

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

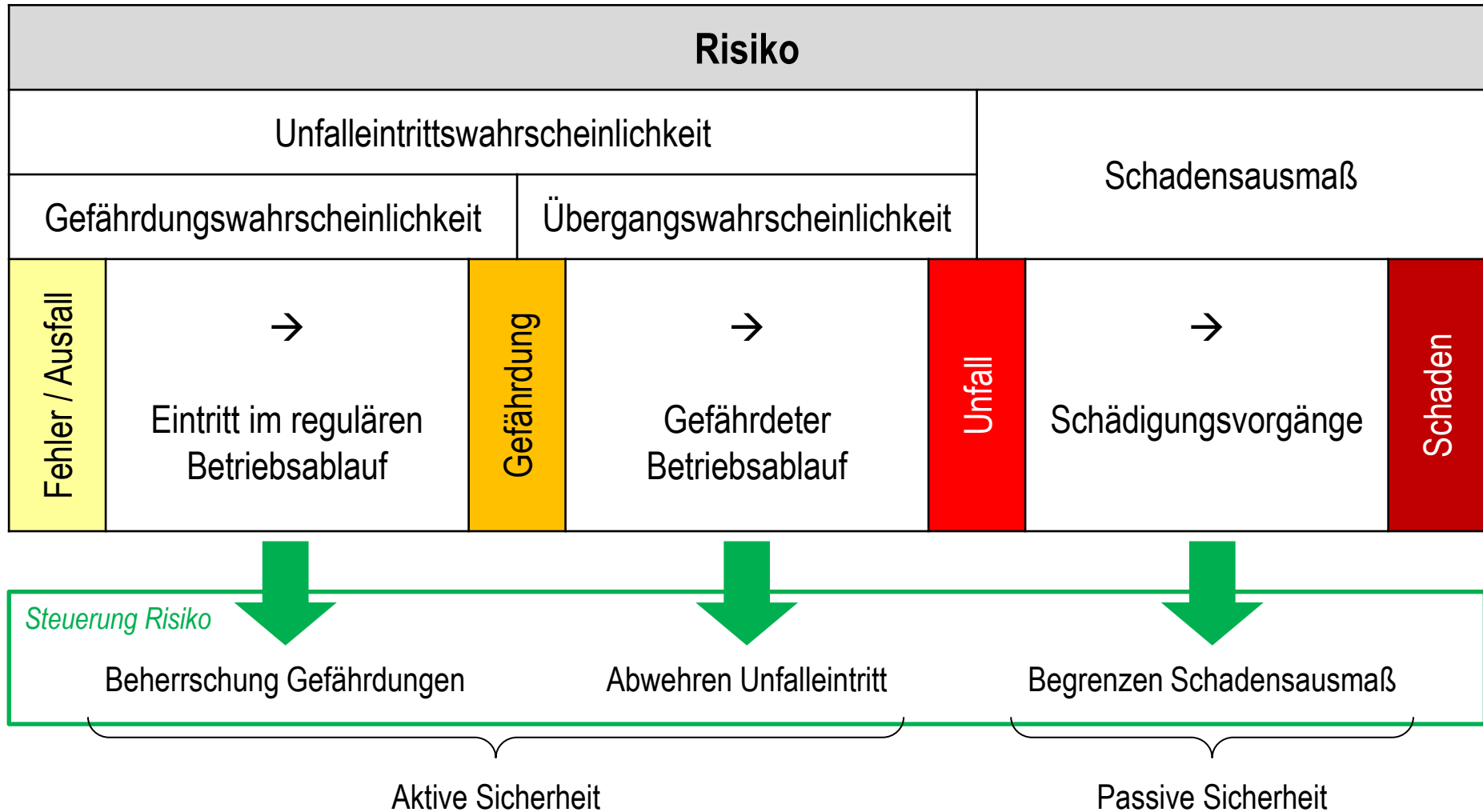
- Unfallanalysen
- Aktuelle Vorschriften
- Nachweis

6.4. Umsetzung der kollisionsschutzgerechten Konstruktion

- Konstruktive Beherrschung der Energien
- Energieverzehrelemente, Aufkletterschutz
- Beispiele

6.5. Weitere Aspekte

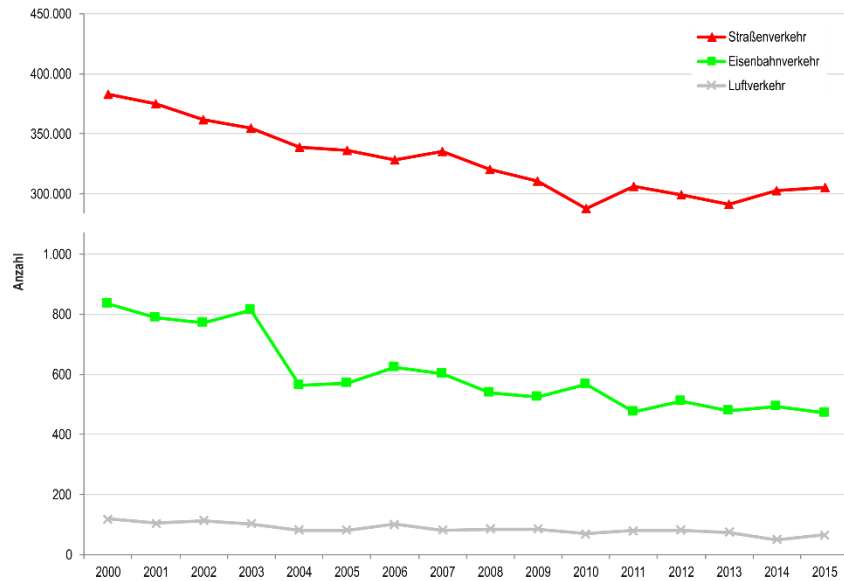
Folie Risikoformel nach CSM-RA



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

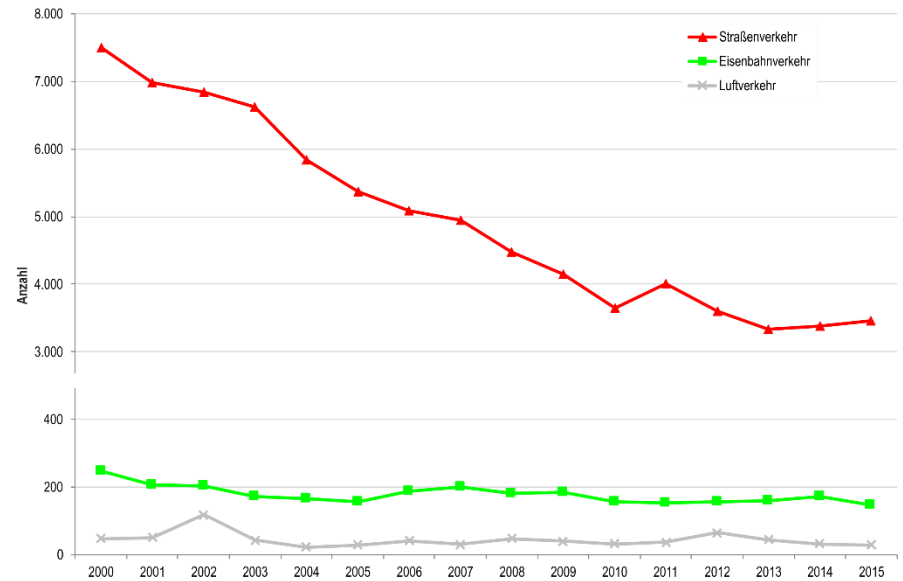
Unfälle mit Personenschaden nach Verkehrszweigen

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



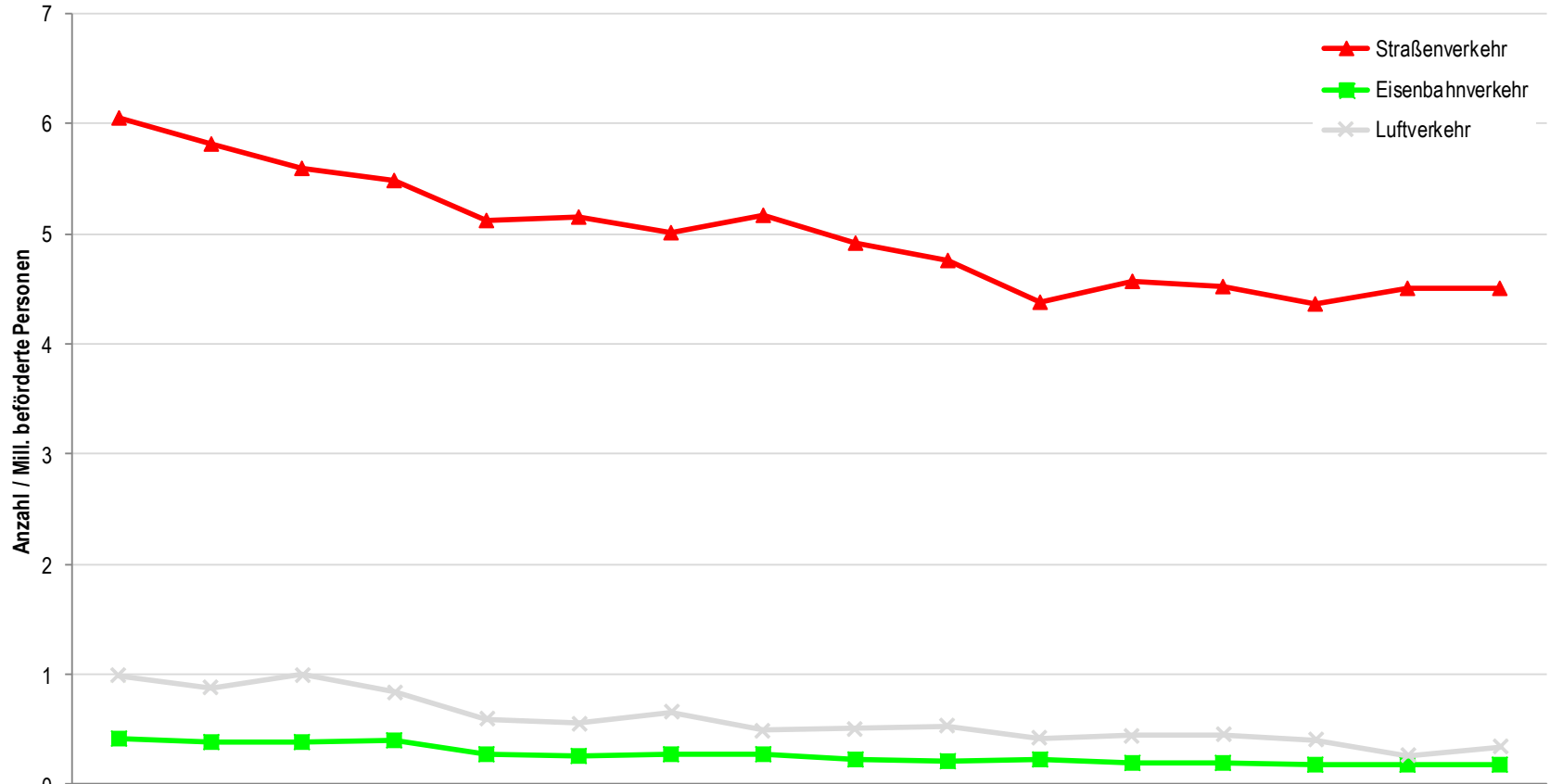
Getötete Personen nach Verkehrszweigen

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



Unfälle mit Personenschaden pro Mill. beförderte Personen nach Verkehrszweigen

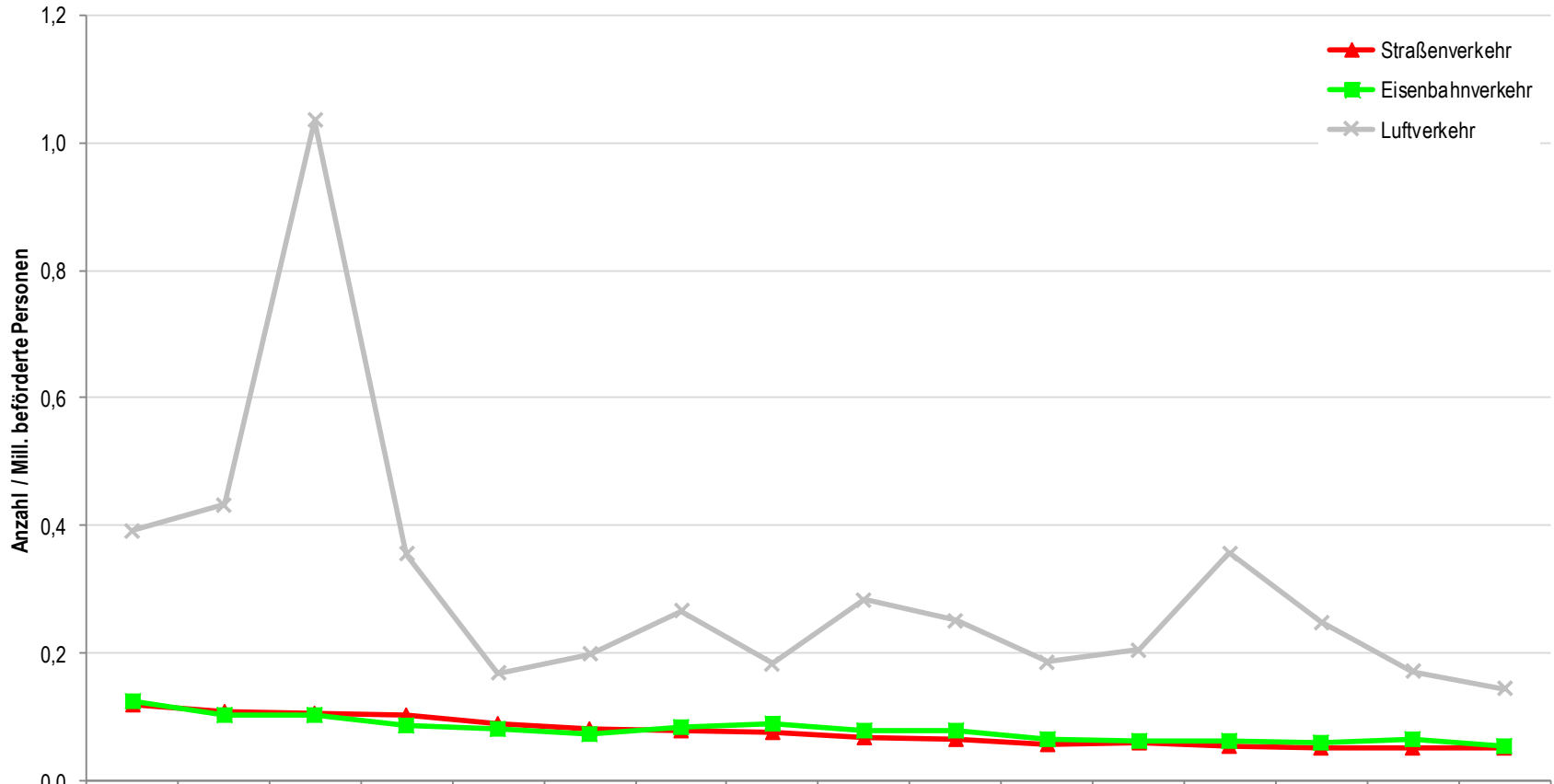
(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 1.2 (Übersicht 2, 07.11.2017), Reihe 7 (Tabelle 12, 10.10.2017))



	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

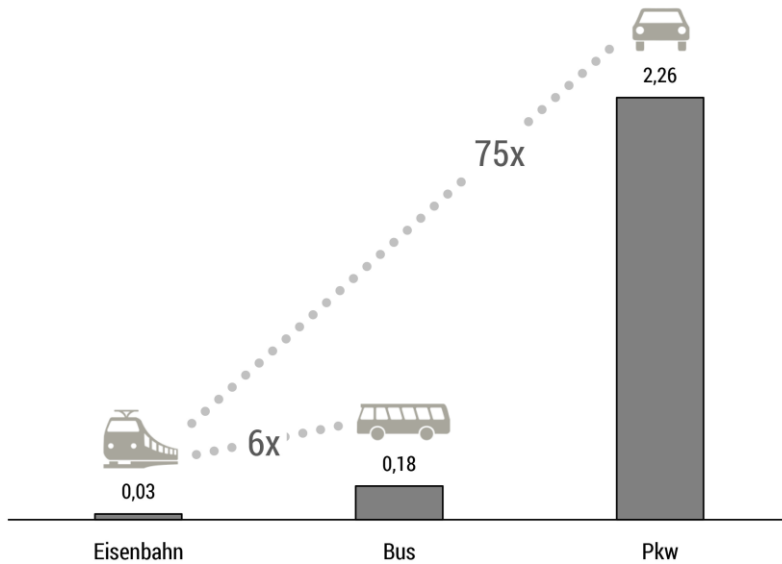
(Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 1.2 (Übersicht 2, 07.11.2016), Reihe 7 (Tabelle 12, 10.10.2017))



	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

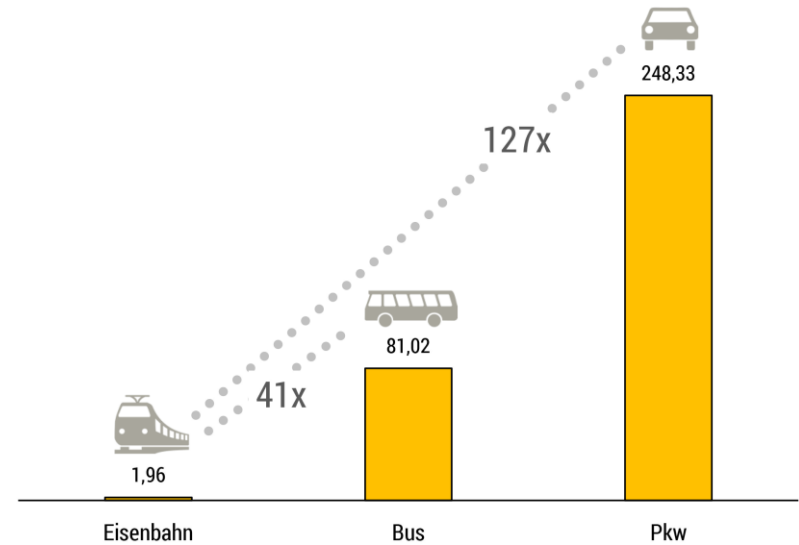
Getötete Reisende pro Milliarde Personenkilometer,
Durchschnitt 2006-2015



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)



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.

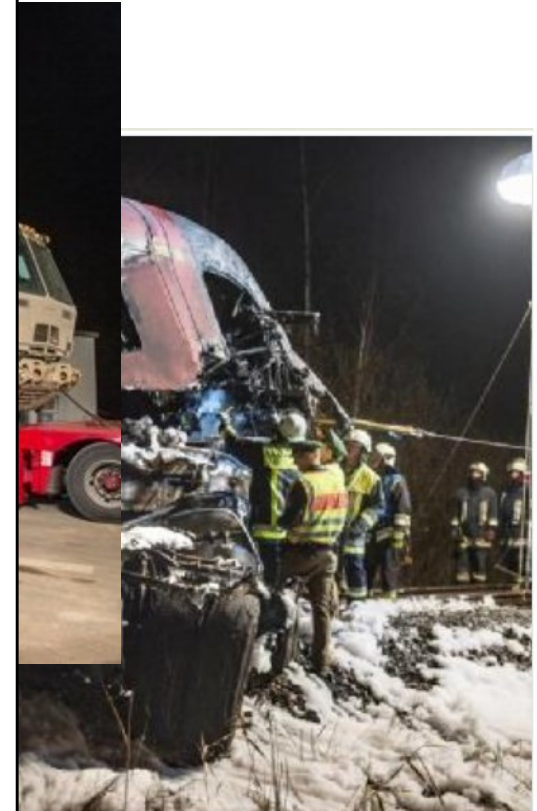


Quelle: Landespolizei

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.

32

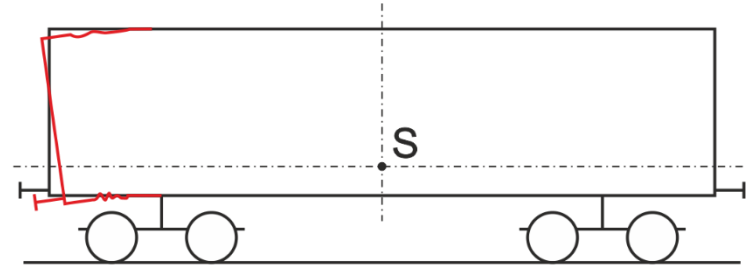
(Quelle: www.kstaww.de)



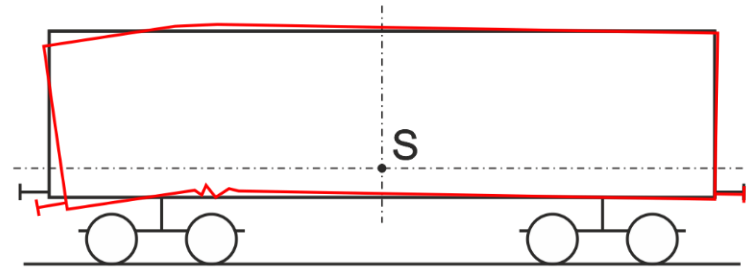
Teile der Zugmaschine eines Sattelzuges
am Unfallort. Foto: Armin Weigel

Folie Kollisionen von konventionellen Fahrzeugen

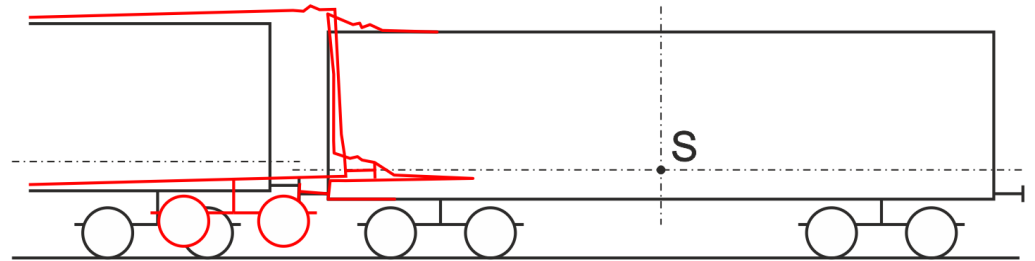
Abknicken Überhangkonstruktion



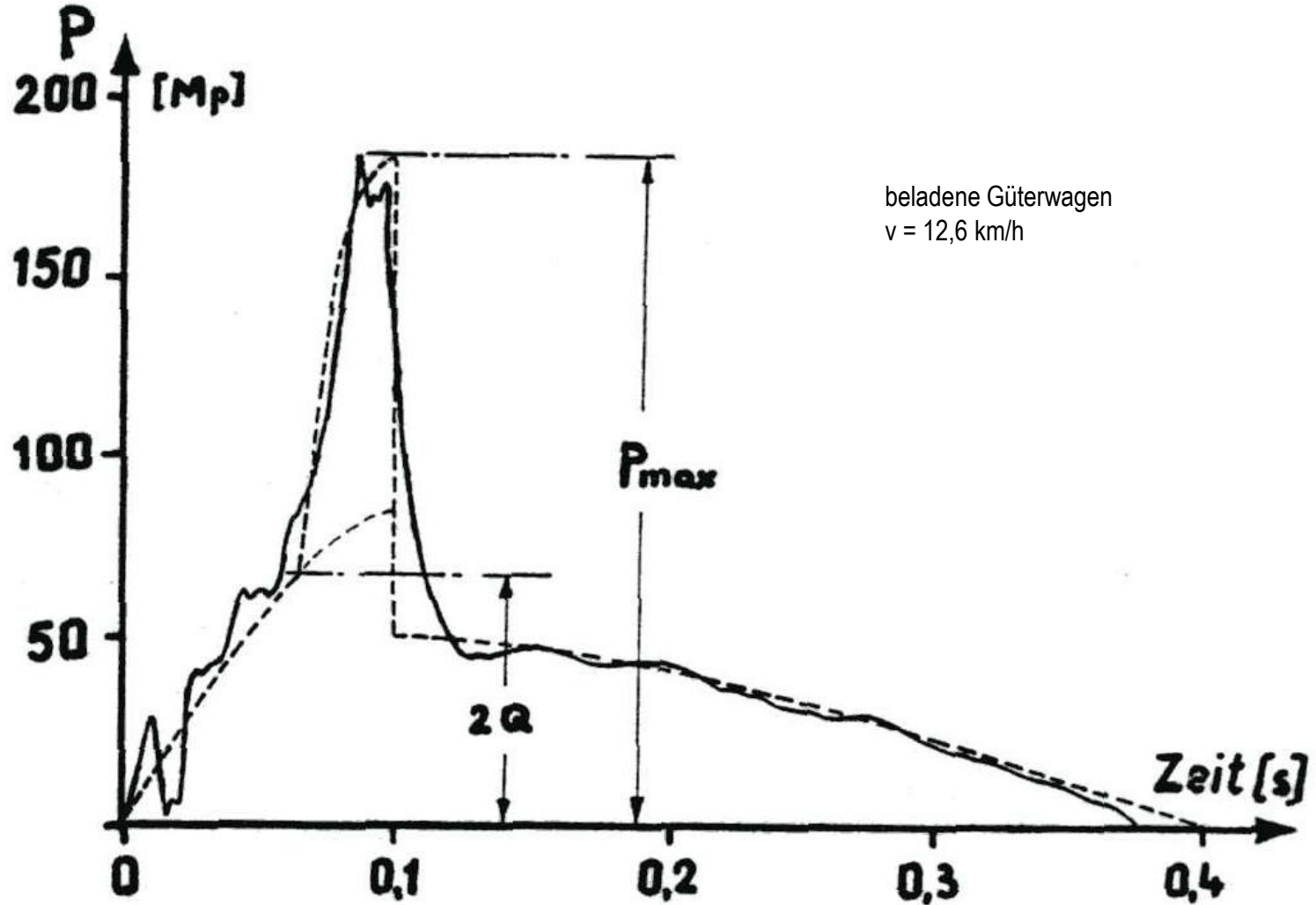
Abknicken hinter Vorbau



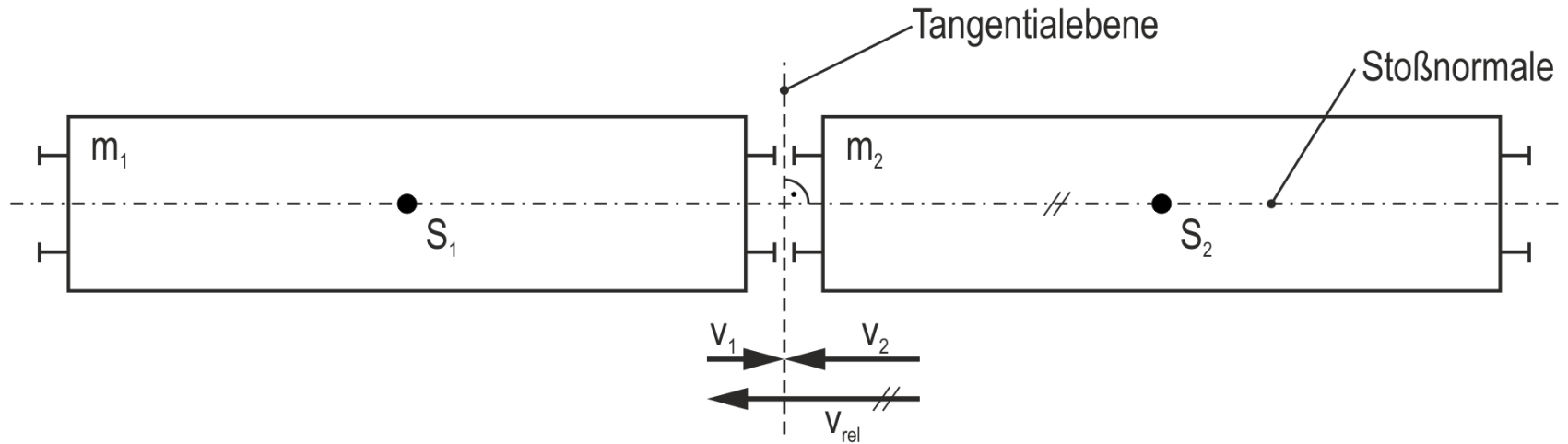
Aufklettern mit vorwiegender Zerstörung der nicht aufkletternden Struktur



Folie Gemessene Pufferkraft beim Auflaufstoß



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

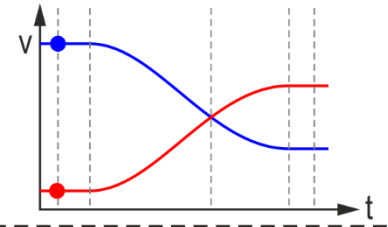
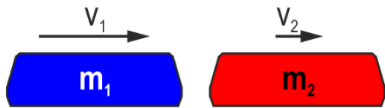


gerade: Relativgeschwindigkeit liegt auf Stoßnormale

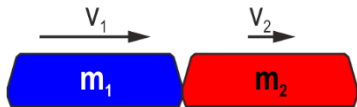
zentral: Schwerpunkte der Kollisionspartner liegen auf Stoßnormale

Folie Zeitlicher Verlauf eines Stoßvorganges

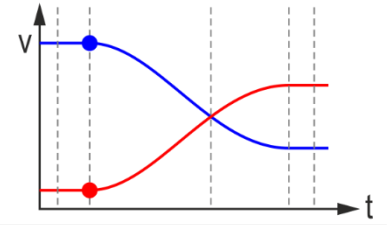
Zustand 0: vor dem Stoß, Fahrzeuge nähern sich mit ungleichen Geschwindigkeiten



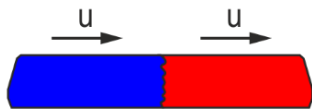
Zustand I: unmittelbar vor dem Stoß, Fahrzeuge gerade in Kontakt



Kompressionsphase:
Ein Teil der kinetischen Energie wird in Kollisionsenergie umgewandelt

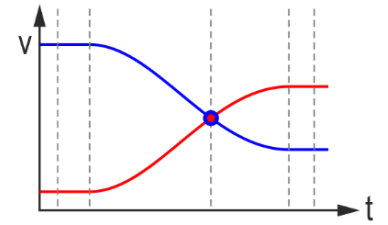


Zustand II: Zeitpunkt der größten Annäherung der Fahrzeuge

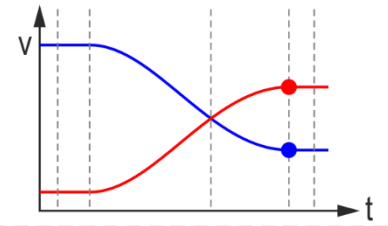


- Relativgeschwindigkeit = Null
- Summe der kinetischen Energie = Minimum
- Zeitpunkt der größten Energiespeicherung

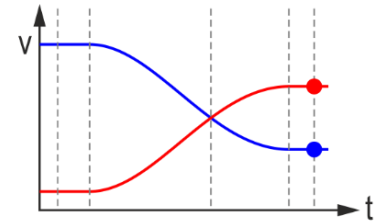
Expansionsphase:
Der reversibel gespeicherte Anteil der Kollisionsenergie wird in kinetische Energie zurückgewandelt

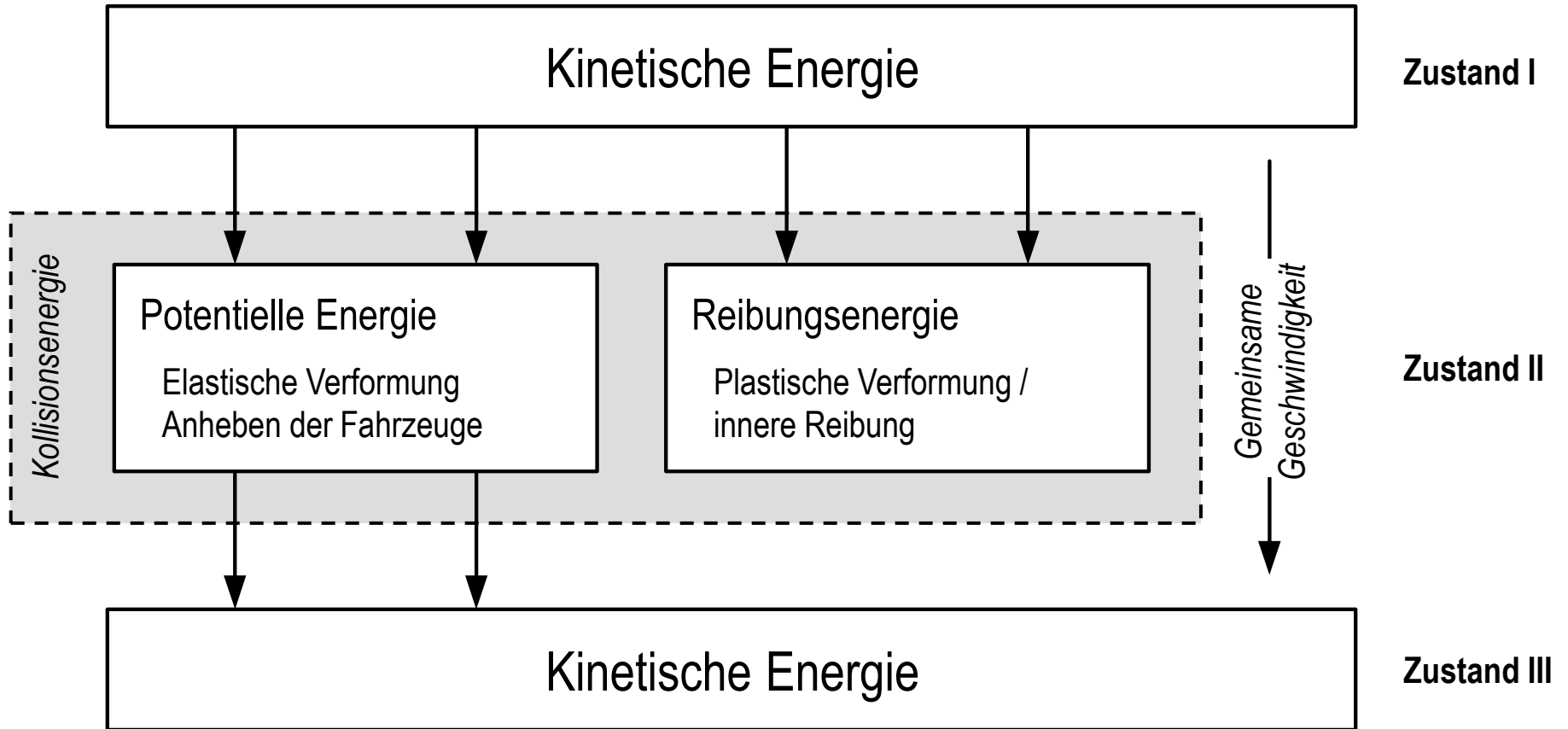


Zustand III: Kontaktfläche gerade noch nicht getrennt

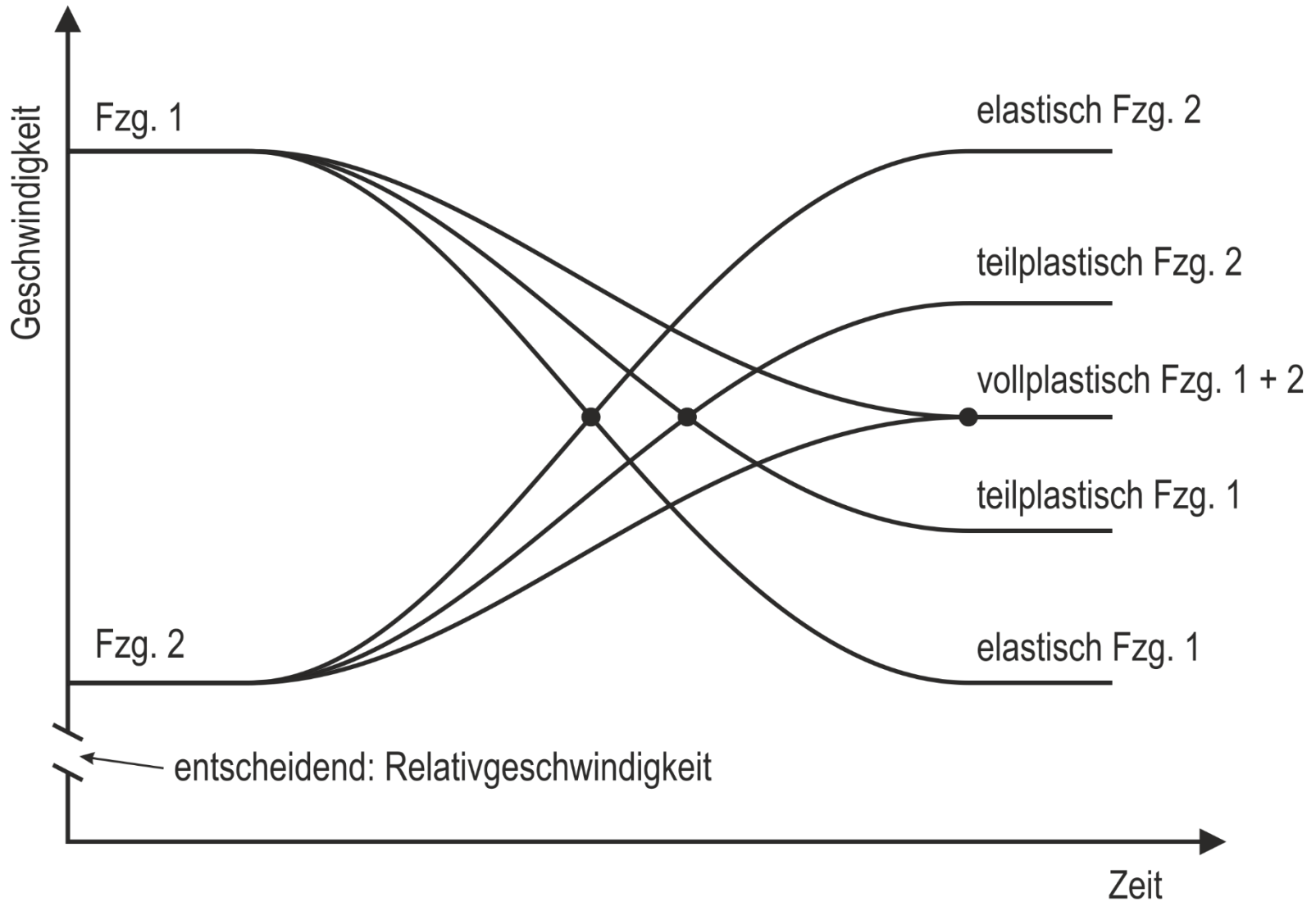


Zustand IV: nach dem Stoß, Fahrzeuge entfernen sich voneinander mit ungleichen Geschwindigkeiten

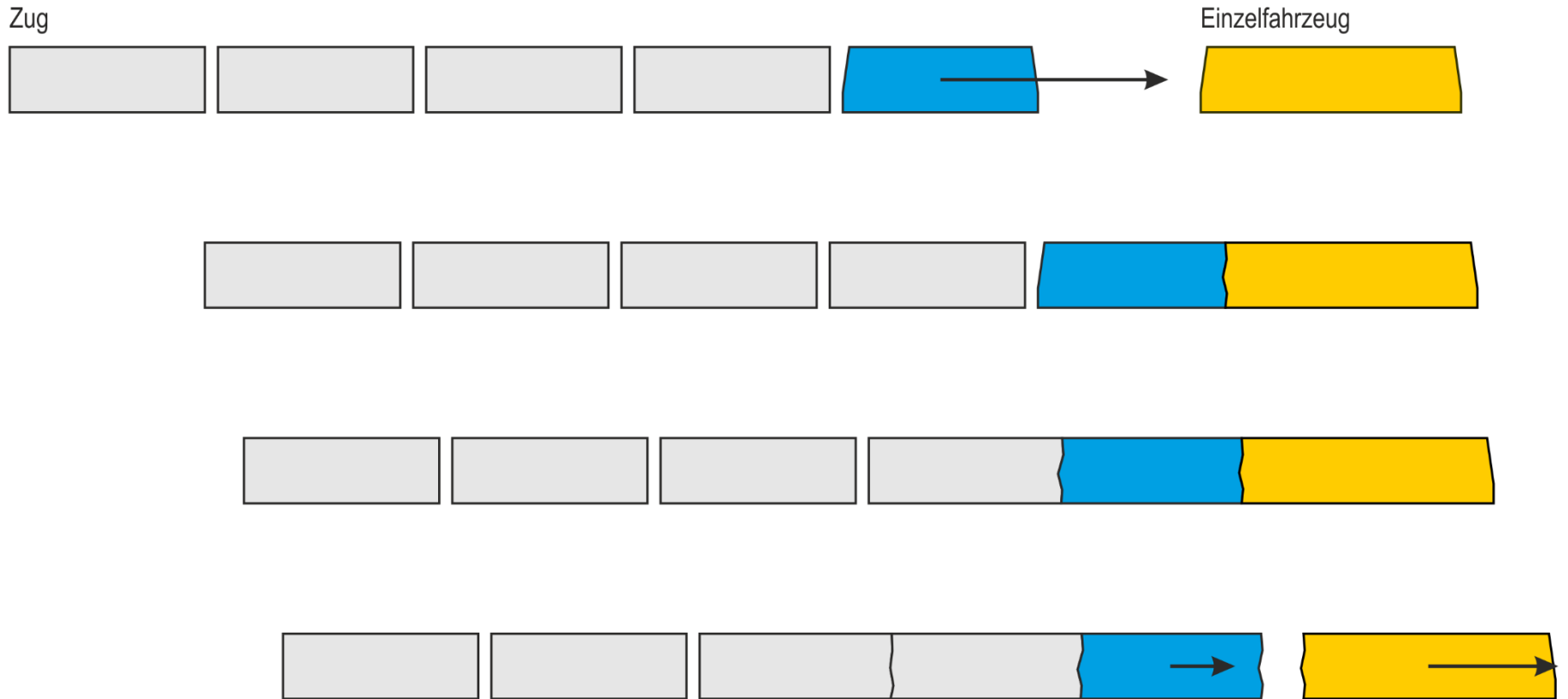




Folie Geschwindigkeitsverläufe verschiedener Stoßarten

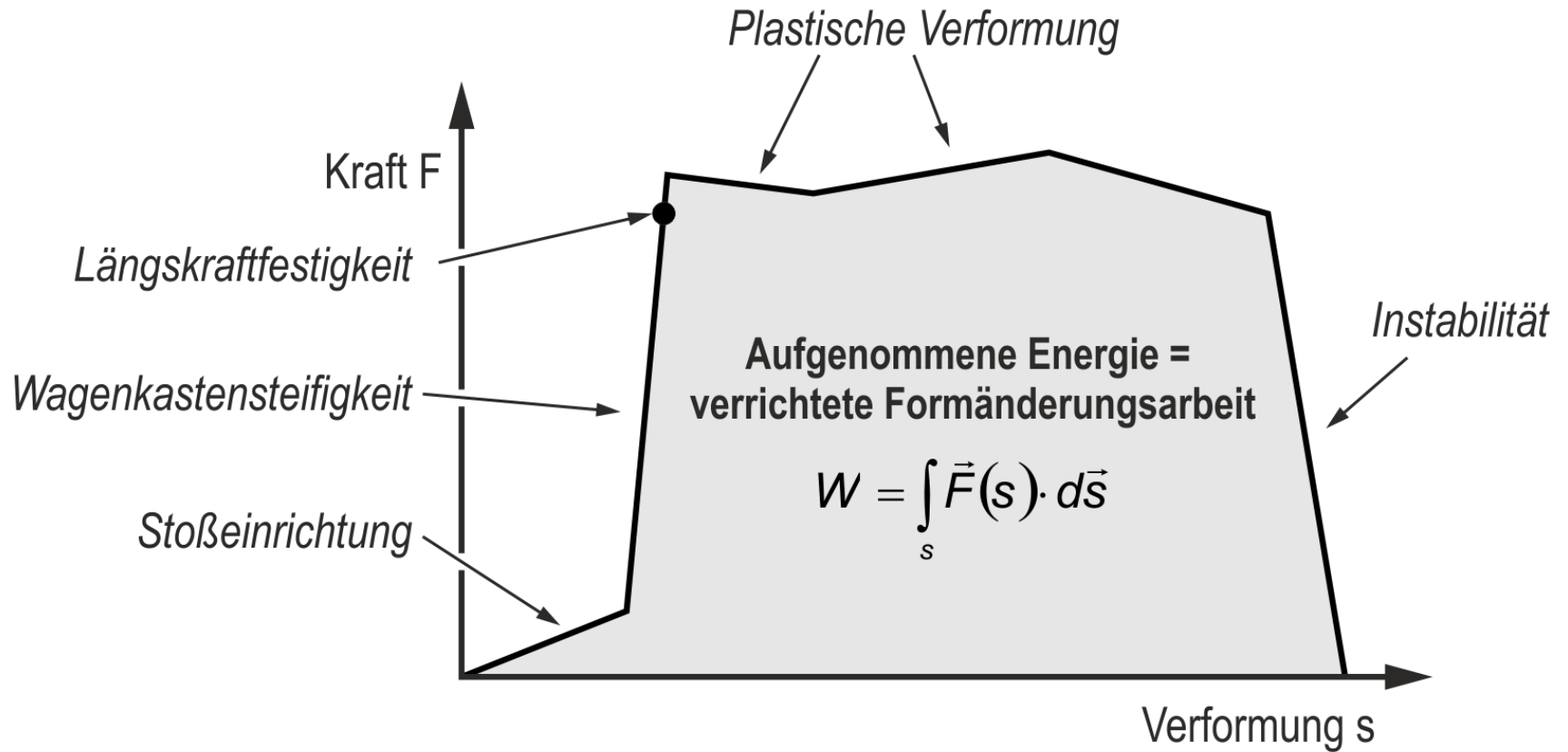


Folie Stoßwelle im Zug



(Quelle: nach Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füser)

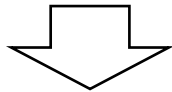
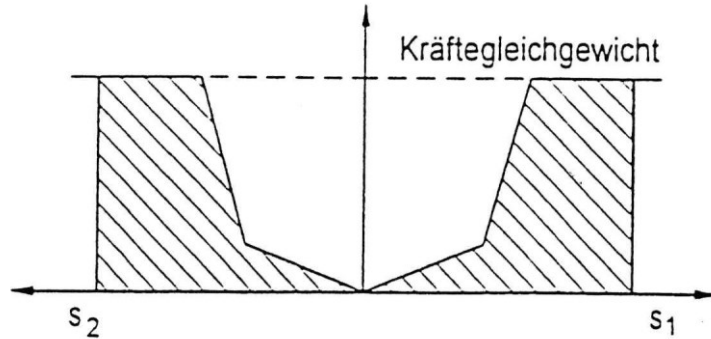
Folie Abschnitte einer Verformungskennlinie



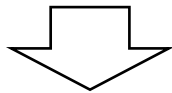
(Quelle: nach Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füsser)

Folie Verformungskennlinien bei Kollisionen

gleiche Stoßpartner

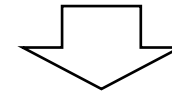
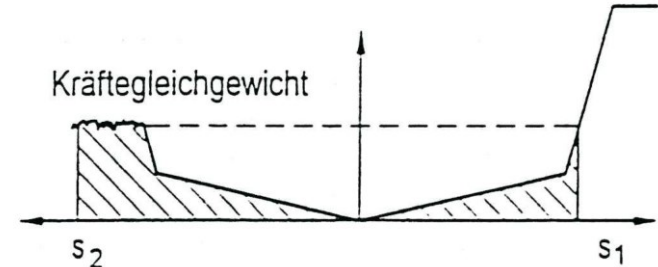


gleichmäßige Aufteilung der Kollisionsenergie

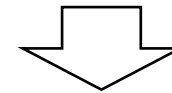


$$E_{Koll} = 2 \cdot \int_{s_{Fzg}} F_{Fzg} \cdot ds$$

ungleiche Stoßpartner



weniger fester Stoßpartner nimmt Kollisionsenergie fast allein auf



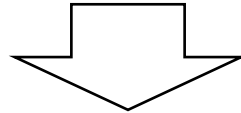
$$E_{Koll} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{Fzg1} \cdot m_{Fzg2}}{m_{Fzg1} + m_{Fzg2}} \cdot v_{rel}^2$$

$$= \int_{s_{Fzg1}} F_{Fzg1} \cdot ds + \int_{s_{Fzg2}} F_{Fzg2} \cdot ds$$

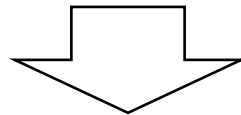
(Quelle: Forschungsvorhaben BMV, Voß; Füsler)

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

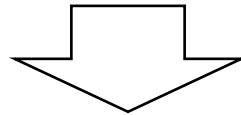
→ Artikel 1: Einrichtung einer Stelle für die Untersuchung von Unfällen und Störungen für jeden Mitgliedstaat



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



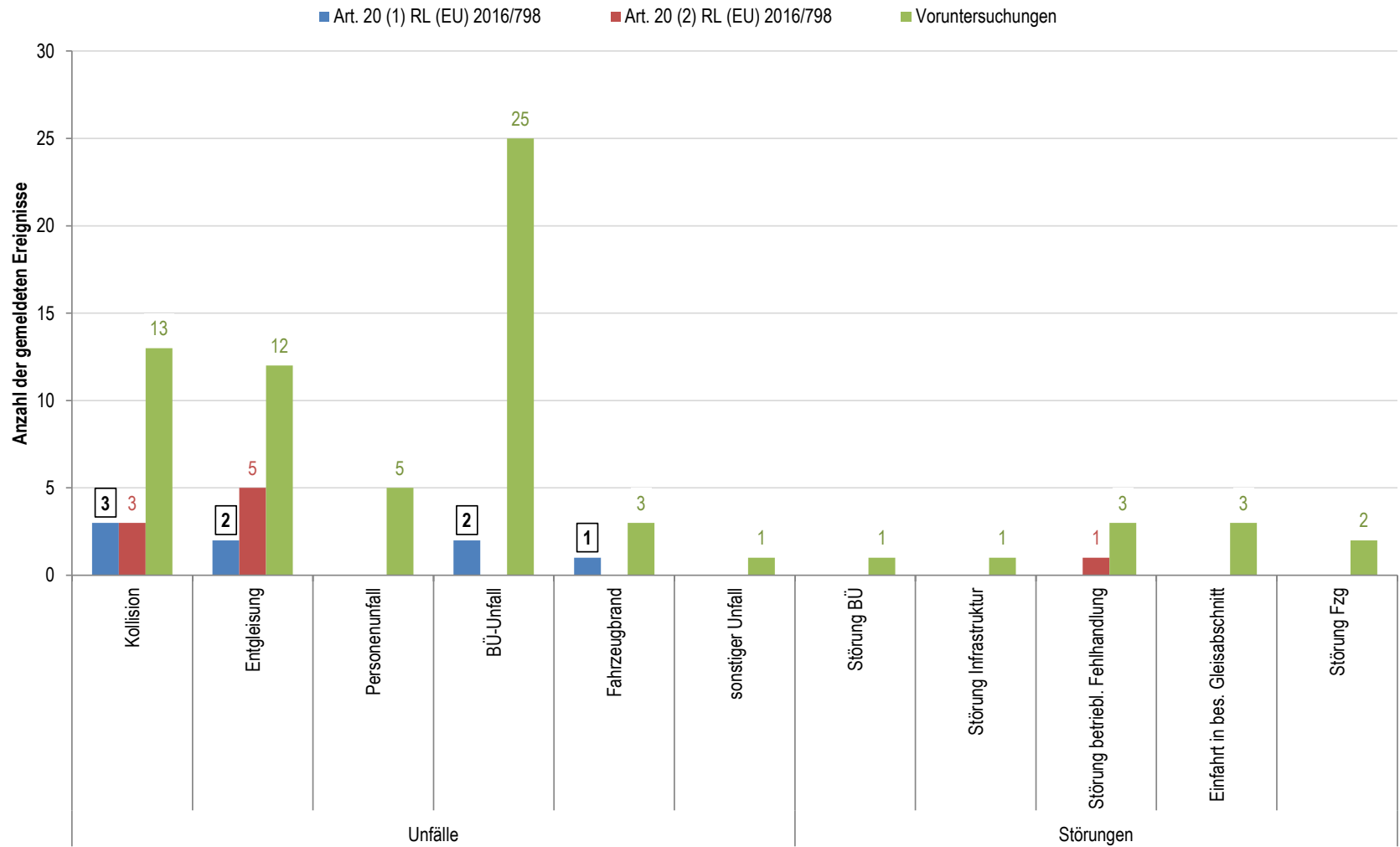
Organisationserlass zur Errichtung der Bundesstelle für Unfalluntersuchung
vom 14.07.2017



Bundesstelle für
Eisenbahnunfalluntersuchung



Gefährliche Ereignisse im Eisenbahnbetrieb im Jahre 2020



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

Unfallkategorie		Anzahl	
		absolut	%
1	Zusammenstoß mit einem anderen Schienenfahrzeug	121	39,8
2	Zusammenstoß zwischen einem Zug und einem Fahrzeug auf einem schienengleichen Bahnübergang	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	Aufprall auf einen Prellbock	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	∞
Durchschnittliche Schwere S		374	27	25	28	5

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

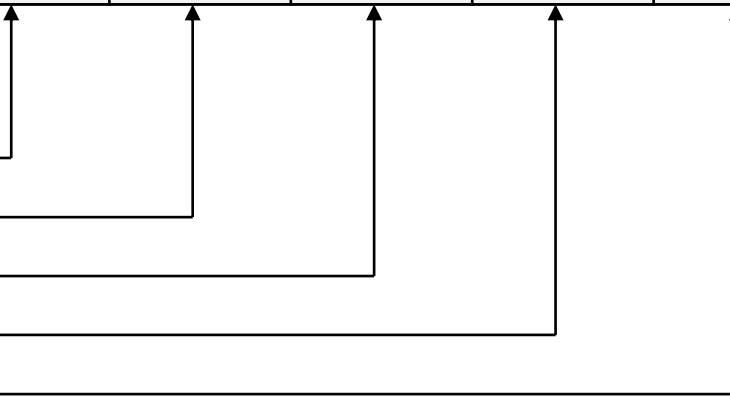
Frontalzusammenstöße mit anderem Sfz

Zusammenstöße auf Rückseite eines anderen Sfz

Zusammenprall am BÜ mit Pkw

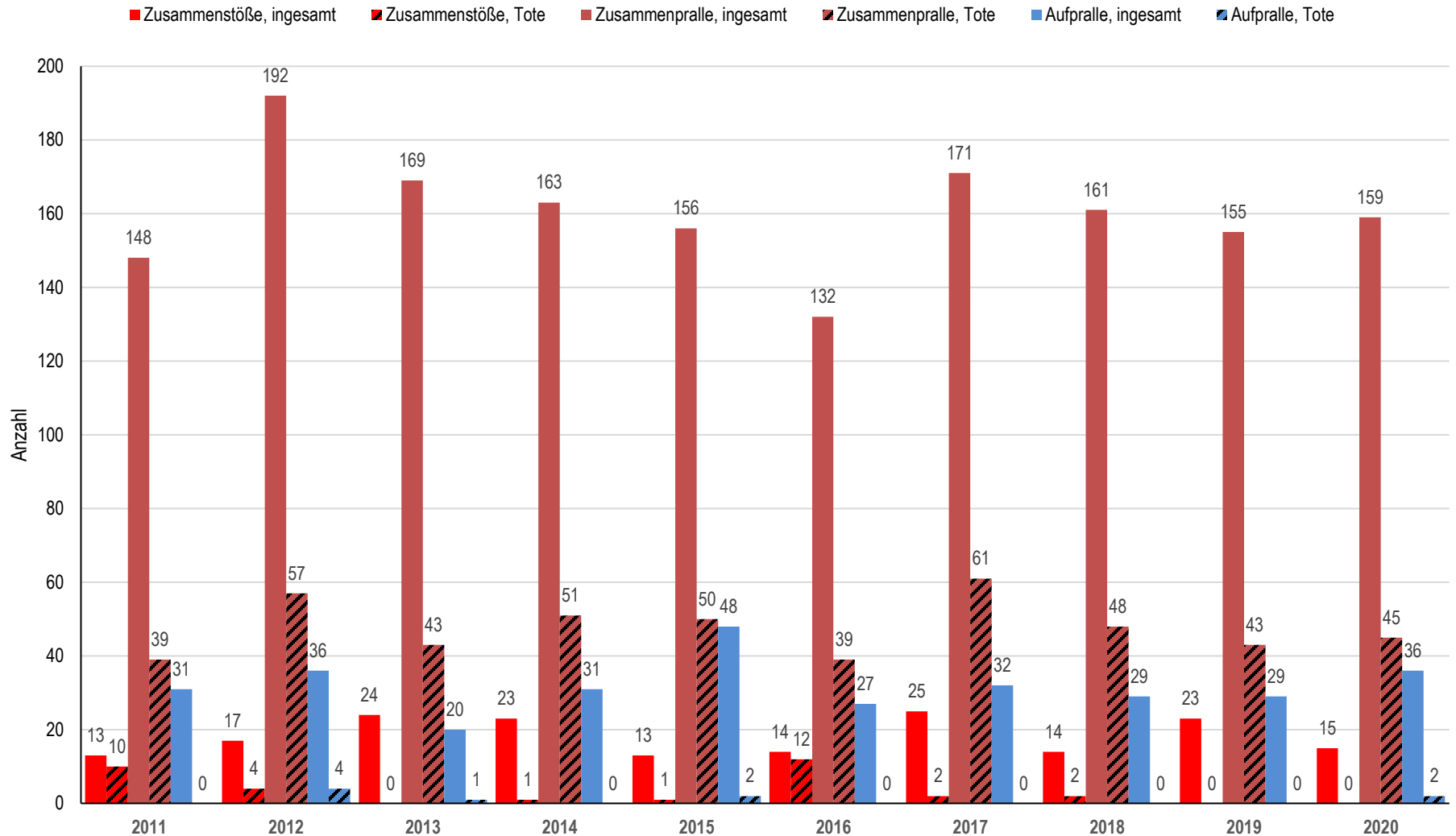
Zusammenprall am BÜ mit Lkw/Bus/Traktor

Aufprall auf Prellbock



Eisenbahnunfälle in Deutschland

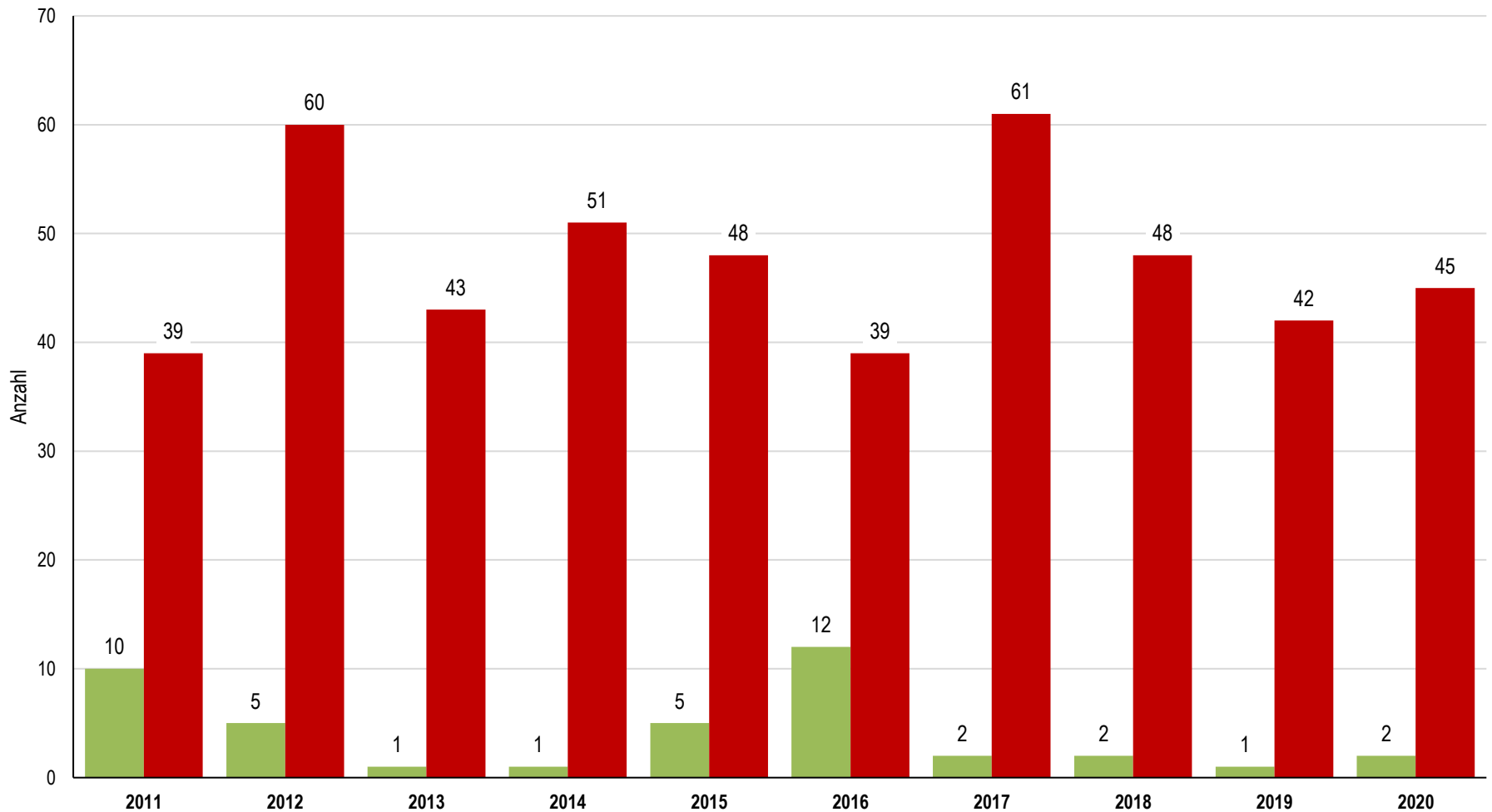
(DESTATIS Zeitreihen: Verkehrsunfälle 2020, Blatt 10)



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 ₁ in MJ	E ₂ in MJ	v in km/h	E ₁ in MJ	E ₂ 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 Nahverkehrs zug ↔ 3teiliger Nahverkehrs zug</i>						
m = 129 t	55	2,3	1,4	98	4,8	0,6

E₁ – von führendem Fahrzeug zu absorbierende Energie
 E₂ – zwischen den Fahrzeugen zu absorbierende Energie

(Quelle: SAFETRAIN Final Report 2001)


Die Haftung im An	4.2.2.5.	Passive Sicherheit	ne für die über
► <u>B</u>	(5)	Die passive Sicherheit soll die aktive Sicherheit ergänzen, wenn alle anderen Maßnahmen erfolglos waren. Zu diesem Zweck muss die mechanische Struktur der Fahrzeuge 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, — Verringerung der Risiken einer Entgleisung, — Minderung der Folgen eines Zusammenstoßes mit einem Hindernis auf der Strecke.	n 2016 2018 2019 2020
Geänd	...	Um diese funktionalen Anforderungen einhalten zu können, müssen die Einheiten die detaillierten Anforderungen der in <u>Anlage J-1 Index [3]</u> genannten Spezifikation bezüglich der Kollisionssicherheit der Auslegungskategorie C-I erfüllen.	n 2016 2018 2019 2020
► <u>M1</u>	...		n 2016 2018 2019 2020
► <u>M2</u>			n 2016 2018 2019 2020
► <u>M3</u>			n 2016 2018 2019 2020
► <u>M4</u>			n 2016 2018 2019 2020
► <u>M5</u>	März 2020	Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694 der Kommission vom 10. August 2023 L 222 88 8.9.2023	n 2016 2018 2019 2020

Anlage J

In dieser TSI genannte technische Spezifikationen

J-1 Normen oder normative Dokumente

Index	Zu bewertende Merkmale	TSI-Abschnitt	Verbindliche Norm-Abschnitte
[3]	EN 15227:2020 Bahnanwendungen – Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen		
[3.1]	Passive Sicherheit – Allgemeines	4.2.2.5	4, 5, 6, 7 und Anhänge B, C, D (ausgenommen Anhang A)
[3.2]	Passive Sicherheit – Kategorisierung	4.2.2.5 (5)	5.1 – Tabelle 1
[3.3]	Passive Sicherheit – Szenarien	4.2.2.5 (6)	5.2, 5.3, 5.4 (ausgenommen Anhang A)
[3.4]	Passive Sicherheit – Anforderungen	4.2.2.5 (7)	6.1, 6.2, 6.3, 6.4 (ausgenommen Anhang A)
[3.5]	Passive Sicherheit – Hindernis-Abweiser	4.2.2.5 (8)	6.5.1
[3.6]	Bahnräumer	4.2.3.7	6.6.1
[3.7]	Umweltbedingungen – Hindernis-Abweiser	4.2.6.1.2 (4)	6.5.1

DEUTSCHE NORM		Juni 2020
	DIN EN 15227	DIN
ICS 45.060.01		Ersatz für DIN EN 15227:2011-01 und DIN 5560:2002-05
Bahnanwendungen - Anforderungen an die Kollisionssicherheit von Schienenfahrzeugen; Deutsche Fassung EN 15227:2020		
Railway applications - Crashworthiness requirements for rail vehicles; German version EN 15227:2020		
Applications ferroviaires - Exigences de sécurité contre collision pour véhicules ferroviaires; Version allemande EN 15227:2020		
Gesamtumfang 61 Seiten		
DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)		
<small>© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist Inhaber aller ausschließlichen Rechte für Deutschland - alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und welchem Verfahren, sind in Deutschland DIN e. V. vorbehalten. Für andere Länder hört DIN e. V. alle einfachen Rechte der Verwertung. Alleitsverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin</small>		
<small>www.din.de</small>		 <small>2846185</small>

E-Bizmer: elektronische Ausgabeformate: Beuth-Software für Fundamentalsmarkt - Staatlich- und Universitäts- Bibliothek, Dresden, KUNZ 2786568-10, PM4CPQ9WJ, 2020-05-29 07:12:09

Tabelle 1 — Kollisionssicherheits-Auslegungskategorien von Schienenfahrzeugen

Kategorie	Definition	Beispiele der Fahrzeugtypen
C-I	Fahrzeuge, mit Ausnahme von städtischen Fahrzeugen und Straßenbahnen, die für den Betrieb auf internationalen, nationalen und regionalen Strecken ausgelegt sind	Lokomotiven, Reisezugwagen und Züge
C-II	Städtische Fahrzeuge, die ausschließlich für ein geschlossenes Bahnnetz ohne Bahnübergänge und ohne Schnittstellen mit dem Straßenverkehr ausgelegt sind	U-Bahn-Fahrzeuge
C-III	Fahrzeuge, die für städtische und/oder regionale Netze ausgelegt sind, mit gemeinsamer Gleisbenutzung von Vollbahnstrecken und mit Schnittstellen zum Straßenverkehr	Tram-Trains, Überland-Straßenbahnen
C-IV	Straßenbahnen	

4 Kollisionssicherheits-Auslegung von Schienenfahrzeugstrukturen

4.1 Allgemeine Grundlagen

Das Kollisionsrisiko von Zügen wird primär durch aktive Sicherheitssysteme und/oder betriebliche Vorgehensweisen kontrolliert. Wenn diese Systeme aufgrund besonderer Umstände oder äußerer Ereignisse unzureichend sind, gibt die strukturelle Kollisionssicherheit eine Reihe von passiven Sicherheitsmaßnahmen vor, die zur Verminderung der Folgen eines Unfalls führen.

Das Ziel ist die Bereitstellung eines Schutzniveaus, das die häufigsten Kollisionen und verbundene Risiken durch Anwendung der in diesem Dokument ausgeführten Auslegungs-Kollisionsszenarien berücksichtigt. Es ist praktisch nicht möglich, die Fahrzeugstruktur so zu konstruieren, dass die Fahrzeuginsassen in allen möglichen Unfallsituationen geschützt sind oder alle möglichen Fahrzeugkombinationen zu betrachten.

Es wird von den normalen europäischen Betriebsbedingungen ausgegangen. Die Konstruktion neuer Fahrzeuge für den Personenverkehr geht von einem Betrieb mit vergleichbaren Fahrzeugen aus, die auch die Anforderungen dieser Europäischen Norm erfüllen. Es ist anerkannt, dass die betrieblichen Bedingungen den Einsatz von neuen kollisionssicheren mit bereits bestehenden, nicht kollisionssicheren Fahrzeugen im selben Zug erfordern können. Die Einhaltung dieser Europäischen Norm wird aber für solche Fahrzeugkombinationen nicht gefordert.

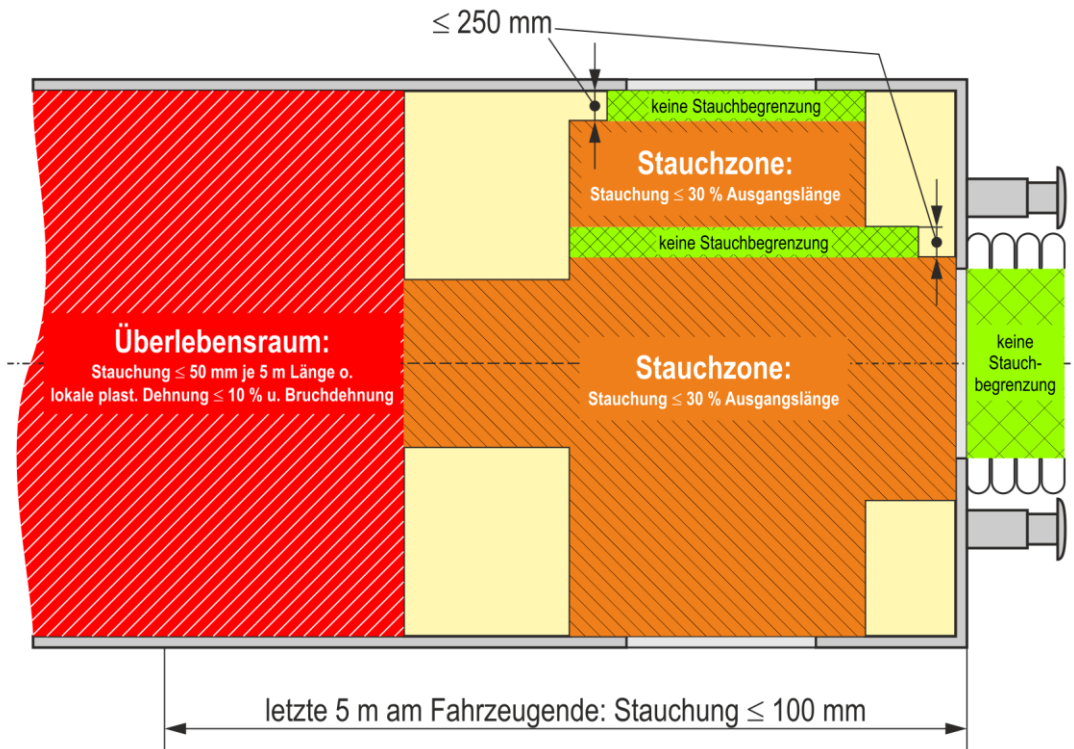
...

4.2 Auslegungs-Zielsetzungen zur Kollisionssicherheit

Um für den Schutz der Fahrzeuginsassen von Schienenfahrzeugen im Fall einer Kollision zu sorgen, berücksichtigen die Anforderungen die folgenden Zielsetzungen:

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

...



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

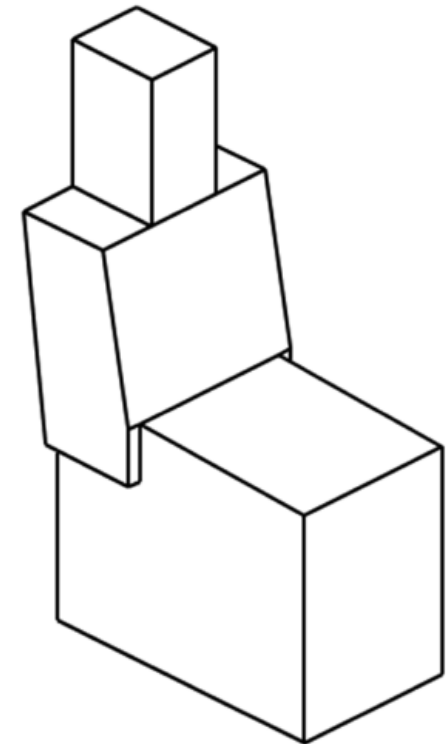
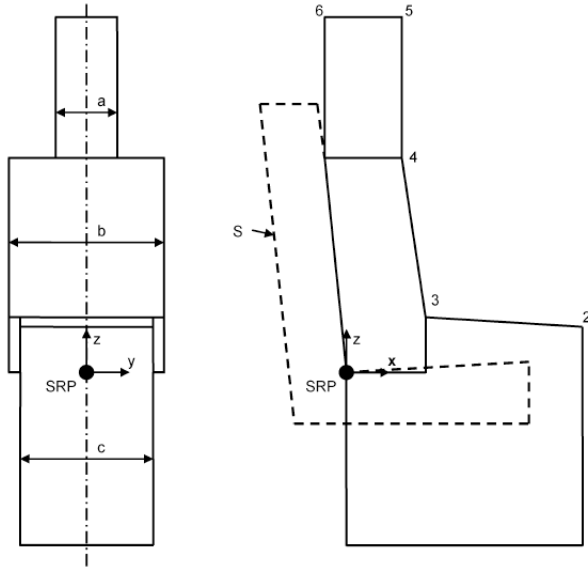


Bild 3 — Isometrische Sicht auf den Überlebensraum für den Fahrersitz



Legende

- x Längsrichtung
- y Querrichtung
- z vertikale Richtung
- S Fahrersitz
- SRP Sitzreferenzpunkt
- a bis c siehe Tabelle 4
- 1 bis 6 siehe Tabelle 4

Bild 2 — Überlebensraum für den Fahrersitz

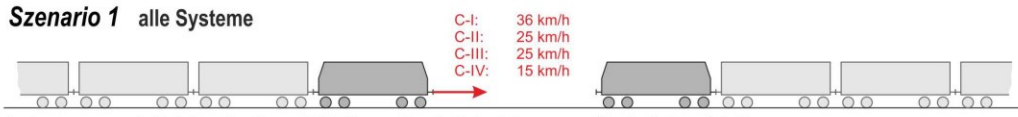





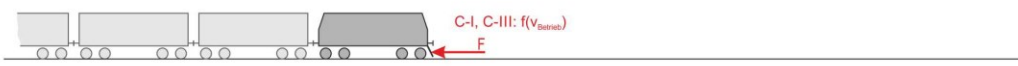
Tabelle 4 — Angaben zum Überlebensraum für den Fahrersitz

Angaben in Millimeter

Punkt oder Maß		Kleinsten Fahrer (5. Perzentil weiblich)		Größten Fahrer (95. Perzentil männlich)	
		x	z	x	z
SRP-Koordinaten					
1	Beinposition nach vorn	545	Höhe von Boden oder Fußstütze ^a	665	Höhe von Boden oder Fußstütze ^a
2	Knieposition oben	545	105 ^a	665	125 ^a
3	obere Oberschenkel- und untere Oberkörperposition (nach vorn)	183	127	246	168
4	oberer Oberkörper (nach vorn)	128	495	140	599
5	Kopfposition, nach vorn	128	820	140	985
6	Kopfposition, nach hinten	Sitzrückseite	820	Sitzrückseite	985
Abmessungen		Breite		Breite	
a	Kopf	142		155	
b	Schulter	358		475	
c	Hüften	307		404	

^a Es ist zulässig, dass sich der Boden oder die Fußstütze (Punkt 1) aufgrund einer Deformation während einer Kollision senkrecht nach oben bewegt, vorausgesetzt, dass die Entfernung zwischen Fußstütze (Punkt 1) und oberem Kniepunkt (Punkt 2), wie oben definiert, beibehalten wird.

Folie EN 15227:2020 – Kollisionsszenarien

		Nachweisbedingungen	Nachweisforderungen		
Szenario 1 alle Systeme  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste Identische Zugeinheit		gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner ungebremst	vertikaler Versatz ≥ 40 mm	mittl. Beschl. $\leq 5 \cdot g$ / $\leq 10 \cdot g$	ständiger effektiver Kontakt Fahrzeug-Gleis oder ≤ 100 mm Anhebung + Aufkletterschutz wirkt ständig
Szenario 2 C-I, C-III Seitenpufferverkehr  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste 80-t-Güterwagen					
C-III Mittelpufferverkehr  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste 129-t-Regionalzug					
Szenario 3 C-I, C-III TEN-Verkehr mit BÜ  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste Deformierbares 15-t-Hindernis					
C-IV im Straßenverkehr  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste Starres 3-t-Hindernis, 45°		seitlicher Versatz ± 1000 mm			
C-IV im Straßenverkehr  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste Bewegliches 7,5-t-Hindernis					
Szenario 4 Bahnräumer / Schienenräumer C-I u. C-III  Auslegungsmasse betriebsbereites Fzg. + 50 % Masse sitzende Fahrgäste		definierte Krafteinleitungsstellen	keine erheblichen plastischen Verformungen		

7 Validierung der Kollisionssicherheit

7.1 Validierungsprogramm

Es muss ein Validierungsprogramm angewendet werden, um zu beweisen, dass die numerischen Modelle, die zur Validierung eingesetzt werden, ausreichend genau sind, um nachzuweisen, dass die Anforderungen aus dieser Europäischen Norm erfüllt sind.

Die Auslegungs-Kollisionsszenarien werden für komplette Züge oder einen Referenzzug vorgegeben. Es ist praktisch nicht möglich, das Verhalten eines kompletten Zuges oder Referenzzuges durch physische Versuche zu bewerten. Aus diesem Grund ist es zulässig, das Erreichen der Ziele durch dynamische Simulationen, welche den jeweiligen Auslegungs-Kollisionsszenarien entsprechen, zu überprüfen.

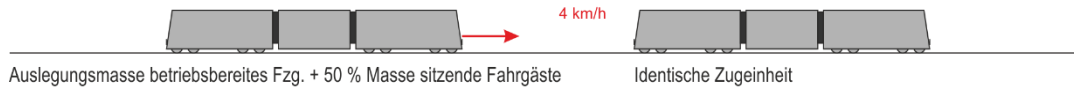
Die alleinige Anwendung der numerischen Simulation ist ausreichend für eine genaue Voraussage des Strukturverhaltens in Bereichen mit begrenzter Deformation.

Für Bereiche, die maßgeblich dauerhaft verformt werden (als Energie absorbierende Bauteile oder Stauchzonen vorgesehen), müssen die numerischen Modelle durch geeignete Prüfungen validiert werden.

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen des Auslegungs-Kollisionsszenarios 4 (Bahnräumer und Schienenräumer) darf direkt durch einen physischen Versuch oder nur durch Simulation nachgewiesen werden.

Folie Kollisionsszenarien VDV 152 (10/2016)

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



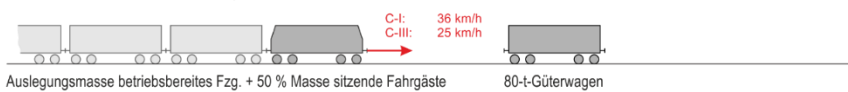
Nachweisbedingungen		Nachweisforderungen	
gerades, ebenes Gleis, Kollisionspartner gebremst, $\mu_i = 0,25$	kein vertikaler Höhenversatz	WK ohne signifikante bleibende Verformung	nur reversible Energieaufnahme

+ DIN EN 15227

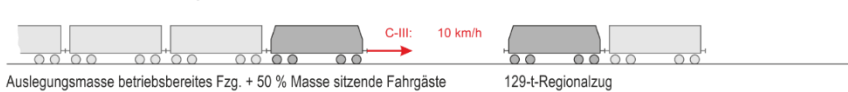
Szenario 1 alle Systeme



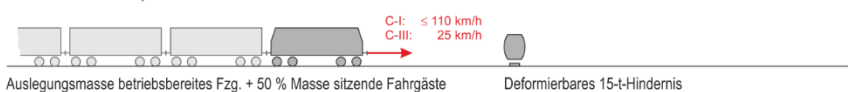
Szenario 2 C-I, C-III Seitenpufferverkehr



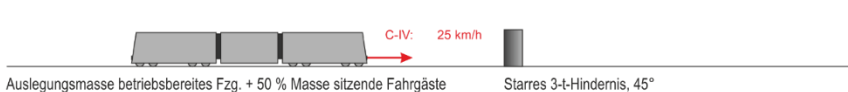
C-III Mittelpufferverkehr



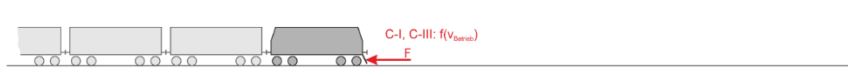
Szenario 3 C-I, C-III TEN-Verkehr mit BÜ



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 Drehgestell ständig im Gleis
		Einhaltung Überlebensraum	oder $\le 100 \text{ mm}$ Anhebung + Aufkleberschutz wirkt ständig
definierte Kräfteeinleitungsstellen		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
	DIN EN 15551	DIN
ICS 45.060.01	Ersatz für DIN EN 15551:2009-12	
Bahnanwendungen – Schienenfahrzeuge – Puffer; Deutsche Fassung EN 15551:2009+A1:2010		
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.

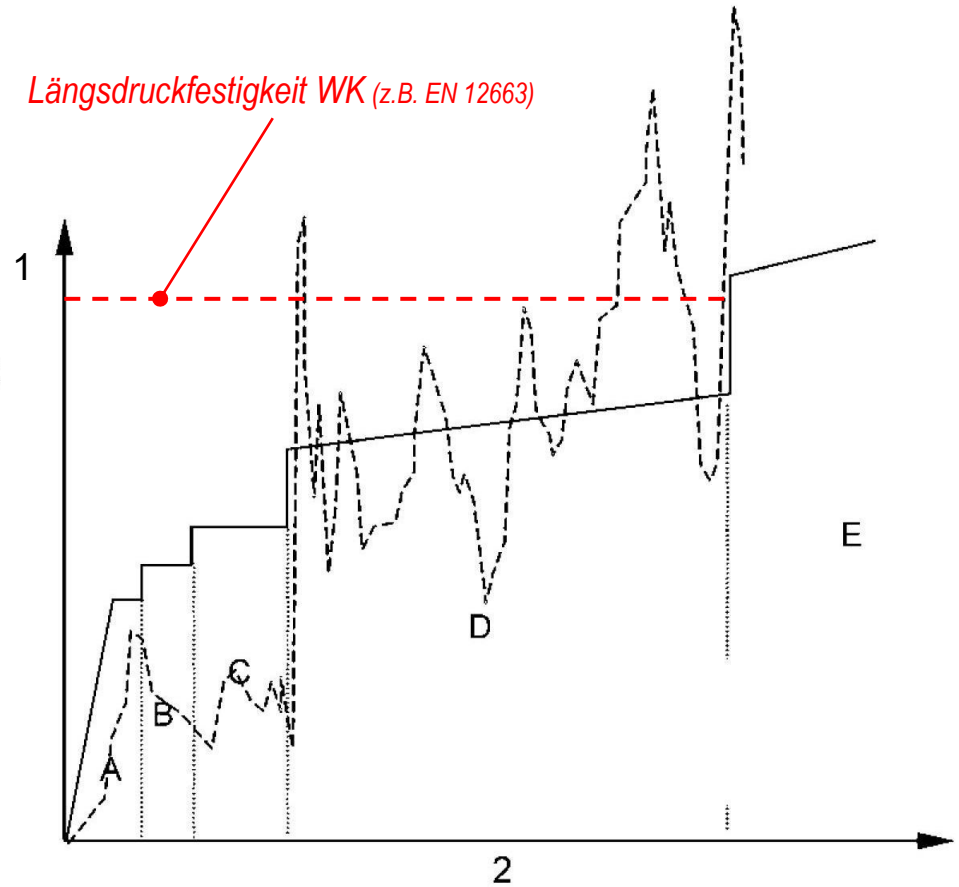
ANMERKUNG Der Hüllraum nach Anhang M ist nahezu identisch zum Hüllraum nach Anhang A, bei dem der Schnitt B – B gleich Schnitt A – A und Schnitt C – C gleich Schnitt D – D ist.

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

Folie Kontrollierte, gestufte Energieaufnahme

Legende

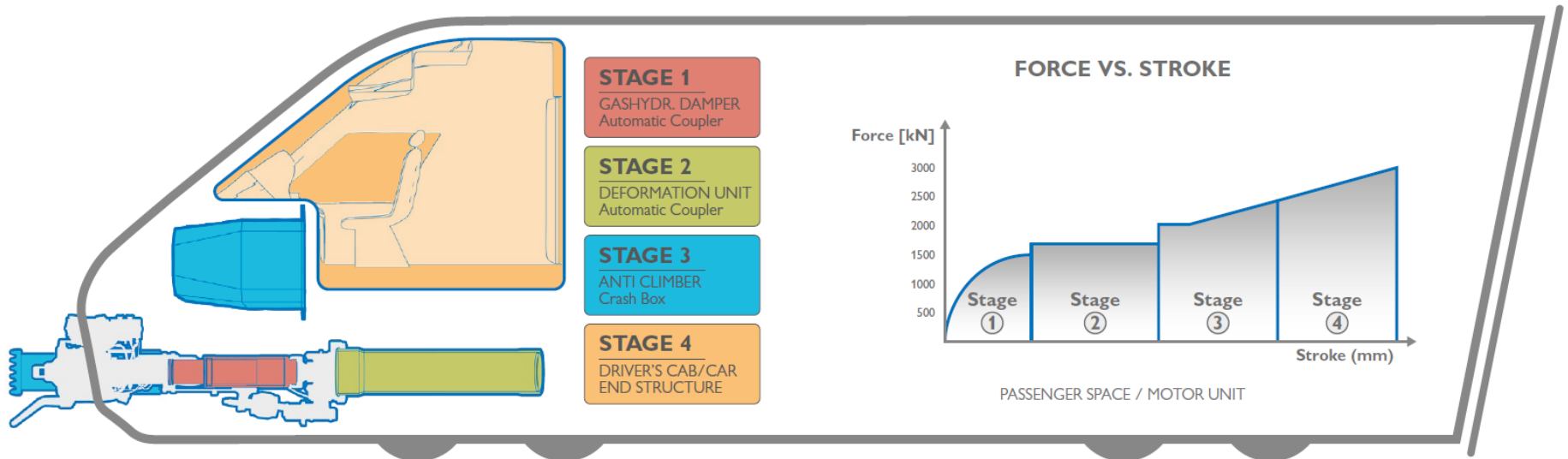
- idealisiertes Verhalten
- - - typisches reales Verhalten
- 1 Deformationskraft am Fahrzeugende
- 2 Deformation
- A Kupplung — reversibel (normale Federwirkung);
- B Kupplung — irreversibel;
- C Aufkletterschutzeinrichtung;
- D strukturelle Deformationszone;
- E Fahrgast/Personal-Überlebensraum.



(Quelle: prEN 15227; voith.com)

Folie Kontrollierte, gestufte Energieaufnahme II

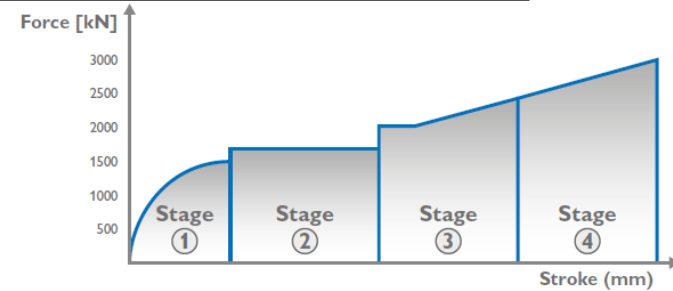
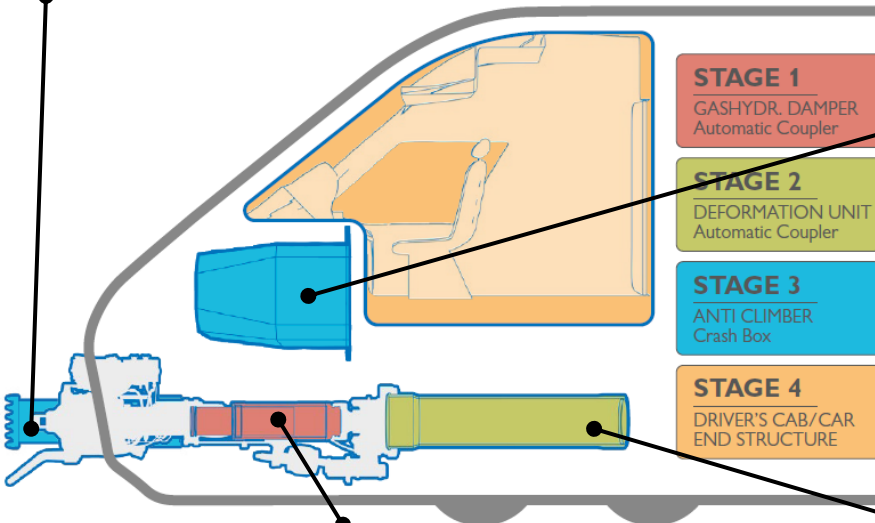
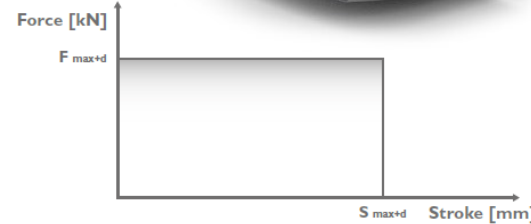
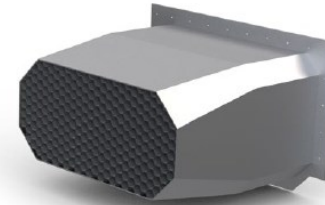
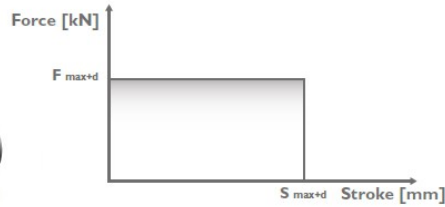
FOUR STAGE PERFORMANCE OF CEM'S ELEMENTS



(Quelle: Dellner: Train Connection Systems, 2023-02)

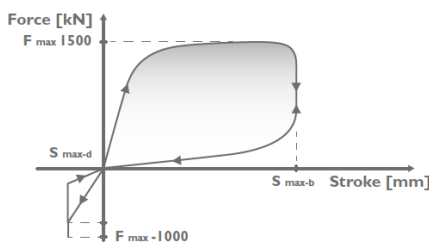
Folie Kontrollierte, gestufte Energieaufnahme II

NON-REVERSIBLE ABSORBERS

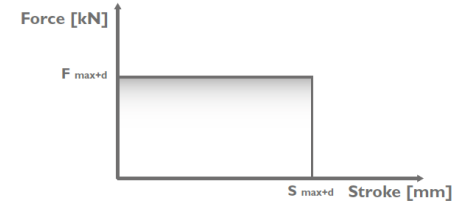


PASSENGER SPACE / MOTOR UNIT

GAS-HYDRAULIC & FRICTION SPRING DAMPER

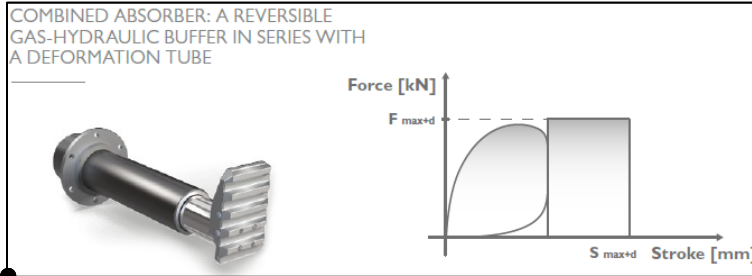


DEFORMATION TUBE IN CENTER SECTION

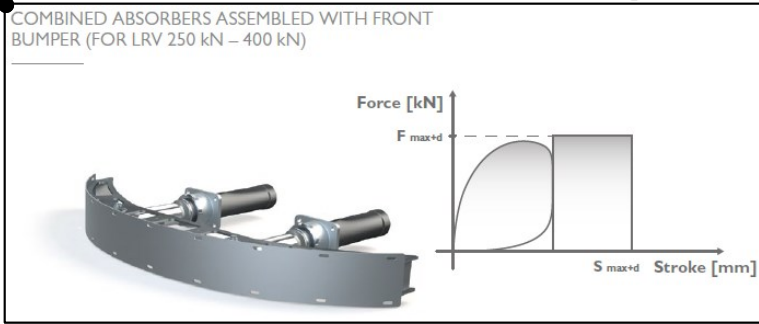
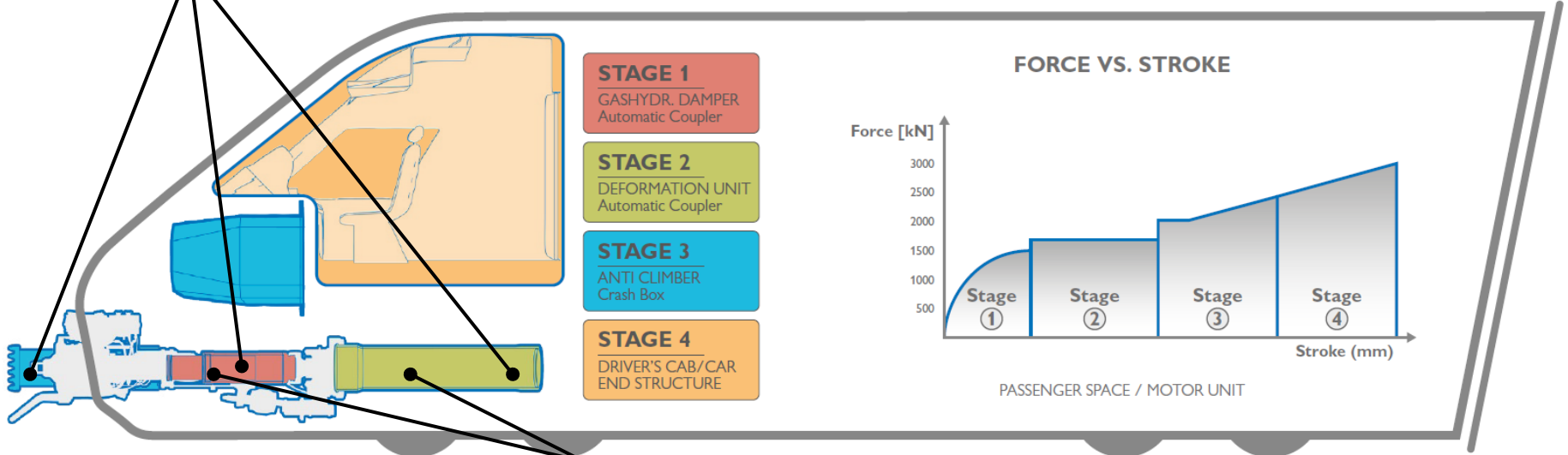


(Quelle: Dellner: Train Connection Systems, 2023-02)

Folie Kontrollierte, gestufte Energieaufnahme II



FOUR STAGE PERFORMANCE OF CEM'S ELEMENTS



(Quelle: Dellner: Train Connection Systems, 2023-02)

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)

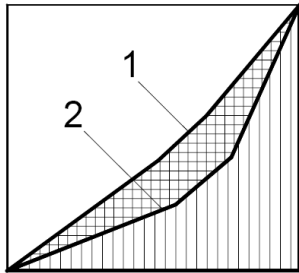
Forderungen

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

Bedingungen

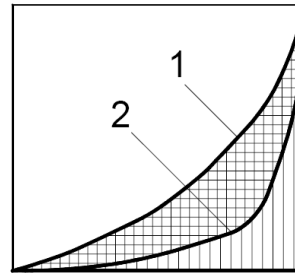
- niedrige Mehrkosten
- keine Zunahme der Fahrzeugmasse

Folie Charakteristische Pufferkennlinien



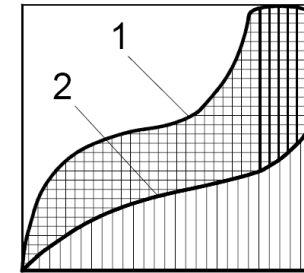
Gummipuffer

- Progressive Kennlinie
- geringerer Dämpfungsanteil
- hoher Federanteil



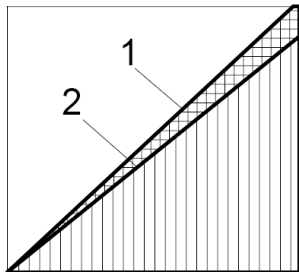
Zellstoffpuffer

- progressive Kennlinie
- relativ geringer Dämpfungsanteil
- relativ großer Federanteil



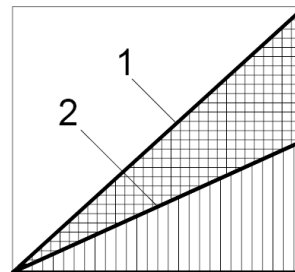
Elastomerpuffer

- degressive keulenartige Kennlinie
- ausgeprägter Dämpfungsanteil
- relativ großer Federanteil



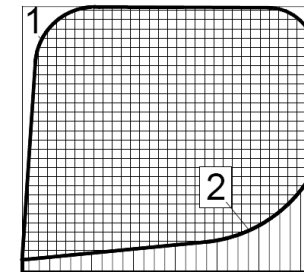
Federpuffer

- lineare Kennlinie
- sehr geringer Dämpfungsanteil
- sehr großer Federanteil



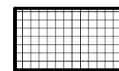
Federpuffer mit Reibung

- lineare Kennlinie
- ausgeprägter Dämpfungsanteil
- geringerer Federanteil



Hydraulikpuffer

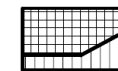
- stark ansteigende, dann konstante Kennlinie
- maximaler Dämpfungsanteil
- relativ geringer Federanteil



Dämpfung (1)



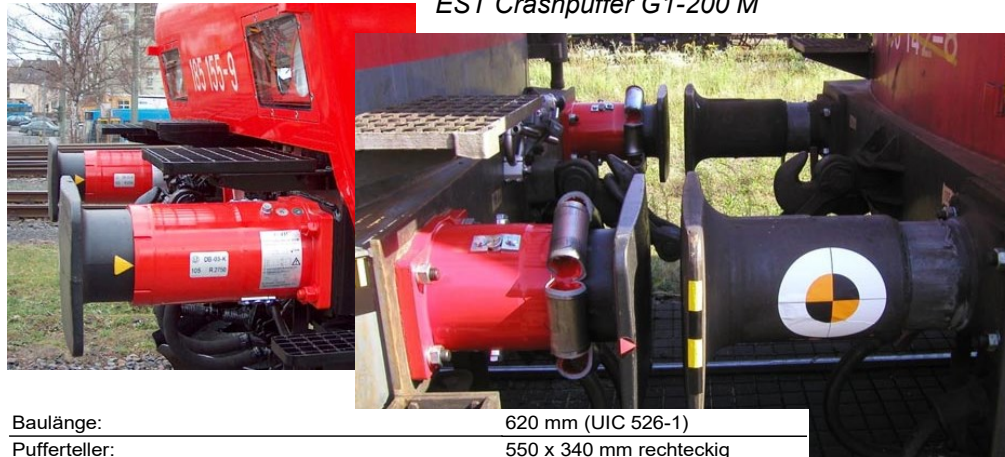
Federenergie (2)



= gesamte Pufferenergie

(Quelle: RÖMER Fördertechnik GmbH)

Folie Crashpuffer



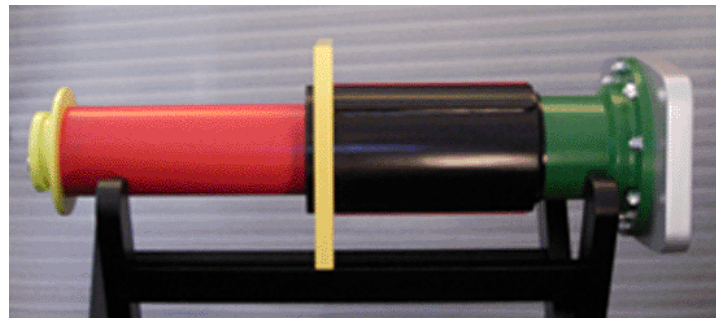
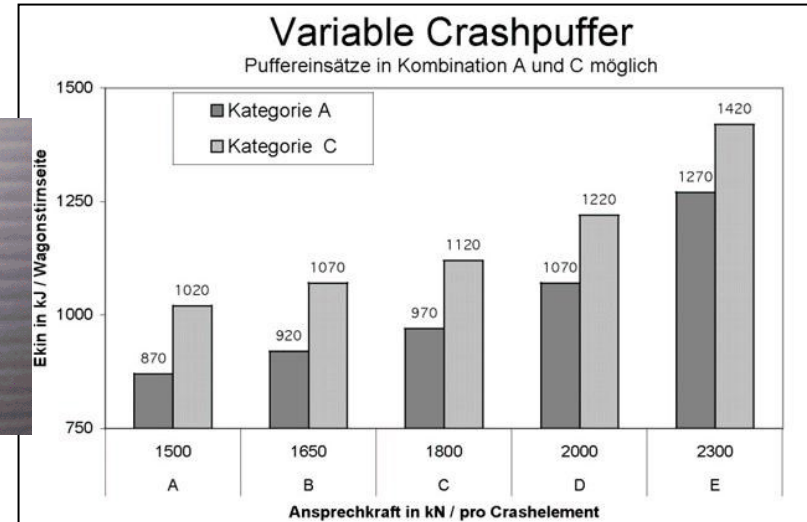
EST Crashpuffer G1-200 M

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](#)

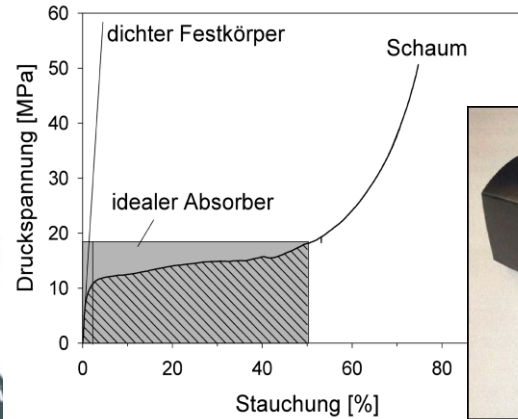
(Quelle: WWW)

Folie Bsp. externer irreversibler Energieverzehrelemente

„Stoßstange“ aus Stahlschaum



Crashabsorber aus Aluminiumschaum
Schunk Sintermetalltechnik GmbH
(Combindo® Bern)



VOITH GFRP Energy Absorber

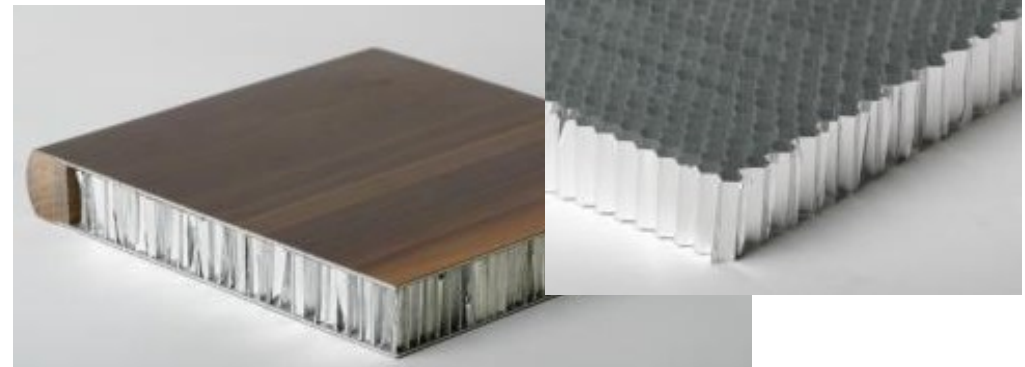


GFK-Crash-Element
für ICE-Waggons



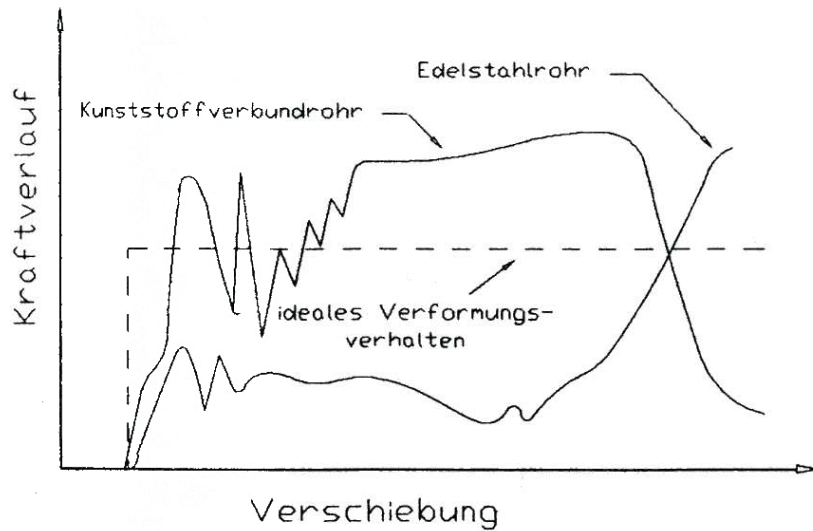
LTB Borowski

Wabenstrukturen
(z.B. Aluminiumleg.)

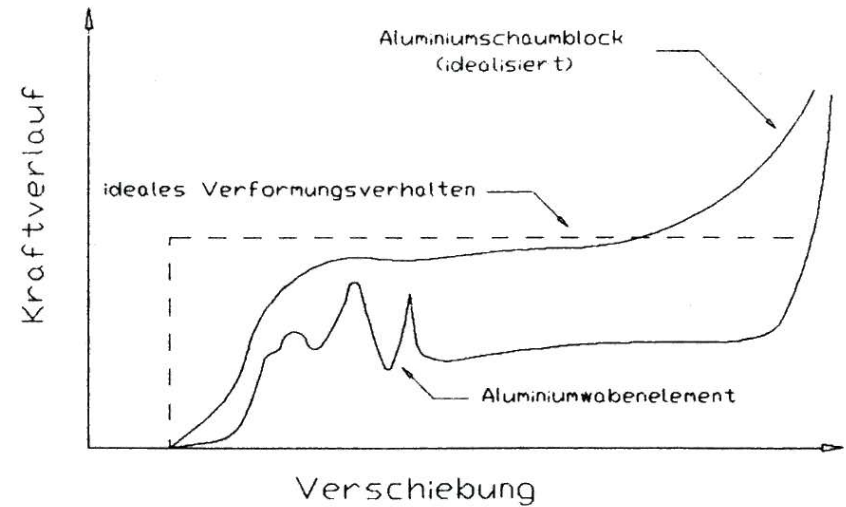


(Quelle: WWW, Voith Turbo Scharfenberg)

Dynamische Verformungsverläufe:



Kunststoffverbundrohr
Rohr aus nichtrostendem Stahl



Wabelement bzw. Schaumblock
aus Aluminium-Legierung

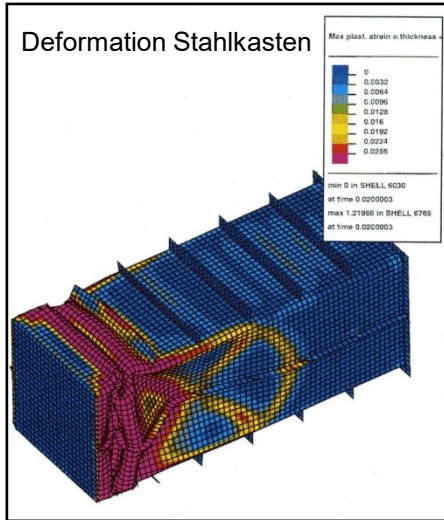
(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf)

Folie Bewertung energieabsorbierender Konstruktionselemente

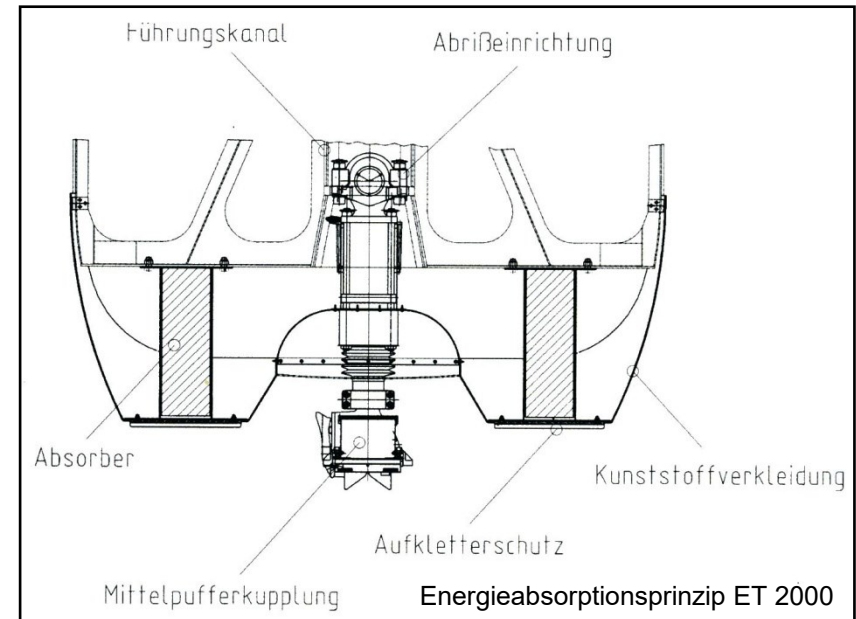
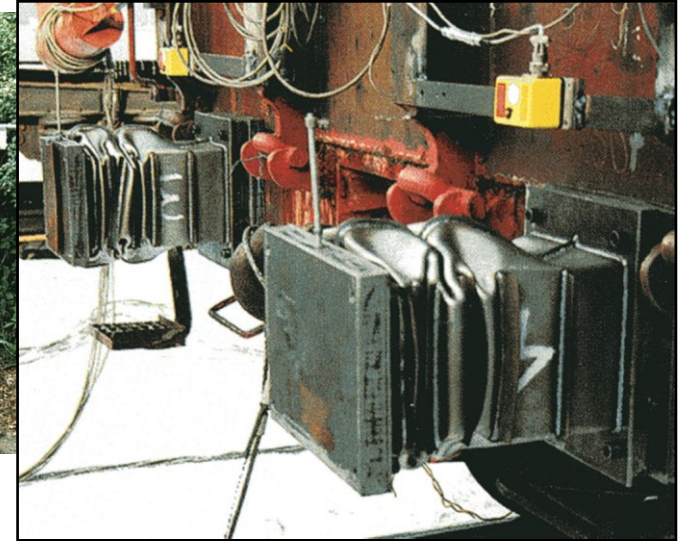
Element	Übernahme Tragfunktion?	Verformungsverhalten, Energieaufnahme	Energieverzehr : Masse	Kosten	sonstiges
Aluminiumwabenelement	nein	relativ konstant	gut	hoch	
Aluminiumschaumblock	nein	relativ konstant	sehr gut	sehr hoch	geringer Fertigungsaufwand
Kastenprofil Stahl	ja	geringe Unterschiede statisch - 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

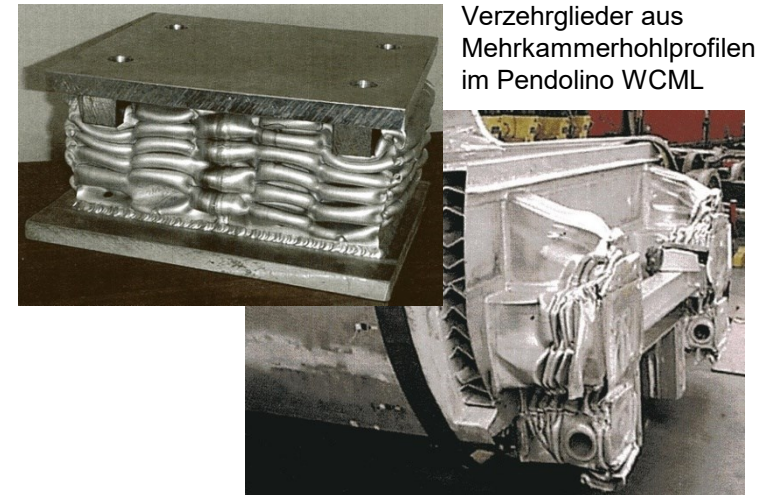
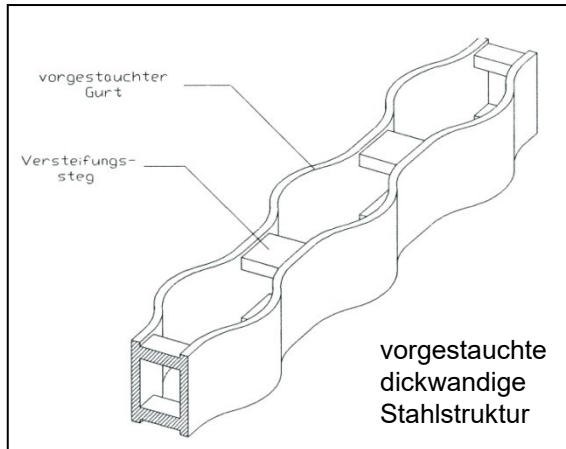
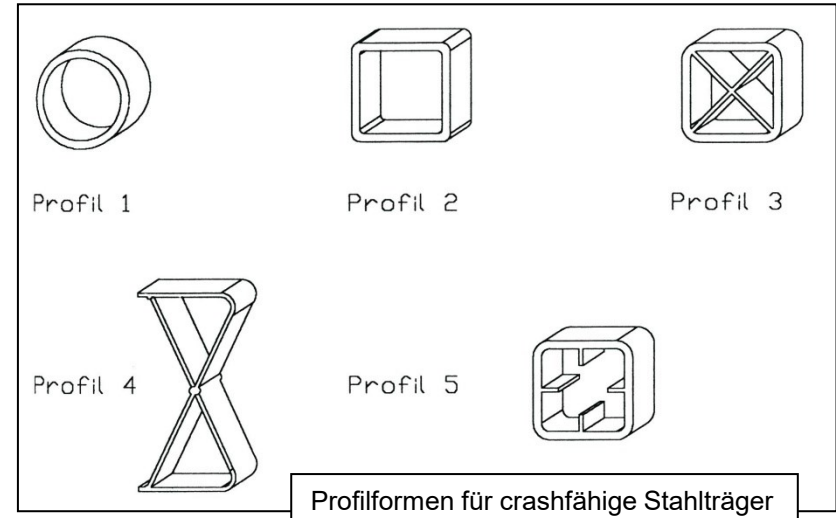
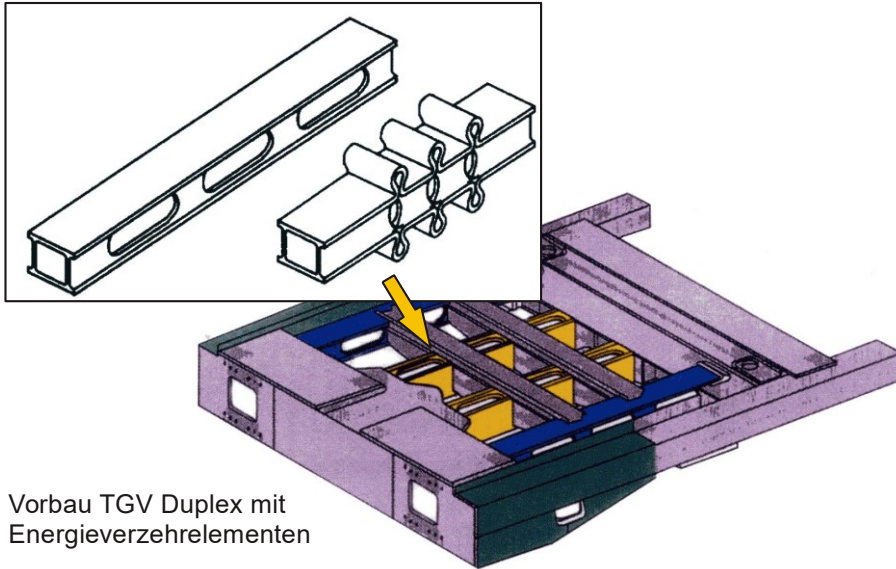


Stahlkasten-Wabe-Kombination



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

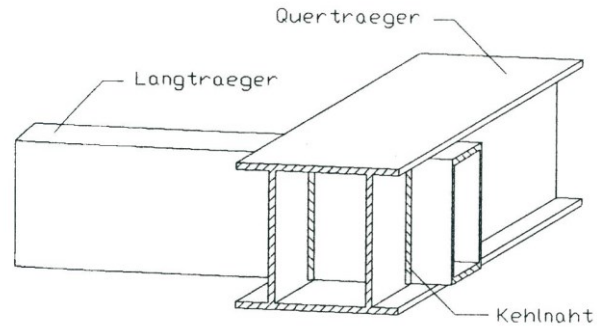
Folie ausgeführte interne Energieverzehrelemente



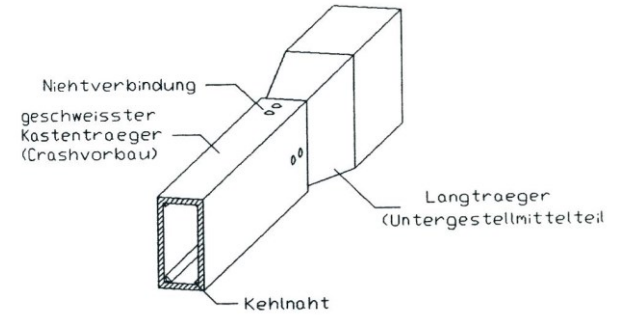
(Quelle: Zehnder: ZEV+DET Glas. Ann. (2001) 9/10; Diplomarbeit S. Scharf)

Folie Möglichkeiten der Kraftschlussunterbrechung

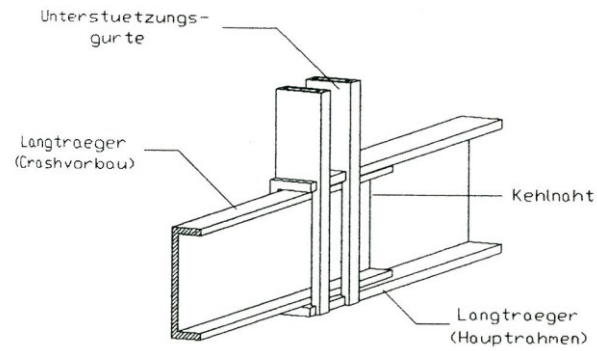
Bsp. 1



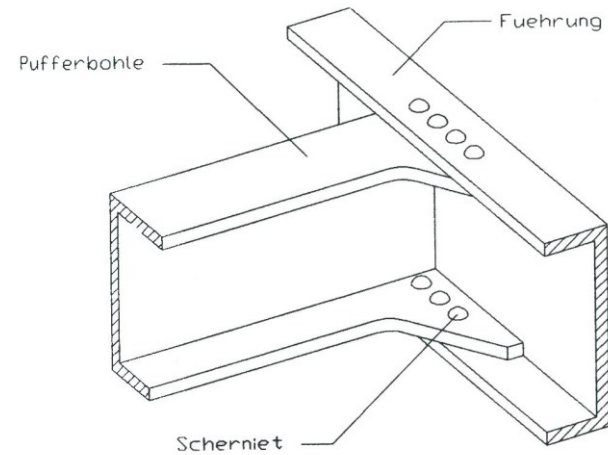
Bsp. 4



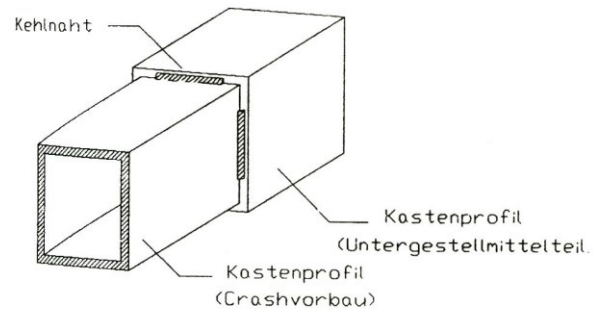
Bsp. 2



Bsp. 5

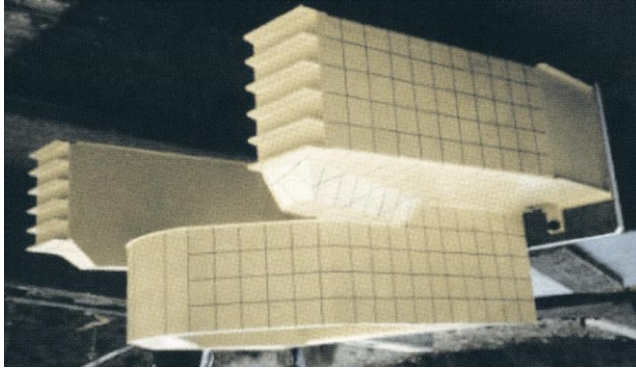
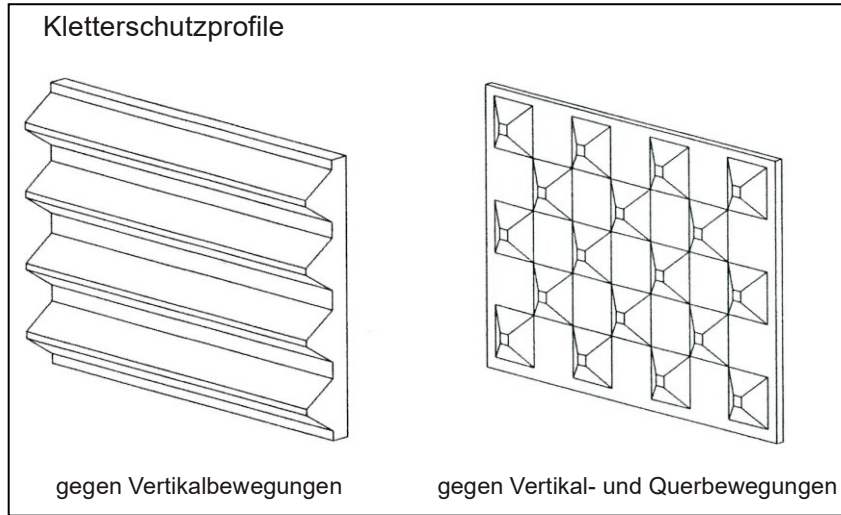


Bsp. 3



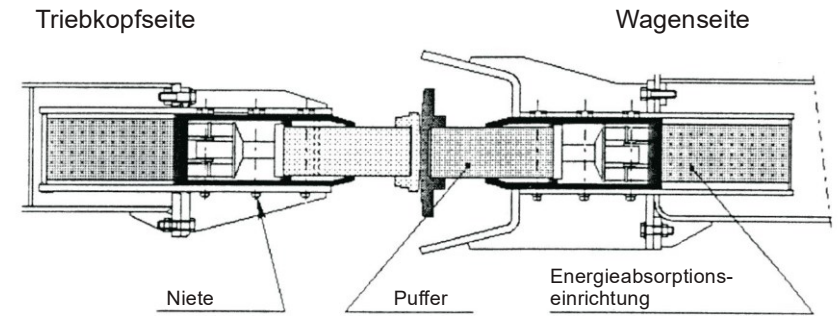
(Quelle: Diplomarbeit S. Scharf)

Folie Aufkletterschutzvorrichtungen

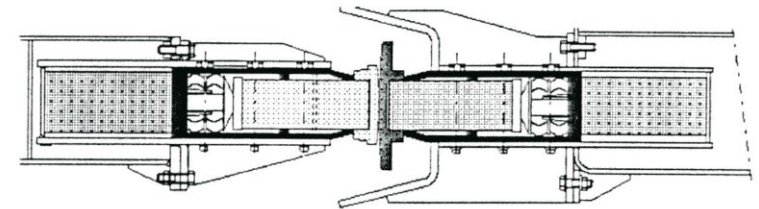


Komponente Bahnräumer/Aufkletterschutz/Pufferhörner SAFETRAIN

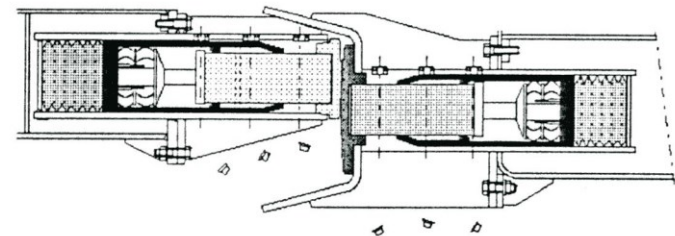
Funktionsprinzip Aufkletterschutz TGV2N



Normalbetrieb



Normalbetrieb maximale Einfederung



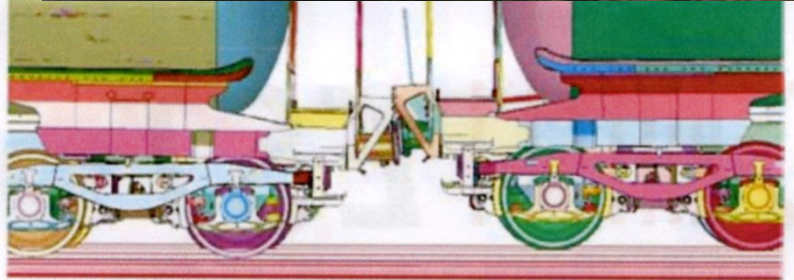
Wirkung des Aufkletterschutzes

(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.

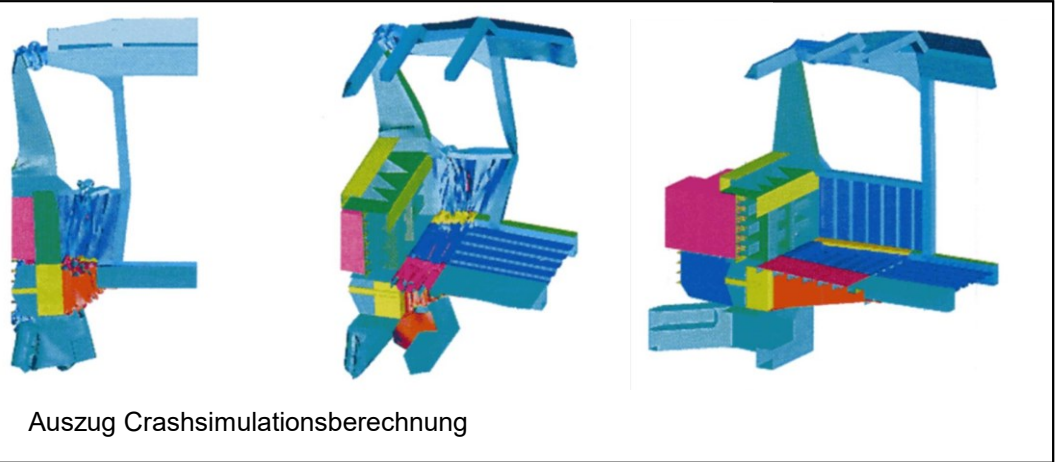
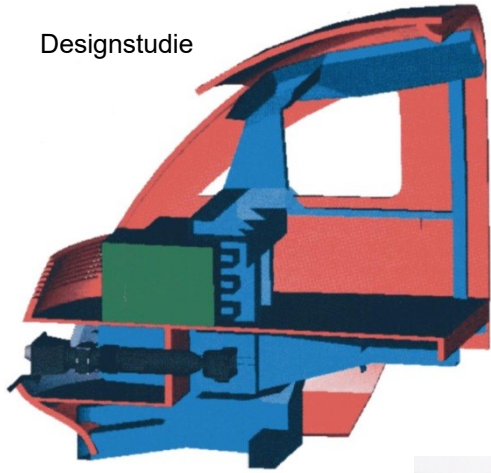


In Crash-Simulationen wurde die Verzahnung der Aufkletterschutzmodule optimiert. Dargestellt ist die Funktion bei einem Höhenunterschied von 100 mm.

(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)

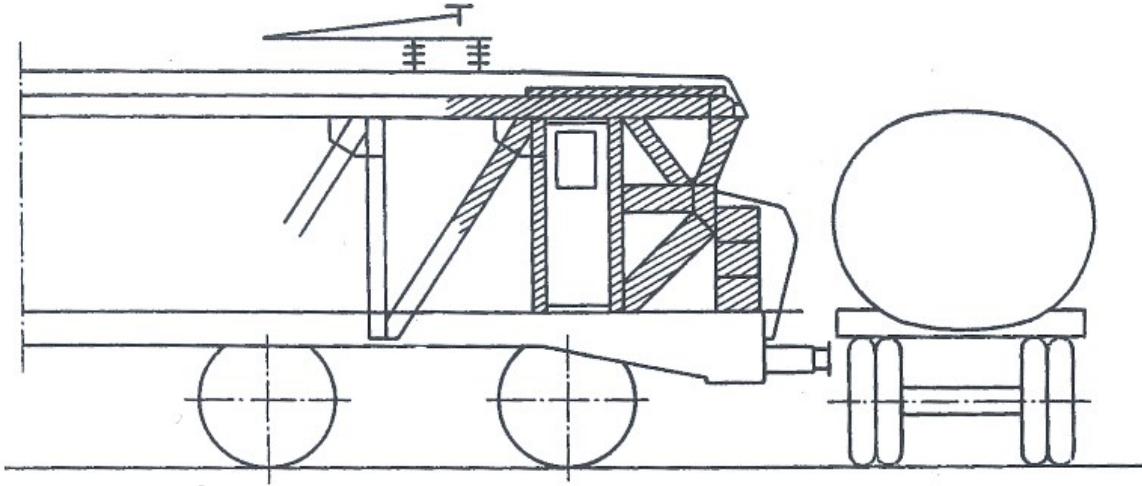
	Szenario	Geschw in km/h	Energie in kJ	Bemerkungen
CI	Notbremsung (Aufprall) von Fahrgästen			Bremsverzögerung 2,73 m/s ² nach BO Strab
C2	Frontalkollision mit einer identischen Straßenbahn (CT)	20	270	Jede CT absorbiert 50 % der Kollisionsenergie
C3	Eck-Kollision rechts, unter 45° mit einem Lieferwagen (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)

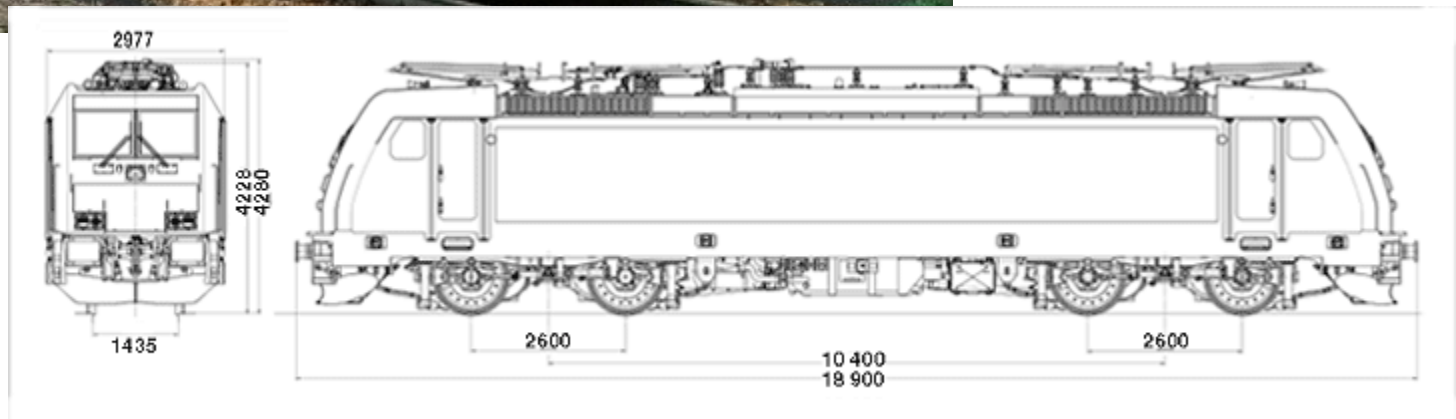
Folie Rammschutz Lokomotivfamilie Nez cassés 2. Generation



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



Folie Beispiel für Realisierung: TRAXX-Lokomotivfamilie Bombardier



(Quelle: Bombardier)

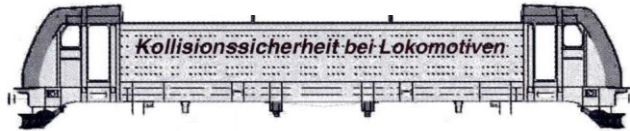
Folie Spezielle Aspekte der kollisionssicheren Auslegung von Lokomotiven

Betriebsbedingungen

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Keine fest konfigurierte Zugeinheit	<ul style="list-style-type: none"> Möglichkeiten zur Beeinflussung des Gesamt-Kollisionsverhaltens des Zugverbands sind begrenzt Für die Auslegung ist die Festlegung eines kollisionssicheren Referenzzuges notwendig (Abschnitt 2)
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"> Starke lokale Massenträgheitseffekte bei dynamischer Belastung Hohe Lasten auf Ausrüstungsbefestigungen



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"> Keine aerodynamisch langen Fahrzeugenden Geringer Abstand zwischen Kopfstück und Drehgestellrahmen Sitzposition des Triebfahrzeugführers nahe am Fahrzeugende 	<ul style="list-style-type: none"> Verfügbare Deformationslänge ist begrenzt An den Schutz des Triebfahrzeugführers sind besonders hohe Anforderungen zu stellen
c) Kurzer Fahrzeug-Überhang wegen: <ul style="list-style-type: none"> Radsatz-Führungskräfte (UIC 518) Laterale Kräfte in Kupplungsebene Kuppelbarkeit in Gleisbögen Geringe Verspannkräfte und hohe Entgleisungssicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> Verfügbare Deformationslänge ist begrenzt Besonders kompakte Baulänge für Deformationselemente und Kopfstückstruktur ist anzustreben
d) Üblicherweise ausgestattet mit Seitenpuffern und Schraubenkupplung	<ul style="list-style-type: none"> Zugänglichkeit für den Rangierer muss erhalten werden ("Berner Raum") Es muss eine technische Lösung für den Aufkletterschutz gefunden werden, die mit verschiedenen Arten von unfallgegnerischen Fahrzeugen wirksam ist

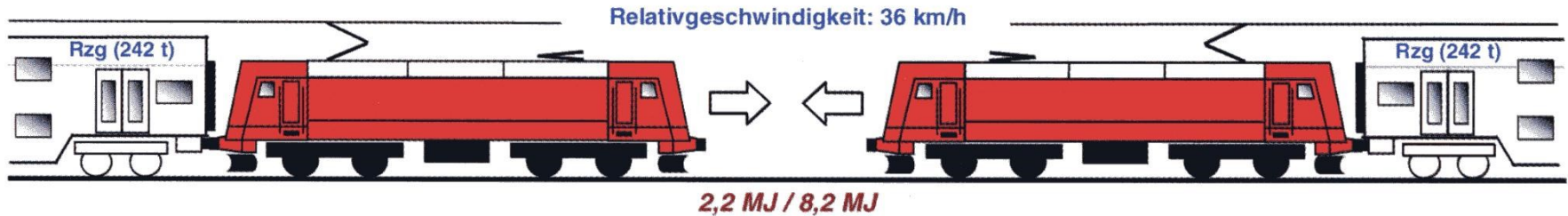
Strukturbauweise

Lokomotivspezifisches Merkmal	Konsequenzen für die kollisionssichere Auslegung
a) Bei selbsttragendem Kastenrohbau: <ul style="list-style-type: none"> Verteilte Lastpfade Hohe globale Steifigkeit durch große Kastenbauhöhe 	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"> Konzentrierte Lastpfade Hohe lokale Steifigkeit durch große Blechdicken und gedrungene Bauweise 	Hohe Kollapsgefahr durch globales Knicken des Rahmens: → Energieaufnahme kann nur durch externe Anbauelemente sinnvoll erreicht werden

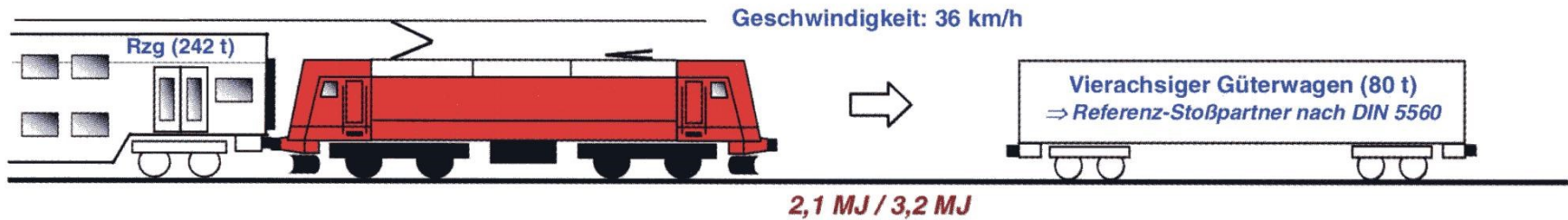
(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)

Folie Kollisionsszenarien für Auslegung der TRAXX-Lokomotiven

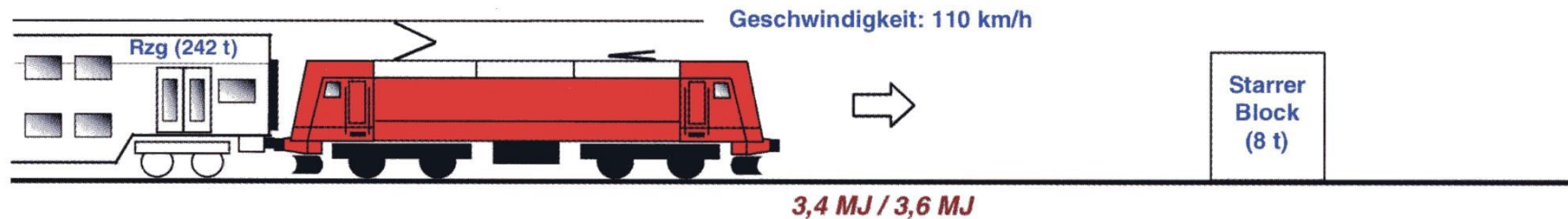
Szenario TSI-1 (jeweils ohne / mit Referenzzug)



Szenario TSI-2 (jeweils ohne / mit Referenzzug)

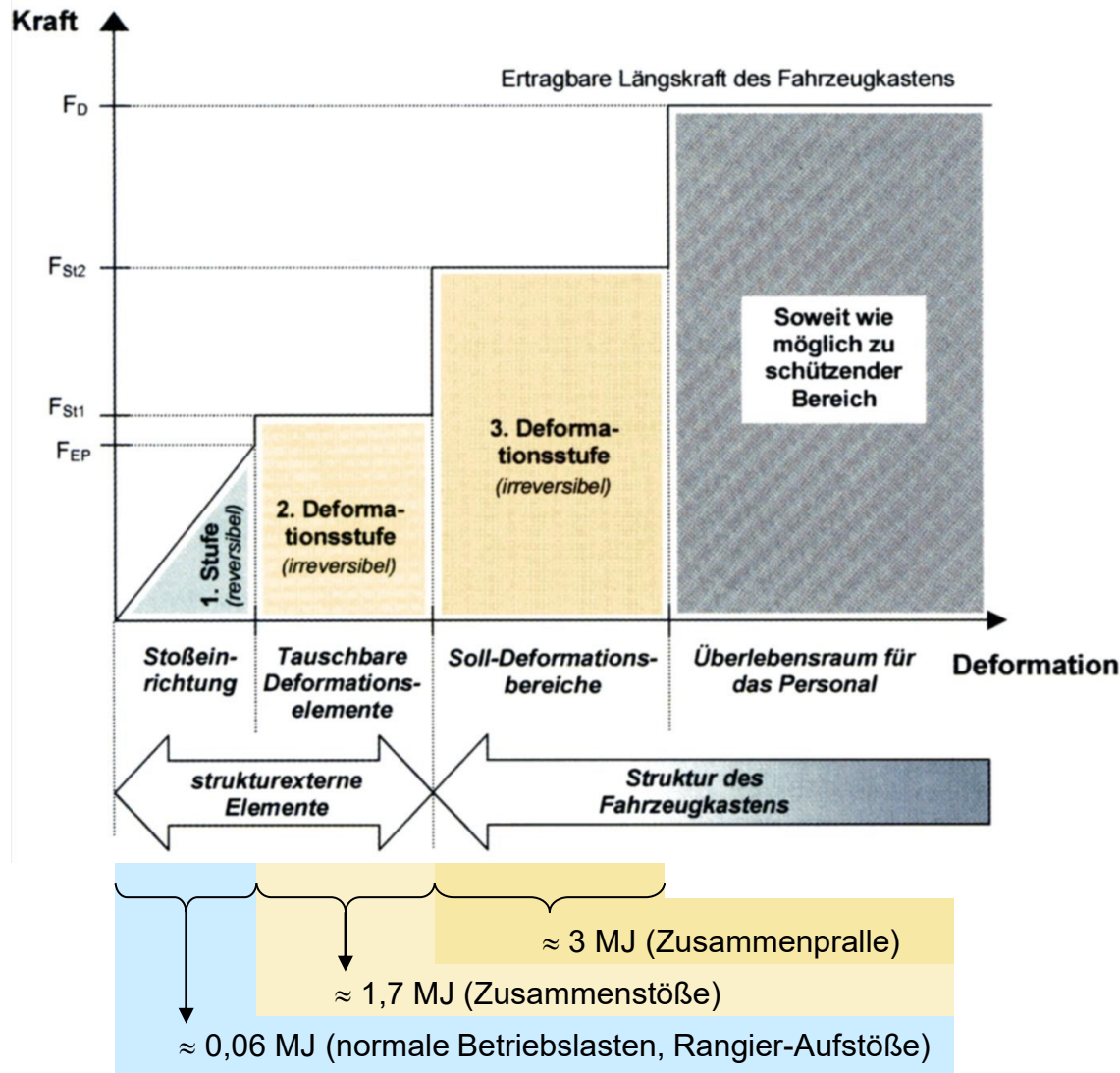


Szenario TSI-3 (jeweils ohne / mit Referenzzug)



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

Folie TRAXX-Crashkonzept



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

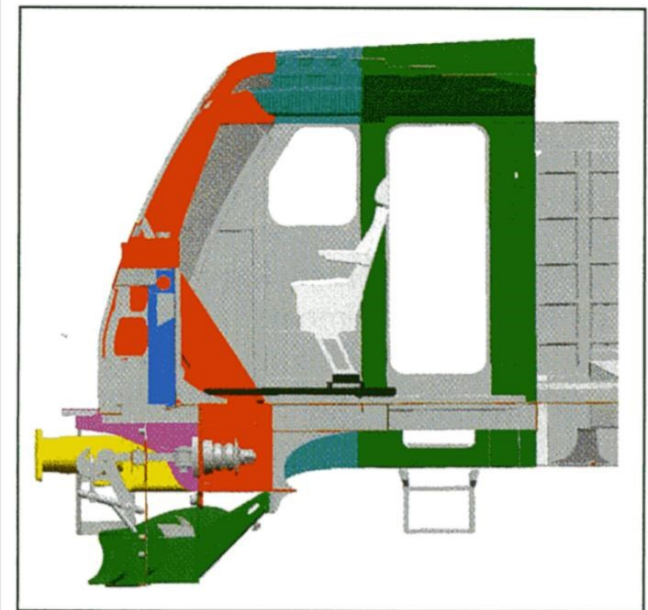


Abb. 3: Bausteine des TRAXX-Crashkonzepts:

- 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

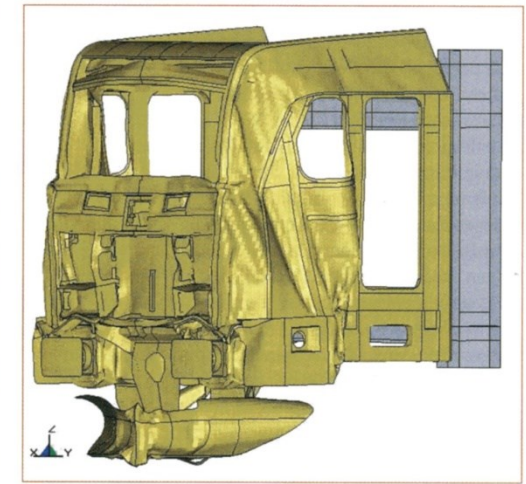
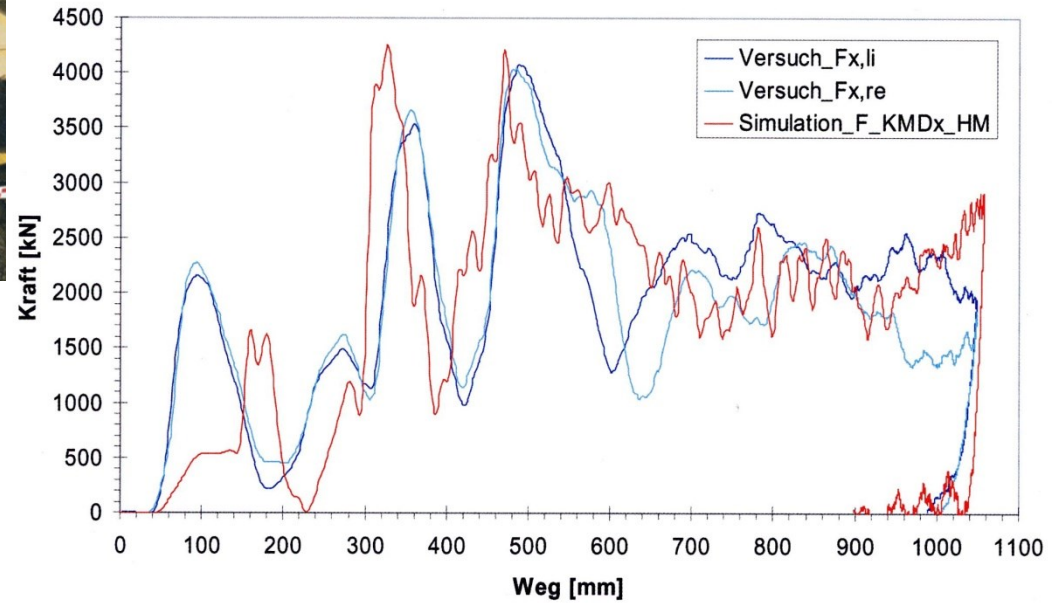


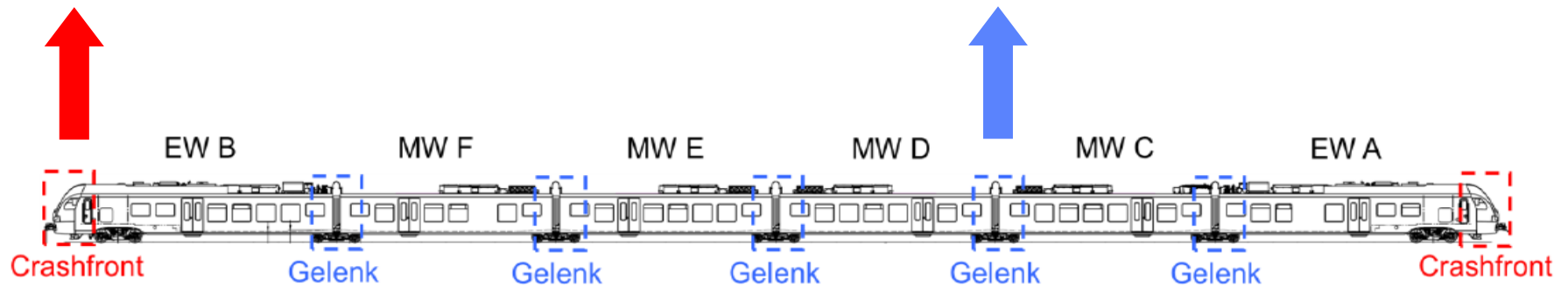
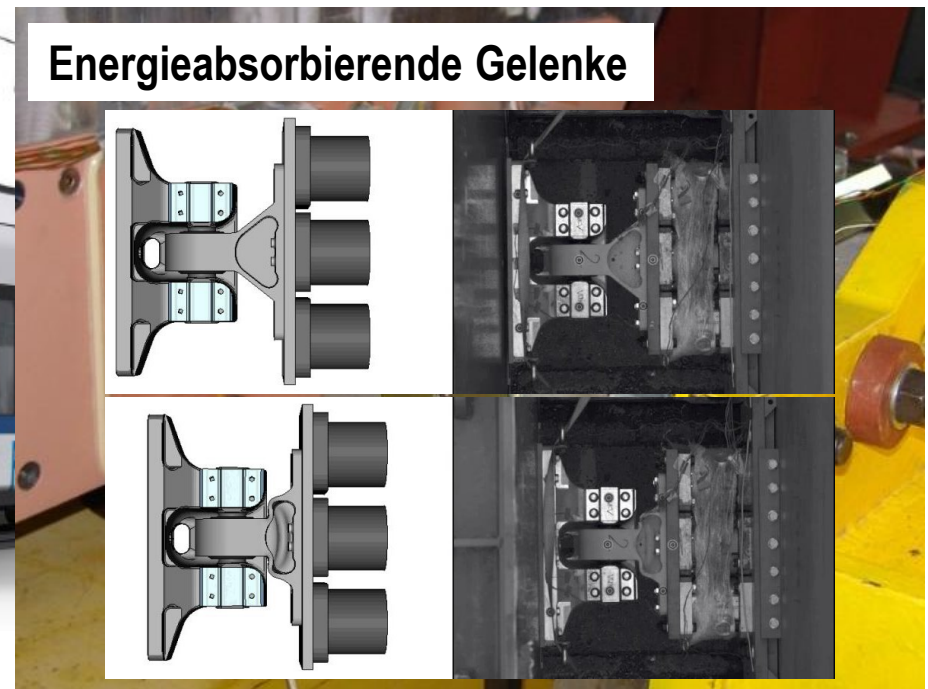
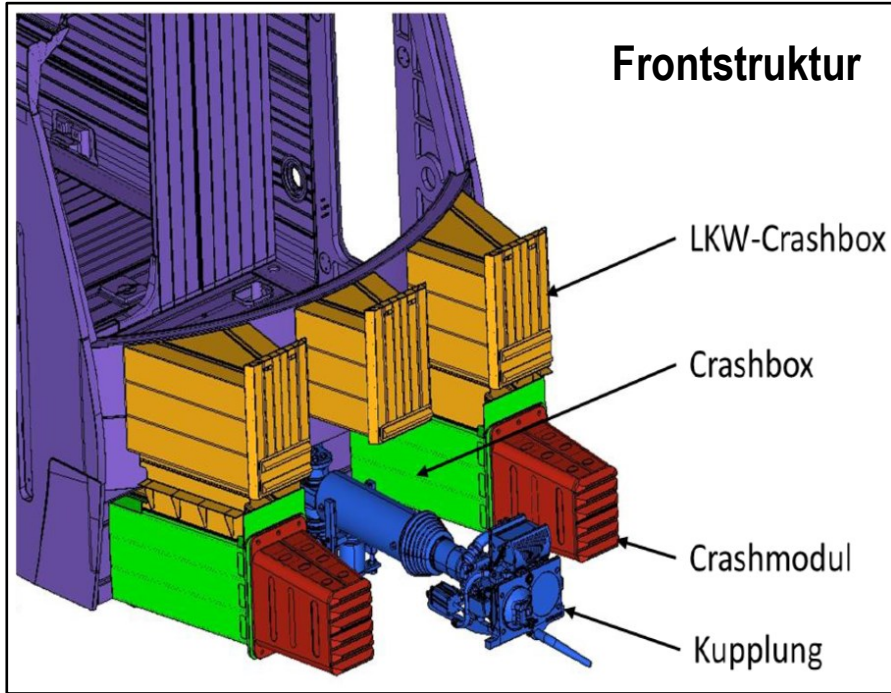
Bild 16: Deformationen am Versuchs-Frontsegment als Ergebnis der Simulation

Kraft-Weg-Kennlinien - Versuch / Simulation



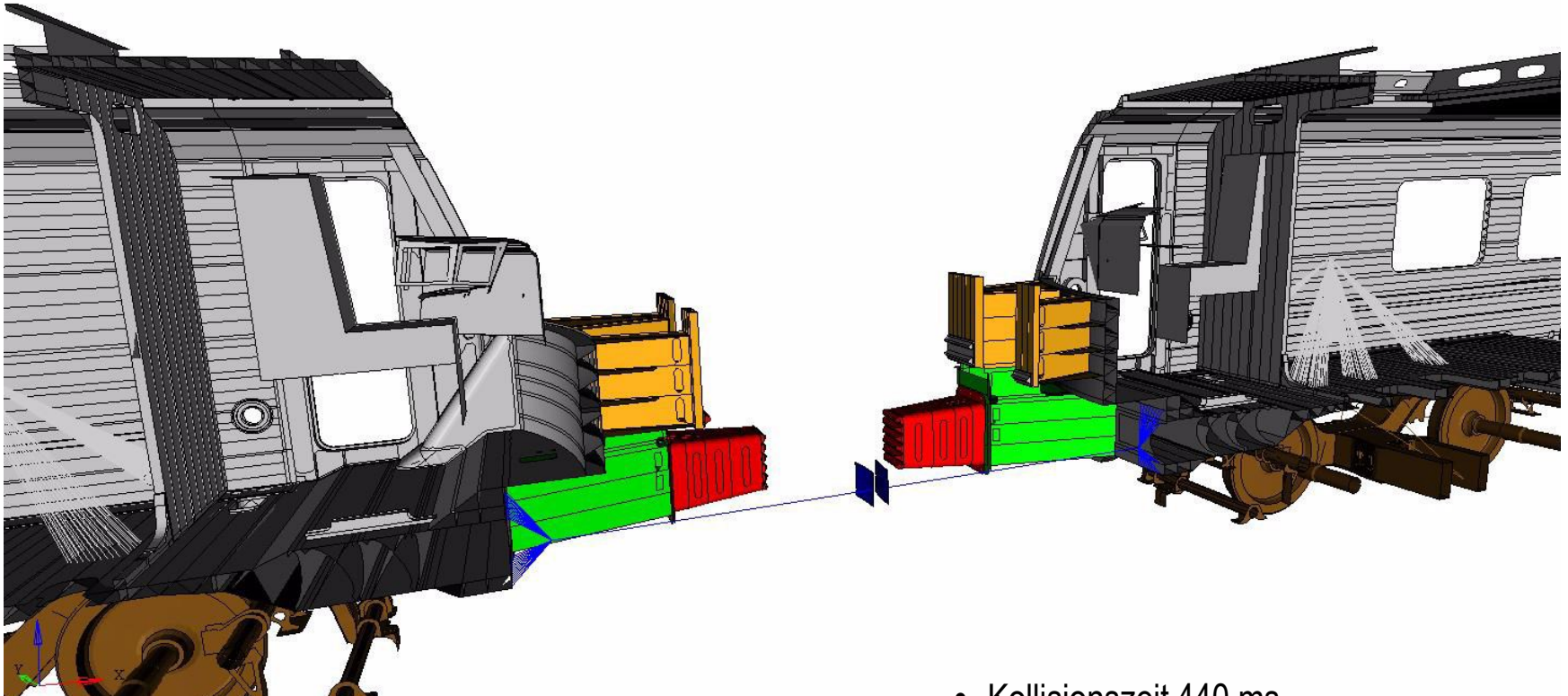
(Quelle: Carl; Schneider; Wolter: ZEVrail (2004)9)

Folie Crashkonzept FLIRT³ (I)



(Quelle: Wagner; Starlinger: Vortrag Graz 2014)

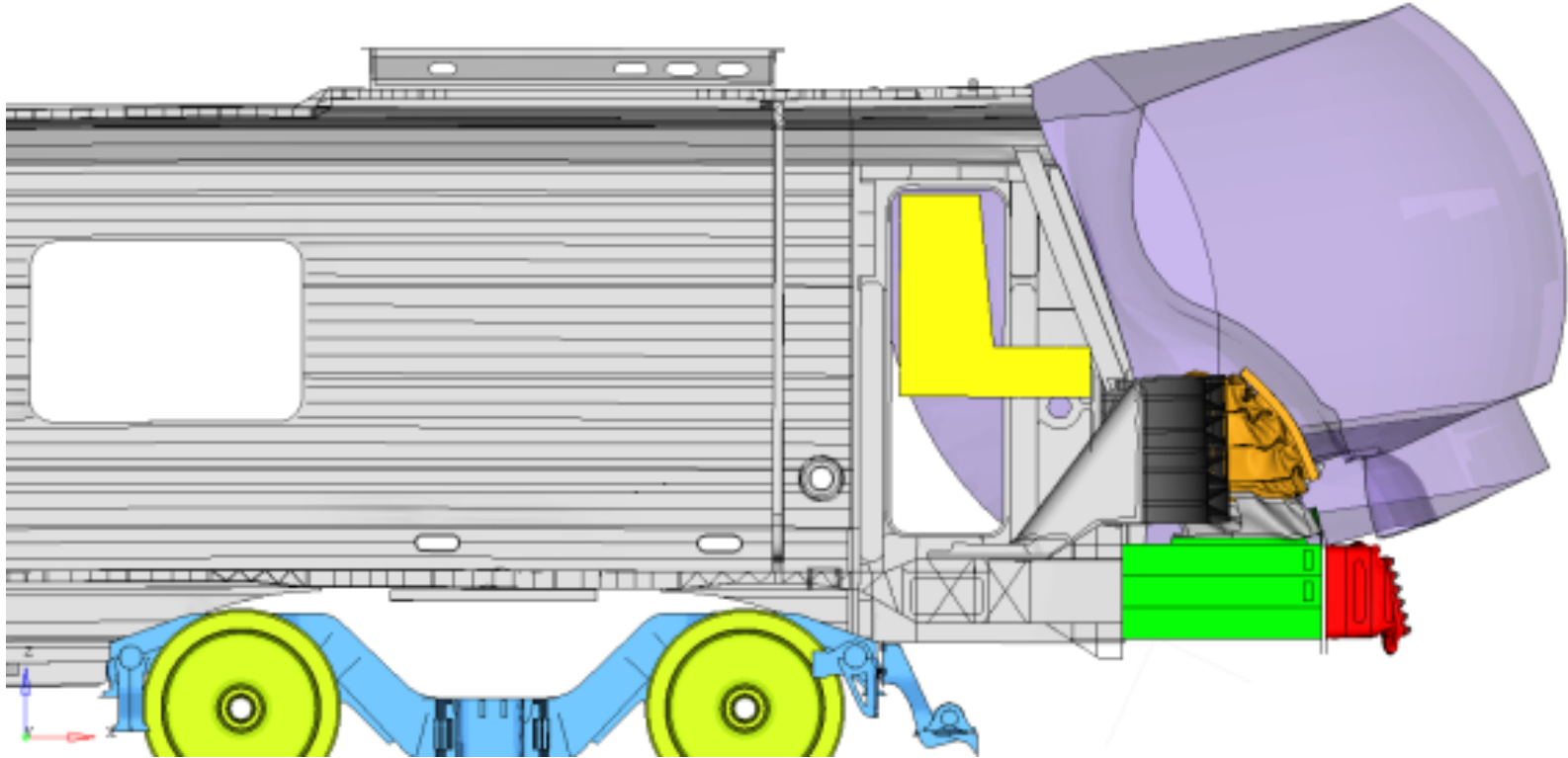
Kollisionsszenario 1 nach EN 15227 (Sfz ↔ Sfz, 36 km/h)



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

(Quelle: Wagner; Starlinger: Vortrag Graz 2014)

Kollisionsszenario 3 nach EN 15227 (Sfz ↔ Lkw (15 t), 110 km/h)

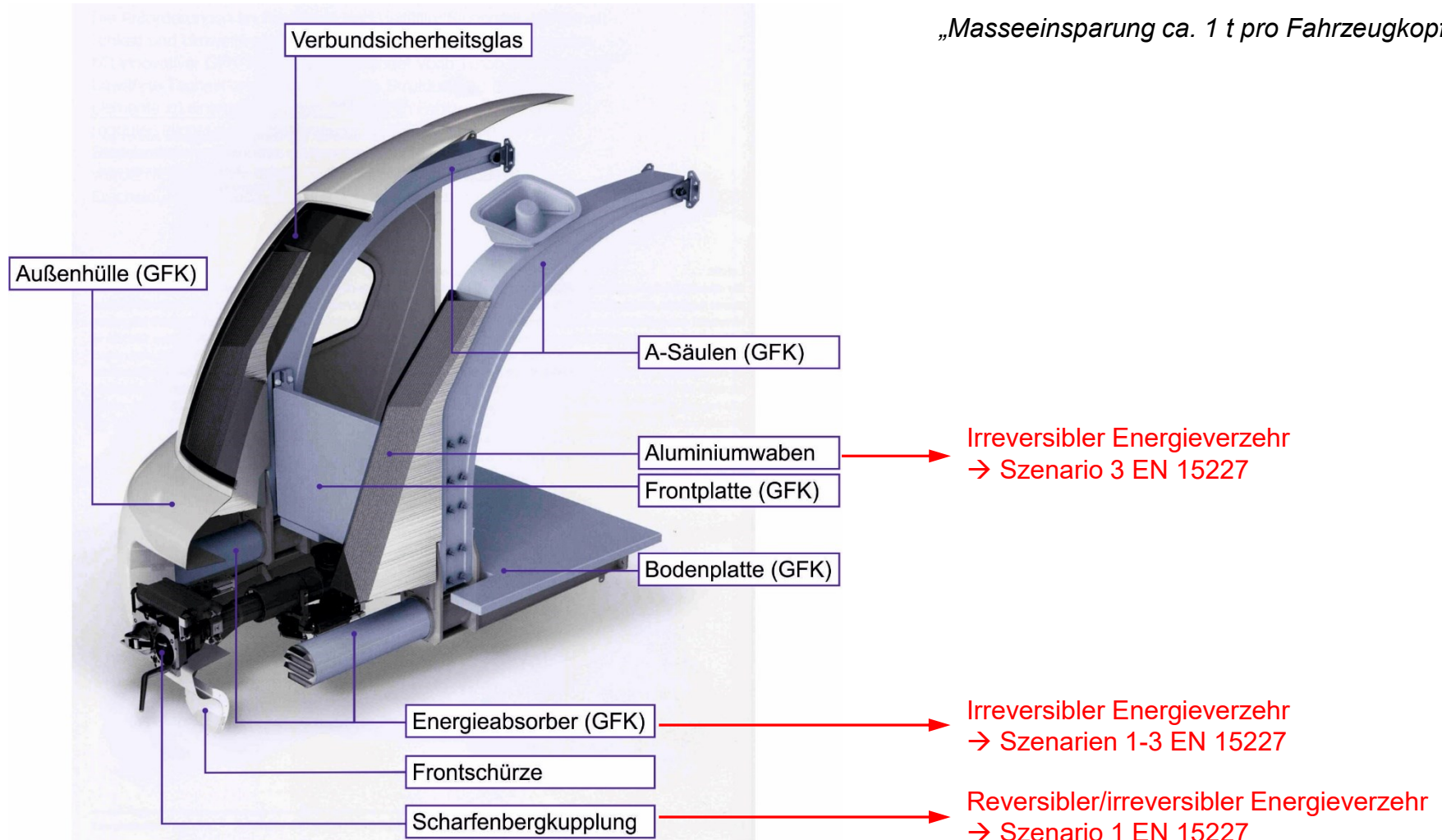


- Kollisionszeit 190 ms
- Aufgenommene Kollisionsenergie 5.554 kJ
- mittlere Beschleunigung Endwagen $1,2 \cdot g$

(Quelle: Wagner; Starlinger: Vortrag Graz 2014)

Folie Beispiel Galea-Crashkopf Voith Turbo Scharfenberg

„Masseinsparung ca. 1 t pro Fahrzeugkopf“



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

Folie Beispiel für Realisierung: Sicherheits-Chemiekesselwagen CeSa

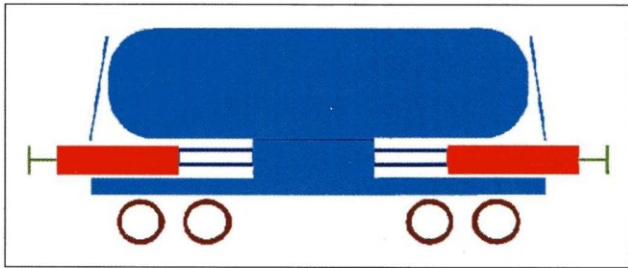
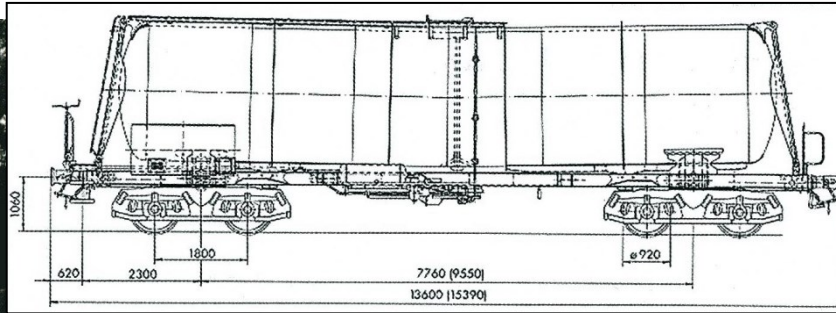


Bild 6: Funktion CeSa im Fahrzustand

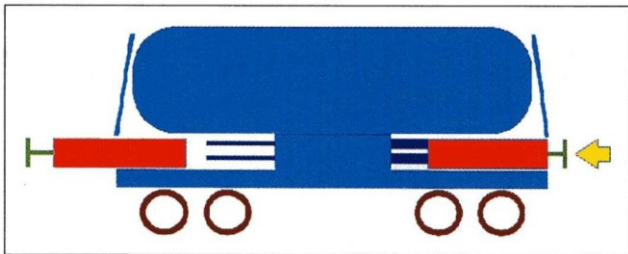
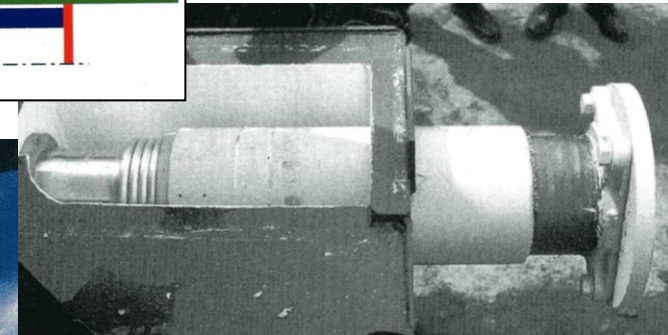
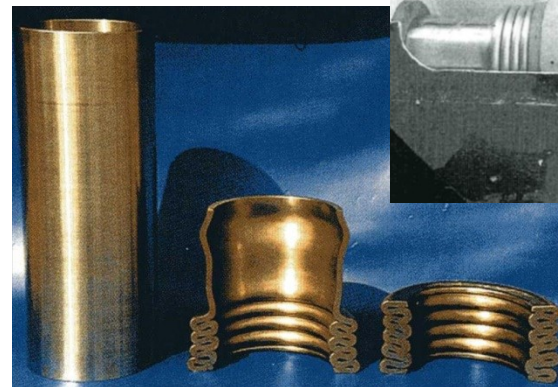
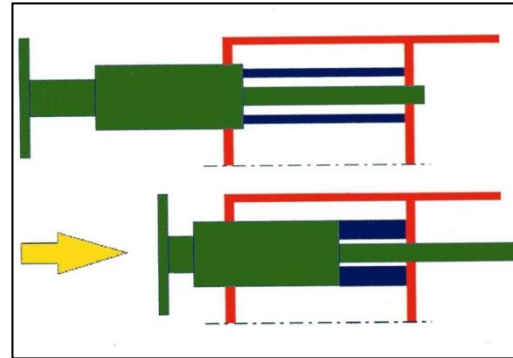
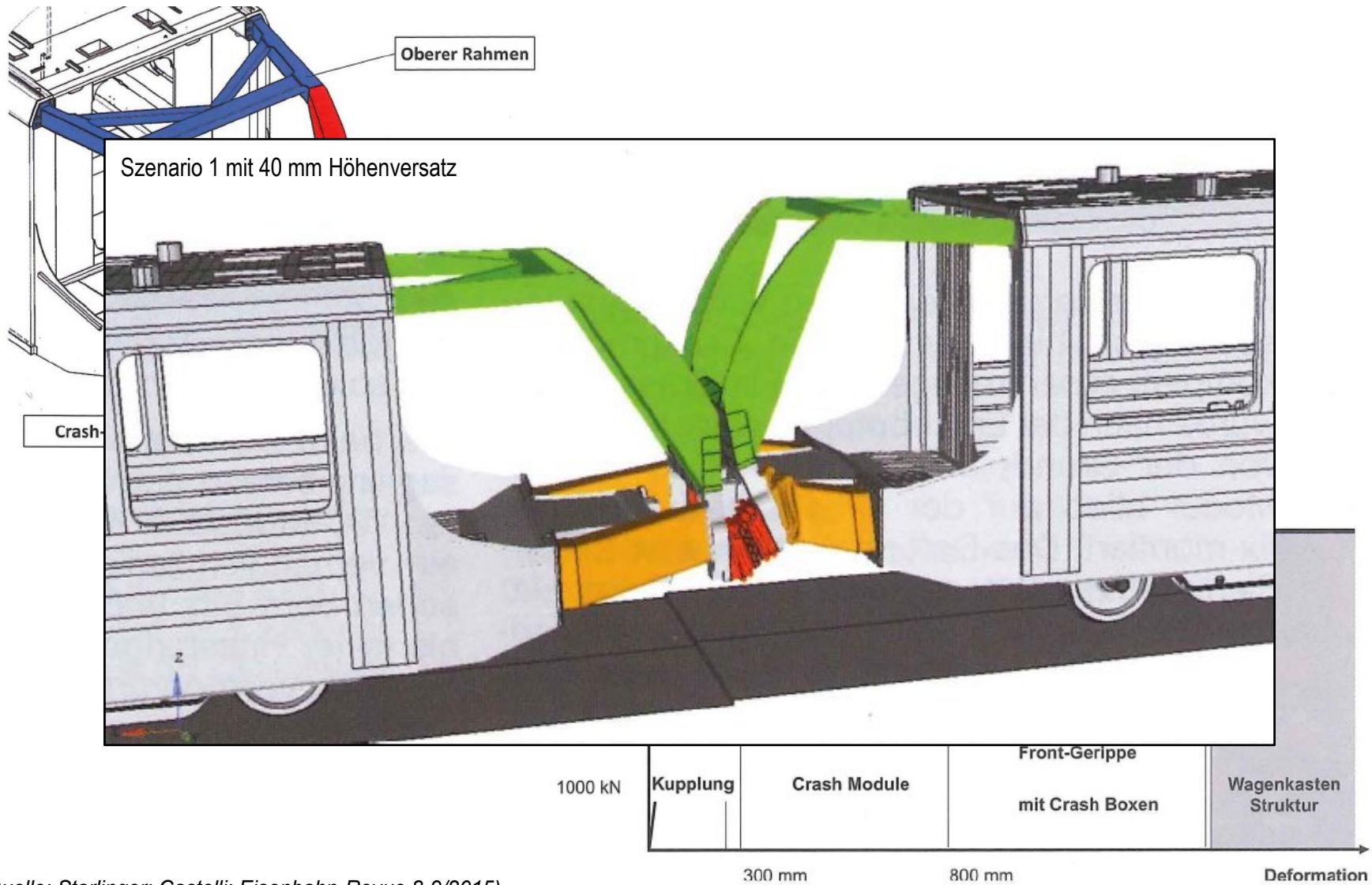


Bild 7: Funktion CeSa im Crashzustand



(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 15227:2020-06
EN 15227:2020 (D)

...

5.3 Auslegungs-Kollisionsszenarien

Im Folgenden sind vier Auslegungs-Kollisionsszenarien festgelegt. Anhang A befasst sich detaillierter mit der Herleitung und Anwendung der Auslegungs-Kollisionsszenarien.

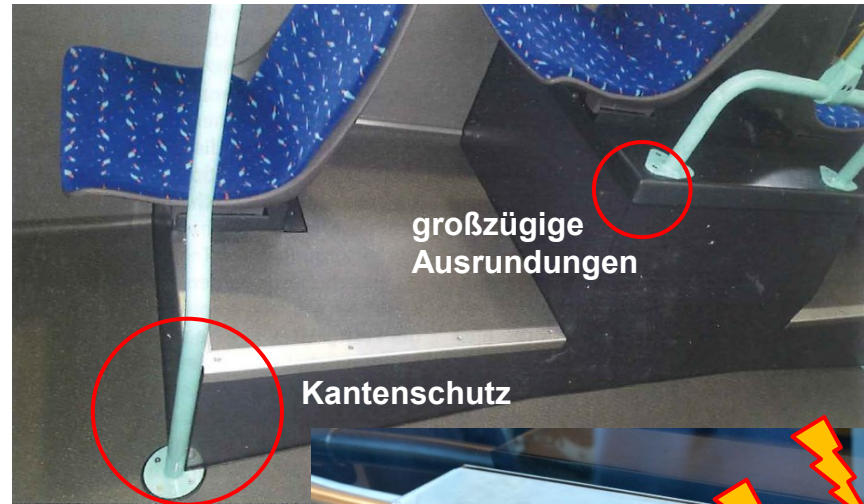
...

Wenn die normalen europäischen Betriebsbedingungen, von denen diese Europäische Norm ausgeht, nicht greifen, müssen geeignete Szenarien und einschränkende Auslegungsfälle in der Fahrzeugspezifikation definiert werden. Siehe **Anhang A** für eine Anleitung zur Definition von geeigneten Anforderungen.

...

Anhang A (informativ) Parameter der Auslegungs-Kollisionsszenarien	33
A.1 Einleitung	33
A.2 Bestimmung der Auslegungs-Kollisionsszenarien bei von normalen europäischen Betriebsbedingungen abweichenden Kollisionsrisiken	34
A.2.1 Auslegungs-Kollisionsszenarien.....	34
A.2.2 Risikoanalyse	34
A.2.3 Faktoren, die in der Risikobewertung zu berücksichtigen sind	35
A.2.4 Kollisionen infolge von Entgleisungen	36
A.2.5 Literaturhinweise zu relevanten Unfallinformationen.....	36

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

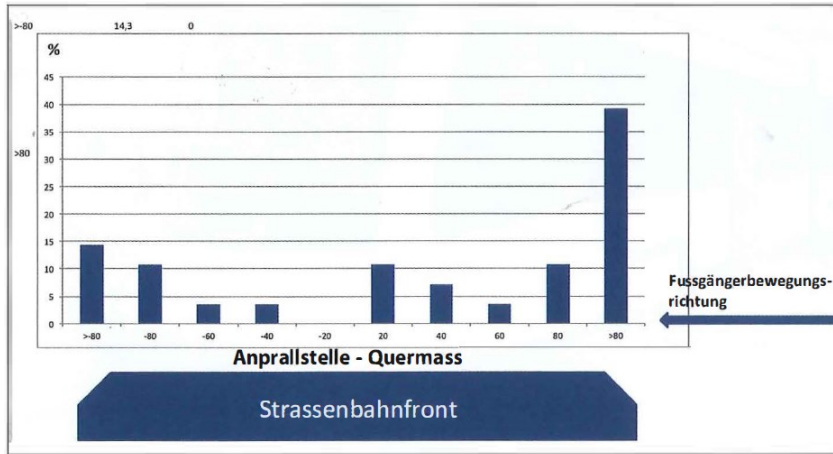


Abb. 10: Statistische Erhebungen zum Unfallgeschehen nach Bugarcic [4]. Sie zeigt, an welcher Stelle der Verunfallte in Relation zur Gleismitte von der Straßenbahn erfasst wird. *Grafik: Stadler Altenrhein AG*

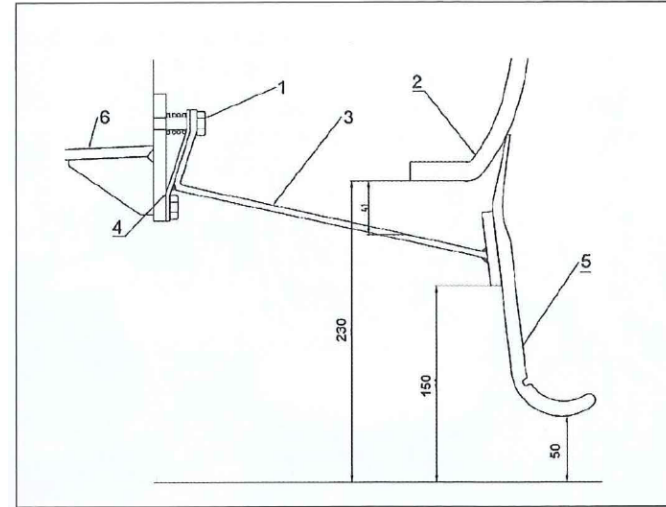


Abb. 12: Konstruktionsidee zum weitestmöglichen Schließen des Spaltes zwischen Unterkante Frontschürze und Schienenoberkante. Mit der Stellschraube (1) lässt sich die Höhe der UK Gummilippe (5) in feinen Schritten unter Berücksichtigung des Radverschleißes einstellen.

Grafik: Stadler Altenrhein AG

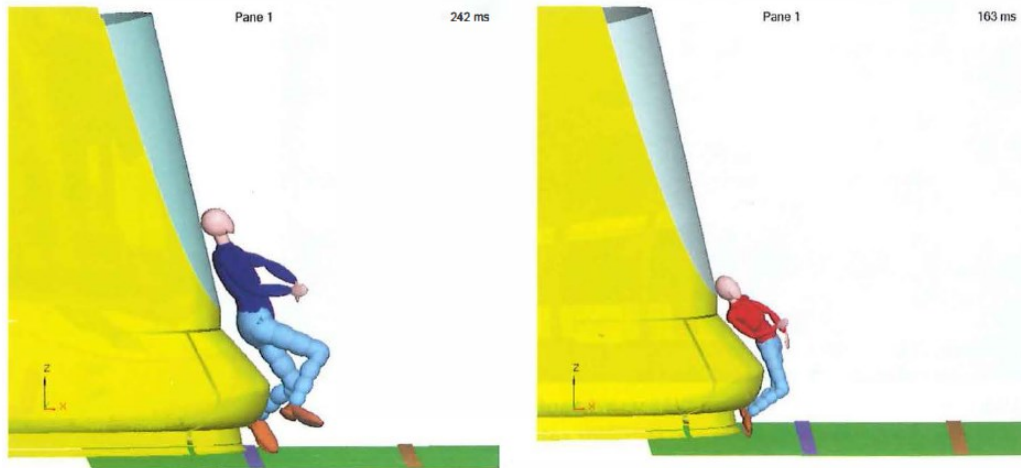


Abb. 11a und b: Der Dummy „Erwachsener“ und „Kind“ wird jeweils bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h angefahren (nach [8]) *Grafiken: Stadler Altenrhein AG*



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

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

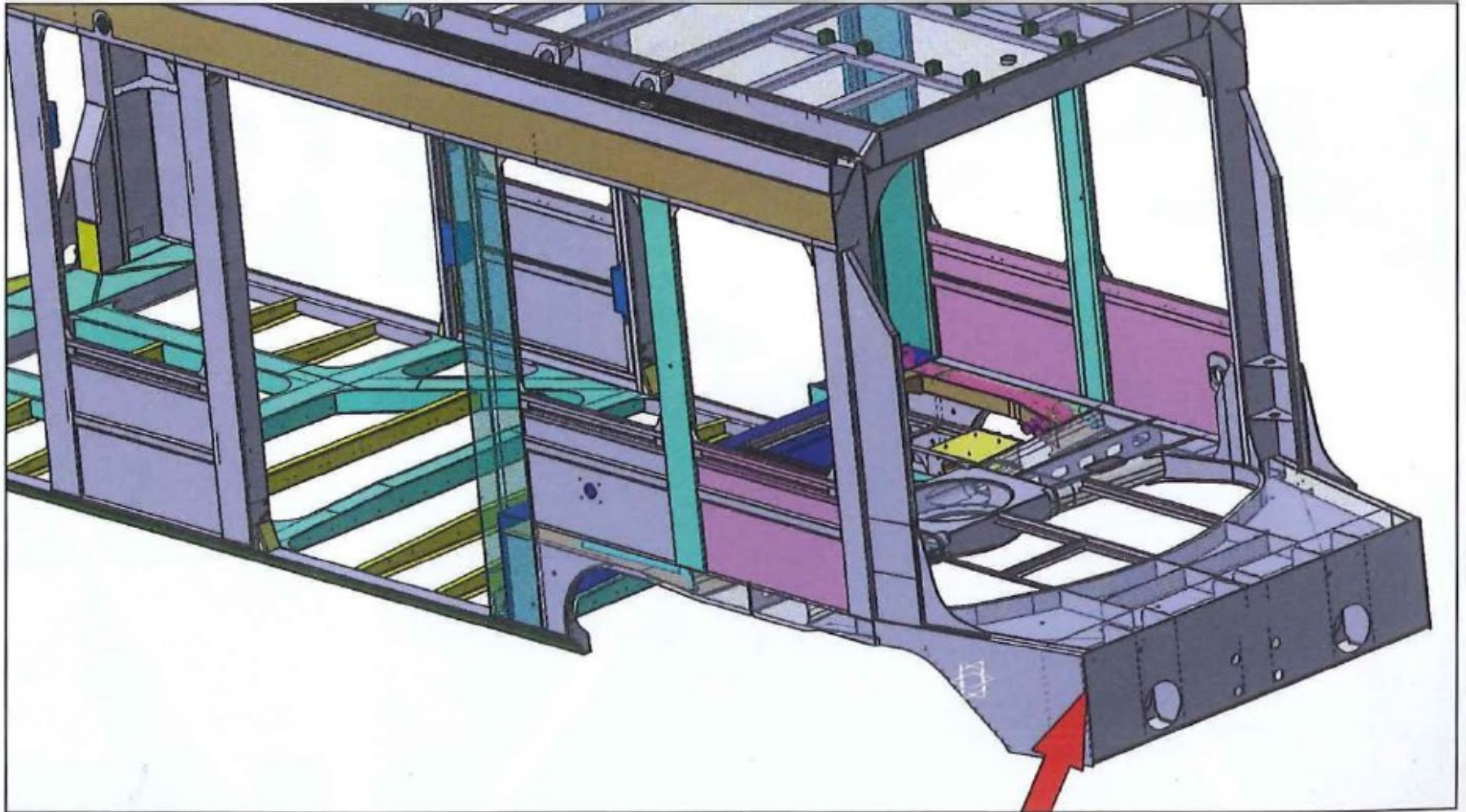


Abb. 5: Metallisch geschlossene und kompakte Seitenwand

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, Ivainisky: 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!