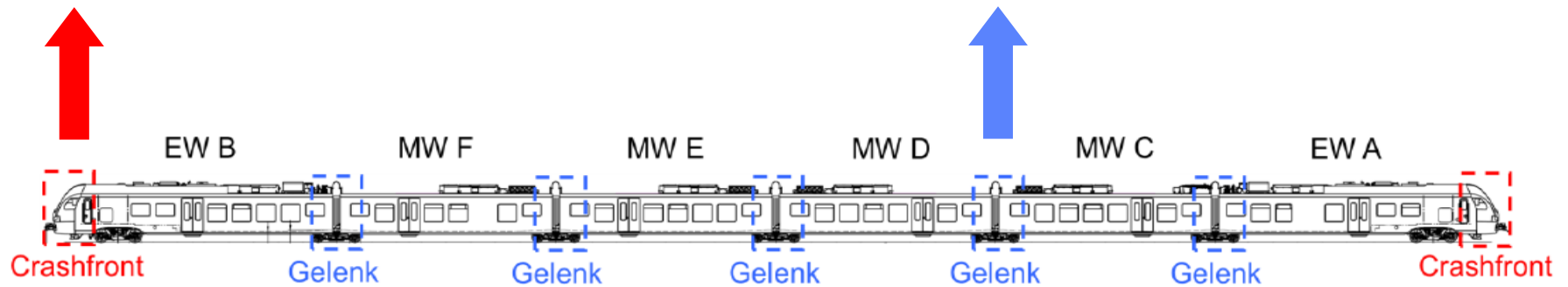
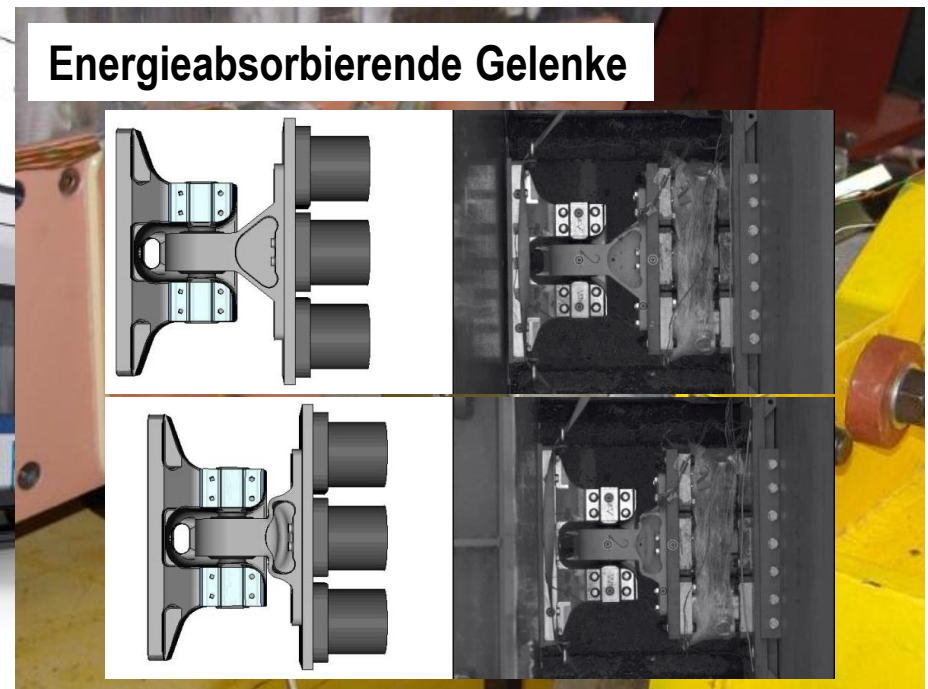
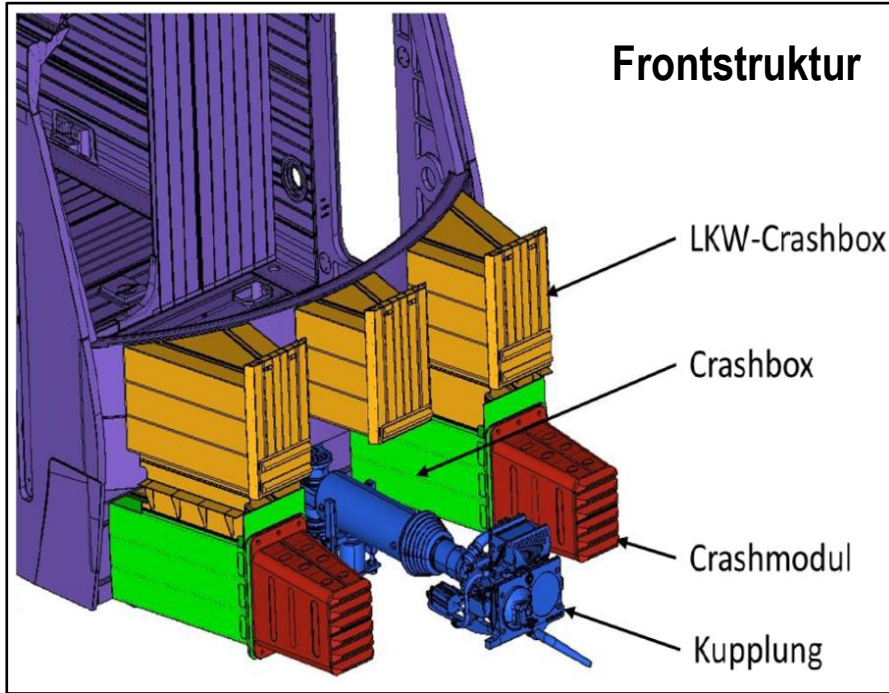
Bild 16: Deformationen am Versuchs-Frontsegment als Ergebnis der Simulation

## Kraft-Weg-Kennlinien - Versuch / Simulation



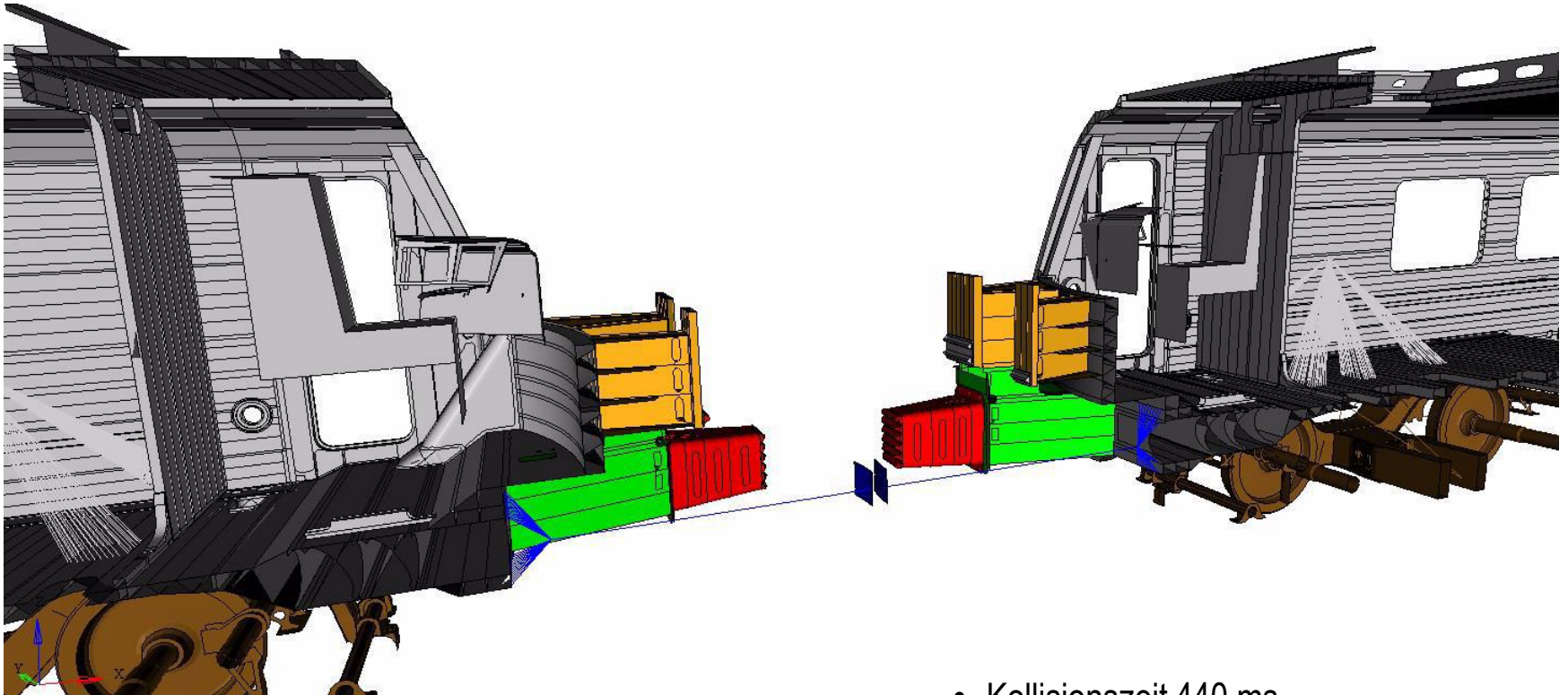
(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)

# Folie Crashkonzept FLIRT<sup>3</sup> (I)



(Quelle: Wagner; Starlinger: Vortrag Graz 2014)

## Kollisionsszenario 1 nach EN 15227 (Sfz ↔ Sfz, 36 km/h)

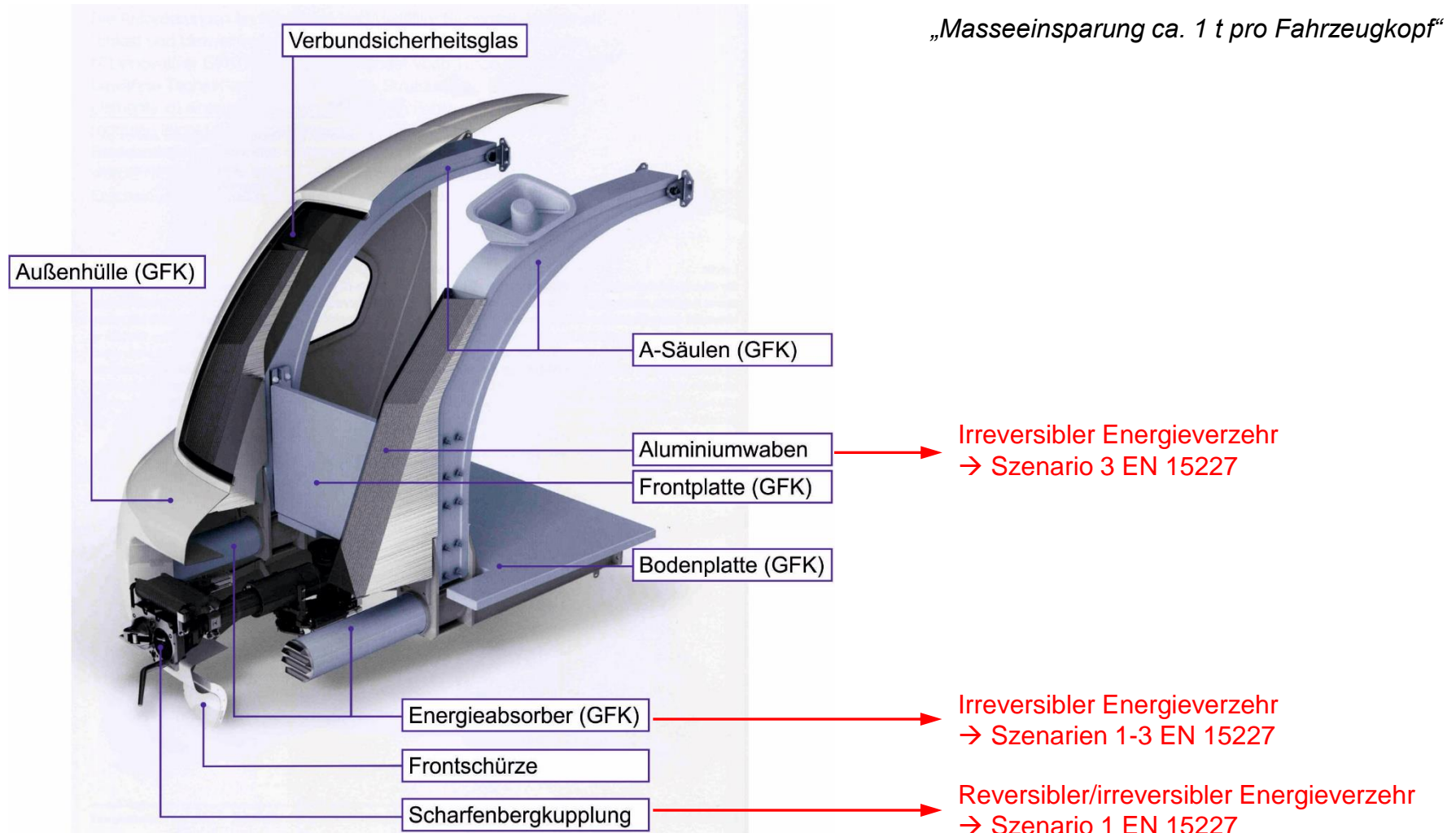


- Kollisionszeit 440 ms
- Aufgenommene Kollisionsenergie 4.428 kJ
  - Frontkupplung 35 %
  - Crashfront 53 %
  - Gelenke zwischen den Wagen 10 %

(Quelle: Wagner; Starlinger: Vortrag Graz 2014)



# Folie Beispiel Galea-Crashkopf Voith Turbo Scharfenberg



(Quelle: Prospekt Voith Turbo Scharfenberg : Verbinden und Schützen. Kupplungs- und Frontendsysteme)

# Folie Beispiel für Realisierung: Sicherheits-Chemiekesselwagen CeSa

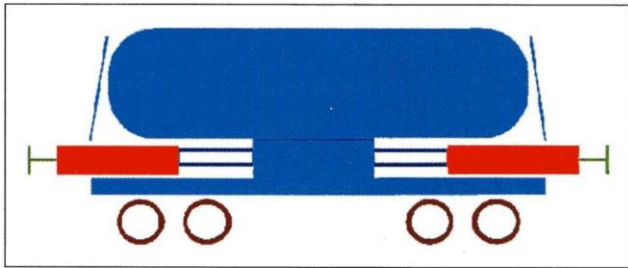
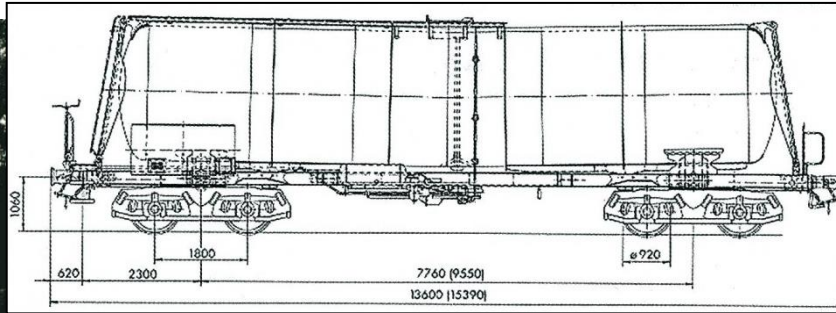


Bild 6: Funktion CeSa im Fahrzustand

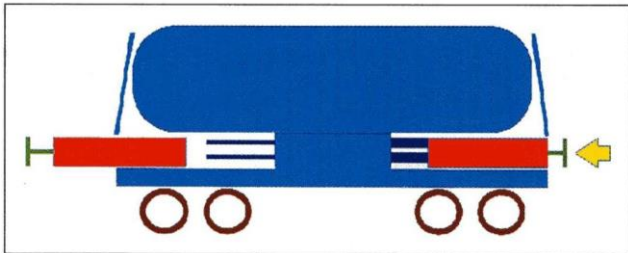
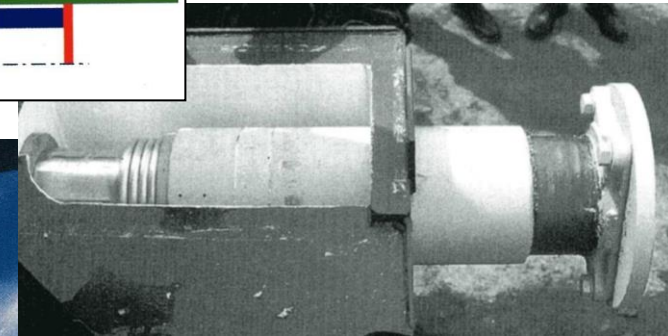
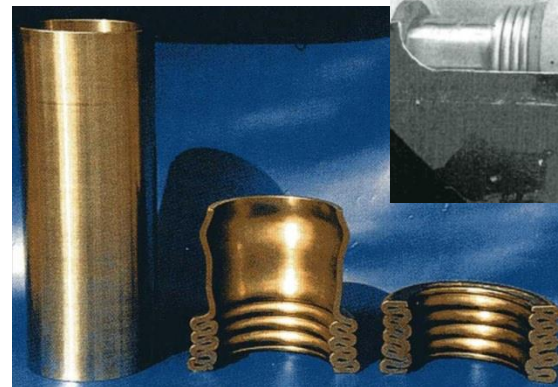
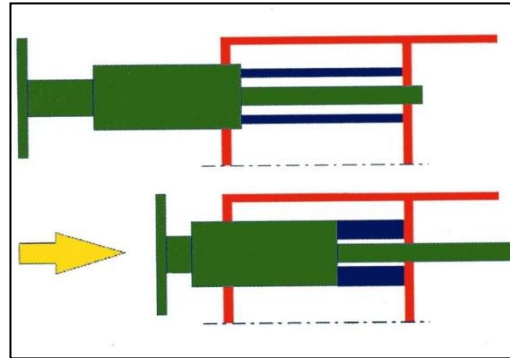
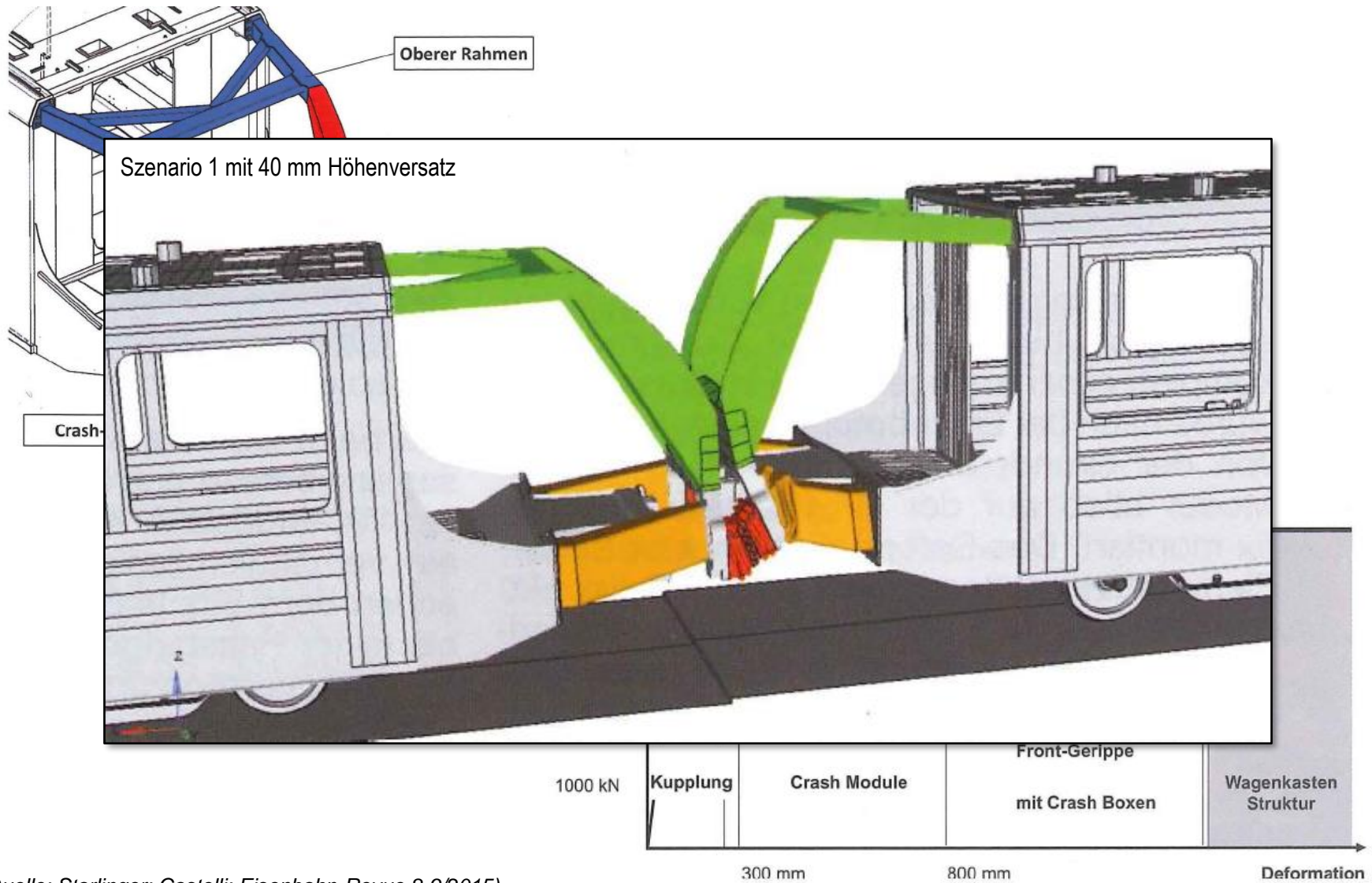


Bild 7: Funktion CeSa im Crashzustand



(Quelle: ZEV+DET Glas. Ann. (2000)7; Müller: EI (2000)7)



(Quelle: Starlinger; Castelli; Eisenbahn-Revue 8-9/2015)

# Folie Frontalkollision GTW 2/6 – Mai 2015



(Quelle: Starlinger; Castelli; Eisenbahn-Revue 8-9/2015)

**DIN EN 15227:2011-01**  
**EN 15227:2008+A1:2010 (D)**

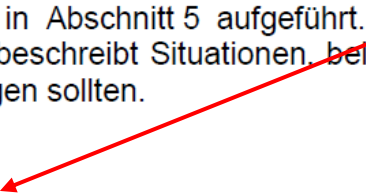
## 1 Anwendungsbereich

...

Die Anforderungen decken nicht alle möglichen Unfallszenarien ab, sondern sorgen für ein Niveau von Kollisionssicherheit, das die Unfallfolgen reduziert, falls die aktiven Sicherheitsmaßnahmen nicht ausreichend gewesen sind. Die Vorgabe besteht darin, ein Schutzniveau bereitzustellen, indem jene häufigsten Kollisionsarten berücksichtigt werden, die zu Verletzungen und Todesfällen führen.

Die anzuwendenden Auslegungs-Kollisionsszenarien und geeignete Parameter für normale europäische Betriebsbedingungen sind in Abschnitt 5 aufgeführt. **Anhang A** enthält zusätzliche Informationen zur Herleitung der Szenarien und beschreibt Situationen, bei denen es nötig sein könnte, diese zu verändern sowie die Verfahren, die dann folgen sollten.

...



<b>Anhang A (informativ) Parameter der Auslegungs-Kollisionsszenarien</b> .....	<b>20</b>
<b>A.1 Einleitung</b> .....	<b>20</b>
<b>A.2 Bestimmung der Auslegungs-Kollisionsszenarien bei von normalen europäischen Betriebsbedingungen abweichenden Kollisionsrisiken</b> .....	<b>21</b>
<b>A.2.1 Auslegungs-Kollisionsszenarien</b> .....	<b>21</b>
<b>A.2.2 Risikoanalyse</b> .....	<b>21</b>
<b>A.2.3 Faktoren, die in der Risikobewertung zu berücksichtigen sind</b> .....	<b>22</b>
<b>A.2.4 Kollisionen infolge von Entgleisungen</b> .....	<b>23</b>
<b>A.2.5 Literaturhinweise zu relevanten Unfallinformationen</b> .....	<b>23</b>

# Folie Beispiele für übergeordnete Unfallschutzmaßnahmen (I)



(Quelle: Keller, Wiesent, Ivainisky: Zum Unfallverhalten von Straßenbahnen, Der Eisenbahningenieur 2018-04; Kache: Innotrans 2018)

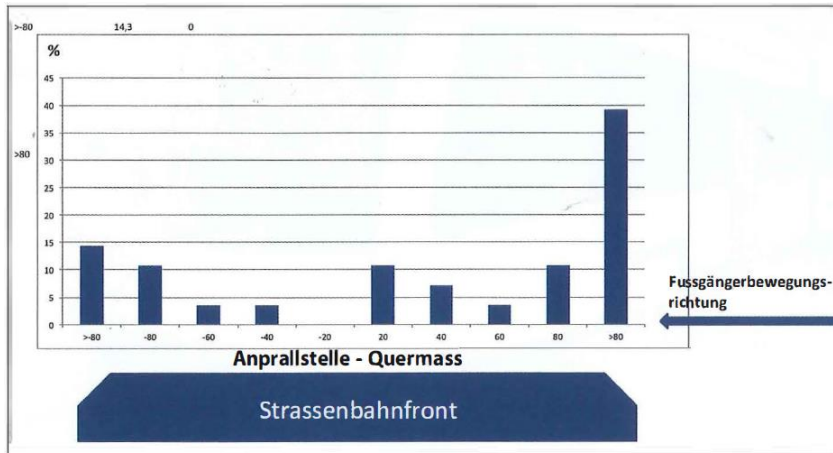
# Folie Beispiele für übergeordnete Unfallschutzmaßnahmen (II)



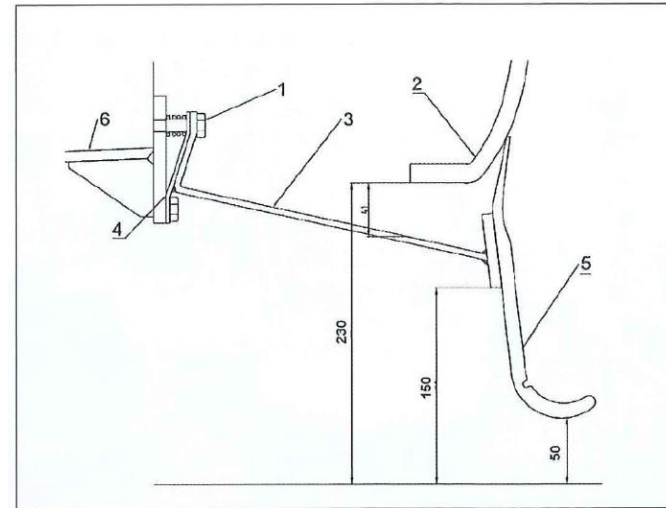
(Quelle: Kache: Innotrans 2018)



# Folie Personenunfall Fahrzeugfront Straßenbahn

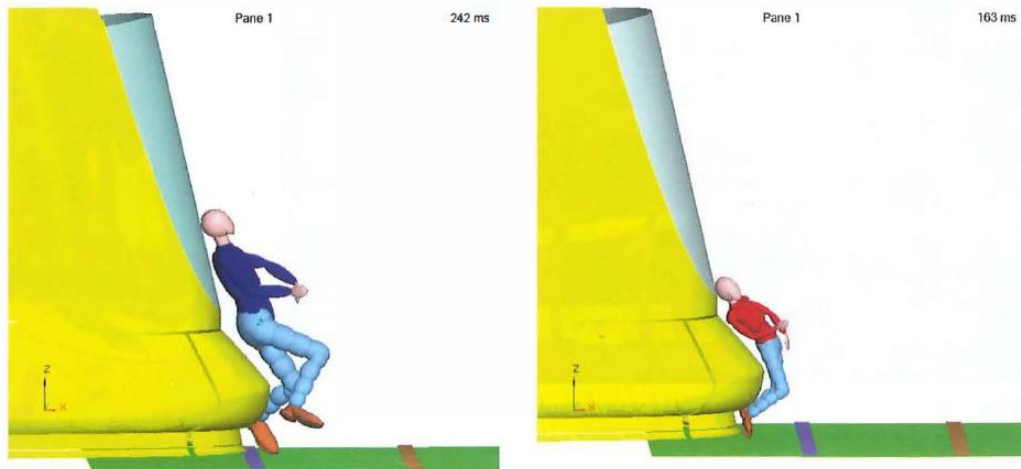


**Abb. 10:** Statistische Erhebungen zum Unfallgeschehen nach Bugarcic [4]. Sie zeigt, an welcher Stelle der Verunfallte in Relation zur Gleismitte von der Straßenbahn erfasst wird. *Grafik: Stadler Altenrhein AG*



**Abb. 12:** Konstruktionsidee zum weitestmöglichen Schließen des Spaltes zwischen Unterkante Frontschürze und Schienenoberkante. Mit der Stellschraube (1) lässt sich die Höhe der UK Gummilippe (5) in feinen Schritten unter Berücksichtigung des Radverschleißes einstellen.

*Grafik: Stadler Altenrhein AG*

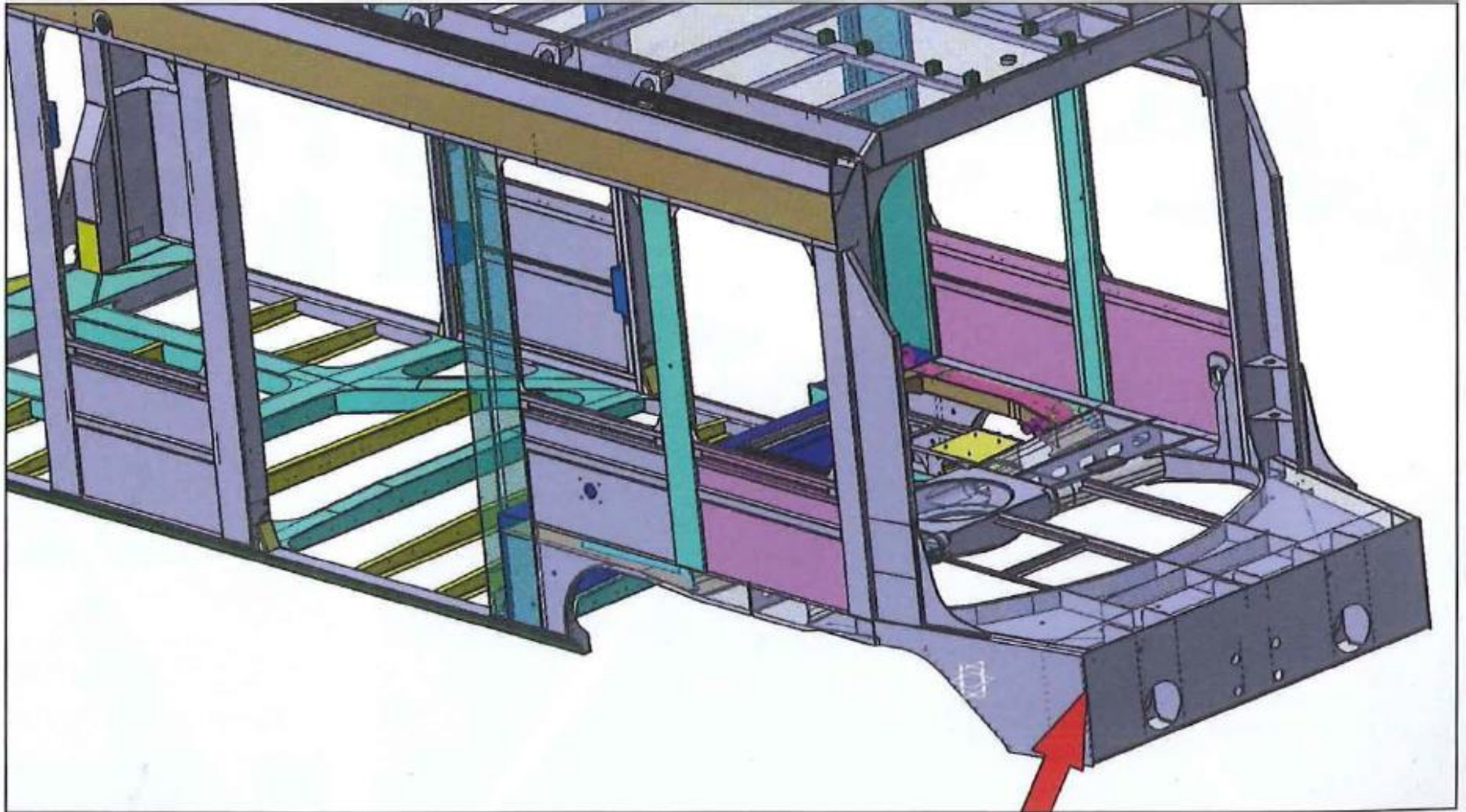


**Abb. 11a und b:** Der Dummy „Erwachsener“ und „Kind“ wird jeweils bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h angefahren (nach [8]) *Grafiken: Stadler Altenrhein AG*



**Abb. 13:** TramTrain für die Dänische Region Aarhus *Foto: Stadler Rail AG*

(Quelle: Keller, Wiesent, Ivainky: Zum Unfallverhalten von Straßenbahnen, Der Eisenbahningenieur 2018-04)



**Abb. 5:** Metallisch geschlossene und kompakte Seitenwand

Grafik: Stadler Altenrhein AG

(Quelle: Keller, Wiesent, Ivainisky: Zum Unfallverhalten von Straßenbahnen, Der Eisenbahningenieur 2018-04)

## Konstruktive Schutzmaßnahmen:

- keine vorstehende Kupplung
- „weiche“ Glockenform der Front-Abdeckung
- großer Abstand Abdeckung – Führerstandskabine
- weiche Lagerung der Front-Abdeckung



**Abb. 9a und b:** Seitliche Kollision mit Pkw mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von ca. 40 km/h

Fotos: BLT

(Quelle: Keller, Wiesent, Ivainky: Zum Unfallverhalten von Straßenbahnen, Der Eisenbahningenieur 2018-04; Kache)

# Fragenkatalog (I)

---

- Erläutern Sie die Sicherheitsphilosophie der Eisenbahn! Ordnen Sie die kollisionsschutzgerechte Konstruktion ein!
- Was ist eine kollisionsschutzgerechte Konstruktion? Wie kann sie umgesetzt werden?
- Welche grundlegenden Sicherheitsanforderungen sind bei einer kollisionsschutzgerechten Konstruktion zu erfüllen?
- Welche Kollisionen werden bei der kollisionsschutzgerechten Konstruktion von Schienenfahrzeugen betrachtet?
- Wovon sind die Kollisionsenergien bei Schienenfahrzeug-Kollisionen abhängig? Welche Größenordnung der Energie kann durch die kollisionsschutzgerechte Konstruktion beherrscht werden?
- Wie können die Kollisionsenergien mit einer kollisionsschutzgerechten Konstruktion beherrscht werden?
- Welche Anforderungen muss eine kollisionsschutzgerechte Konstruktion einer Wagenkastenstruktur erfüllen (Rahmenbedingungen)?

## Fragenkatalog (II)

---

- Skizzieren Sie den anzustrebenden Verlauf der Energie-Absorption bei einer kollisionsschutzgerechten Konstruktion eines Schienenfahrzeugs!
- Skizzieren Sie die Verformungskennlinien einer Kollision eines kollisionsschutzgerecht ausgelegten mit einem nicht kollisionsschutzgerecht ausgelegten Schienenfahrzeug! Benennen Sie die Bereiche!
- Wie wird nach der europäischen Normung der Nachweis der kollisionsschutzgerechten Konstruktion durchgeführt?
- Was sind Kollisionsszenarien im Rahmen der kollisionsschutzgerechten Konstruktion? Nennen Sie Kollisionsszenarien der europäischen Normung!