

**Aktualisierung der  
Datenlage sowie  
Analyse von Daten  
zu Unfallhäufigkeiten  
und Unfallschwere im  
Eisenbahn-Güterverkehr  
als Grundlage zur  
Bewertung des  
Transportunfallrisikos**

**Aktualisierung der  
Datenlage sowie  
Analyse von Daten  
zu Unfallhäufigkeiten und  
Unfallschwere im  
Eisenbahn-Güterverkehr  
als Grundlage zur  
Bewertung des  
Transportunfallrisikos**

Abschlussbericht

Holger Eberhardt  
Markus Mazur

Juni 2023

**Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4721E03310 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMUV übereinstimmen.

**Deskriptoren**

Beförderung radioaktiver Stoffe, Eisenbahngüterverkehr, Unfallwahrscheinlichkeiten

## **Kurzfassung**

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist die Fortschreibung früherer Auswertungen der Unfallstatistik beim Güterzugverkehr der Deutschen Bahn AG, um die Datengrundlage für Risikoanalysen beim Transport radioaktiver Stoffe zu aktualisieren. Untersucht wurden, anhand der von der DB AG zur Verfügung gestellten Unfalldatenbasis des Zeitraums 2002 bis 2020, die relevanten Güterzugunfälle mit Sachschaden an Schienenfahrzeugen über 1.500 €. Für diesen Zeitraum wurde eine mittlere Unfallrate von ca. 0,39 von Unfällen relevant betroffener Güterzüge pro 1 Million Zug-km ermittelt. Der Anteil der Unfallart „Brand“ betrug im Mittel 9 % aller erfassten Unfälle. Weiterhin erfolgte eine Berechnung von relativen Häufigkeiten der bereits in früheren Transportrisikoanalysen der GRS verwendeten Belastungsklassen. Aufgrund fehlender Angaben zu Geschwindigkeiten wurde hierbei eine konservative Abschätzung der Zuordnungen von Unfällen zu den einzelnen Geschwindigkeitsbereichen gemacht.

## **Abstract**

The objective of this report is to extend the statistical basis of previous evaluations of rail accident statistics with respect to goods train traffic of the Deutsche Bahn AG in order to provide basic statistical data for use in risk analysis for the transport of radioactive material. The investigation referred to events with relevant damage within the period 2002 to 2020. Relevant damage is assumed in case material damage to rail vehicles exceeds 1.500 €. For this time period the average accident rate derived is 0.39 trains with relevant damage per 1 million train-km. The ratio of the accident type “fire” was on average 9 % of all registered accidents. Furthermore, relative frequencies of exposure classes, which were already used in past transport-risk-analyses of GRS, were calculated. Due to missing information on velocities, a conservative approximation for the assignment of accidents to the velocity-groups was applied.



## Inhaltsverzeichnis

	<b>Kurzfassung.....</b>	<b>I</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand von Wissenschaft und Technik.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Datenerfassung und -analyse .....</b>	<b>7</b>
3.1	Selektion relevanter Daten.....	7
3.2	Ausgewertete Informationen .....	7
3.3	Ergebnisse der Auswertung.....	8
3.3.1	Zeitliche Entwicklung der Unfallraten .....	10
3.3.2	Einfluss der Relevanzgrenze .....	11
3.3.3	Aufteilung nach Unfallart.....	12
3.3.4	Aufteilung nach Geschwindigkeit .....	13
3.3.5	Anzahl betroffener Wagen .....	16
3.3.6	Wagen-bezogene Unfallrate .....	18
3.3.7	Belastungsklassen.....	19
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>23</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>25</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>27</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>29</b>



# 1 Einleitung

Radioaktive Stoffe sind im verkehrsrechtlichen Sinne Gefahrgüter der Klasse 7. Für die Beförderung gefährlicher Güter existiert ein internationales Regelwerk, bei dessen Anwendung der sichere Transport und der Schutz vor den evtl. vom Transportgut ausgehenden Gefahren grundsätzlich gewährleistet ist. Aufgrund dieses international harmonisierten Regelwerks existiert weltweit ein hohes Sicherheitsniveau bei der Beförderung radioaktiver Stoffe. Nichtsdestotrotz steht die Beförderung radioaktiver Stoffe, insbesondere die Beförderung von radioaktiven Stoffen, die im Zusammenhang mit der Kernkraft stehen (wie z. B. radioaktive Abfälle), immer wieder im Fokus der Öffentlichkeit. Die Erstellung und Veröffentlichung von Transportstudien können einen Beitrag zur Information der Öffentlichkeit liefern. In diesem Zusammenhang wurden in der Vergangenheit durch die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH Transportstudien zur Untersuchung und Bewertung radiologischer Auswirkungen und Unfallrisiken in Zusammenhang mit der Abfallanlieferung zum Endlager Konrad durchgeführt (vgl. /GRS 91/, /GRS 10/).

Zur Durchführung dieser Transportstudien war eine umfangreiche Datenbasis erforderlich. Dabei wurde u. a. das Risiko eines Unfalls bei der Beförderung radioaktiver Stoffe aus den gesammelten Daten ermittelt. Ein wesentlicher Faktor zur Ermittlung eines Unfallrisikos ist hierbei die Auswertung detaillierter Unfalldaten in Zusammenhang mit der Beförderung, wobei dies nicht auf die Beförderung von Gefahrgütern beschränkt ist. Da die Abfallanlieferungen zum Endlager Konrad im Wesentlichen mit der Eisenbahn stattfinden sollen, sind hierbei insbesondere Unfalldaten des Verkehrsträgers Schiene von Interesse. In der letzten Transportstudie Konrad von 2009 /GRS 10/ wurde aufgrund des damaligen Planungsstandes von der Fertigstellung des Endlagers Konrad im Jahr 2014 ausgegangen.

Da sich die Fertigstellung des Endlagers Konrad aber verzögert, wird nun erst im Jahr 2027 damit gerechnet. Dies hat zur Folge, dass die in der Transportstudie von 2009 verwendeten Daten und Annahmen teilweise veraltet sind.

Ziel des Eigenforschungsvorhabens 4721E03310 ist daher eine Aktualisierung der Datengrundlage zur Ermittlung von Unfallhäufigkeiten im Eisenbahngüterverkehr in Deutschland, die als Grundlage für zukünftige Transportstudien dienen kann. Diese aktuellen Daten sind auch aufgrund der Veränderungen im heutigen Verkehrsaufkommen erforderlich.





## 2 Stand von Wissenschaft und Technik

Grundlage für die Regelungen zur sicheren Beförderung radioaktiver Stoffe sind die sogenannten Transportvorschriften, die von der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) herausgegeben und fortlaufend weiterentwickelt werden /IAEA 18/. Gemäß den Transportvorschriften ist die Sicherheit und die Einhaltung der relevanten Schutz- und Sicherheitsvorschriften bei der Beförderung radioaktiver Stoffe regelmäßig zu überprüfen und insbesondere sicherzustellen, dass die für die Transportdurchführung gebotenen Schutz- und Vorsorgemaßnahmen angemessen sind und den Erfordernissen der internationalen Basic Safety Standards (BSS) /IAEA 14/ genügen. Auch neuere Entwicklungen und Erkenntnisse auf dem Gebiet des Strahlenschutzes, z. B. in Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP), sind hierbei von Bedeutung.

Die Überprüfung und Bewertung der Wirksamkeit dieser Vorschriften im Hinblick auf die einzuhaltenden Schutzziele erfolgt dabei mittels verschiedener Methoden, z. B. auf Basis von Erhebungen zur beförderungsbedingten Strahlenexposition bis hin zu Berechnungen mit komplexen Modellsystemen zur Bestimmung der potenziellen radiologischen Auswirkungen eines Transportunfalls. Auch bzgl. der Transportstudie Konrad 2009 (TSK 09) /GRS 10/ ist eine Aktualisierung der Sicherheitsbeurteilung für den Transport radioaktiver Abfälle ins geplante Endlager Konrad im Lichte der aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Transportsicherheit und Sicherheitsbewertung sinnvoll. Insbesondere ist es sinnvoll, eine solche Aktualisierung der Sicherheitsbeurteilung zeitnah vor der Fertigstellung des Endlagers durchzuführen. Die Fertigstellung des Endlagers Konrad für schwach- und mittelradioaktive Abfälle ist derzeit für das erste Halbjahr 2027 avisiert. Eine aktuelle Transportstudie sollte demnach auf aktuellen Eingangsdaten beruhen.

Die Unfalldaten für den Schienengüterverkehr, die im Rahmen der TSK 09 ausgewertet wurden, stammen aus den Jahren 1995 bis 2001. Für die Untersuchungen im Rahmen der Transportstudien Konrad 1991 (TSK 91) /GRS 91/ und TSK 09 /GRS 10/ wurden Unfalldaten aus insgesamt 23 Jahren (1979 bis 2001) betrachtet. Zum Ausschluss von Bagatellunfällen wurden hier die Ereignisarten Entgleisung, Zusammenstoß, Aufprall, Zusammenprall und Brand/Explosion betrachtet. Störungen, wie die Vorbeifahrt eines Zuges am Haltbegriff oder Störungen an einem Fahrzeug wurden nicht in die Analyse einbezogen. Auch Unfälle mit Personenschaden sowie Unfälle im reinen Personenverkehr sind für die betrachtete Fragestellung nicht relevant. Zum weiteren Ausschluss von Bagatellereignissen, wurden bei der Auswertung nur solche Ereignisse als relevant berücksichtigt, bei denen der Sachschaden an Schienenfahrzeugen insgesamt den Betrag

von 1.500 € (früher 3.000 DM) überschritten hat. Seit 1997 stand der Sachschaden auch aufgeschlüsselt nach einzelnen Schienenfahrzeugen zur Verfügung, so dass diese Information dazu benutzt werden konnte, die gleiche Relevanzgrenze für den Schaden am einzelnen Fahrzeug anzuwenden.

Zur Einordnung der Unfallereignisse in die Belastungsklassen wurde für die mechanischen Belastungen, wie oben erwähnt, die Fahrgeschwindigkeit des Zuges vor dem Unfall verwendet. Für die Zuordnung in Bezug zur Schwere der thermischen Belastungen wurden zwei Drittel der Brandereignisse als äquivalent zum 30 Minuten Referenzbrand und ein Drittel als äquivalent zum 60 Minuten Referenzbrand eingestuft.

Im Ergebnis wurde eine über den betrachteten Zeitraum gemittelte Gesamtunfallwahrscheinlichkeit von 0,36 Güterzugunfällen pro eine Million gefahrene Kilometer bestimmt. Des Weiteren wurde berechnet, dass nur in 3,3 % aller Unfälle solcher Güterzüge ein oder auch mehrere Abfallwagen betroffen sind.

Die Zuordnung der relativen Unfallhäufigkeiten zu den Belastungsklassen ist in Tab. 2 2 dargestellt.

**Tab. 2.1** Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen (Unfalldaten der Jahre 1995-2001)

Aufprallgeschwindigkeit	Relative Häufigkeit		
	Ohne thermische Einwirkung	Bei 30 Minuten thermischer Einwirkung, 800 °C	Bei 60 Minuten thermischer Einwirkung, 800 °C
≤ 35 km/h	0,221 (BK 1)	$8,25 \cdot 10^{-2}$ (BK 2)	$4,13 \cdot 10^{-2}$ (BK 3)
36 – 80 km/h	0,387 (BK 4)	$8,45 \cdot 10^{-3}$ (BK 5)	$4,23 \cdot 10^{-3}$ (BK 6)
≥ 80 km/h	0,247 (BK 7)	$5,39 \cdot 10^{-3}$ (BK 8)	$2,69 \cdot 10^{-3}$ (BK 9)

Aus den im Rahmen der Studien TSK 91 und TSK 09 durchgeführten Analysen und der dort beobachteten Dynamik im Unfallgeschehen lässt sich schlussfolgern, dass eine Aktualisierung der Datengrundlage für Unfälle im Eisenbahngütertransfer in längeren Zeitabständen von z.B. zehn Jahren sinnvoll ist. Eine Aktualisierung dieser Datengrundlage ist also sinnvoll.

Eine im Rahmen des Vorhabens 3614R03343 durchgeführte Analyse von Daten der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (EUB) des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) für den Verkehrsträger Schiene hat gezeigt, dass die Datenbank der EUB nicht

den erforderlichen Umfang für eine mit der Transportstudie Konrad 2009 vergleichbare Analyse aufweist. Nach Aussage der EUB liegen Unfalldaten im - für eine Transportstudie - erforderlichen Umfang ausschließlich den Eisenbahnverkehrsunternehmen vor.



### **3 Datenerfassung und -analyse**

Der GRS wurden durch die DB AG Daten zu Unfallhäufigkeiten und Unfallschwere sowie zu Fahrleistung der Güterzüge für die Jahre 2002 bis 2020 zur Verfügung gestellt. Diese Daten dienen als Grundlage für die in diesem Bericht dargestellten Arbeiten. Um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse mit früheren Auswertungen von Bahnbetriebsunfällen zu gewährleisten, entspricht die Analysemethodik bei der Untersuchung soweit möglich der in den Analysen zur TSK 91 und TSK 09 angewendeten Vorgehensweise.

#### **3.1 Selektion relevanter Daten**

Für die in diesem Bericht dargestellten Analysen wurden nur Unfälle im Güterzugverkehr betrachtet, weil dieser von der Betriebsweise her für die ins Auge gefassten Transportaufkommen radioaktiver Stoffe überwiegend typisch und vergleichbar ist. Schäden, die bei Unfällen an Reisezügen entstehen, wurden hier nur insofern berücksichtigt als Reisezüge bei der Unfallart Zusammenstoß als zweite beteiligte Einheit in Betracht kommen. Entsprechendes gilt für Rangierabteilungen. Im Bereich von Rangierbahnhöfen ist der eigentliche Rangierbetrieb daher nicht enthalten.

Des Weiteren wurden bei der Auswertung der Unfallstatistik solche Ereignisse ausgeschlossen, bei denen eine Beeinträchtigung von Versandstücken, wie sie bei der Beförderung radioaktiver Stoffe typischerweise verwendet werden, nicht zu befürchten ist. Zur Festlegung eines entsprechenden Relevanzkriteriums eignet sich unter den im Datenbestand der DB verfügbaren Angaben am ehesten die monetäre Bewertung des entstandenen Sachschadens an Schienenfahrzeugen, ohne eventuellen Schaden an der Ladung. Diesbezüglich wurde im Rahmen der ersten Untersuchung /GRS 91/ eine Relevanzgrenze von 3.000 DM bzw. 1.500 € eingeführt, um Bagatellschäden aus der Auswertung auszuschließen. Diese Relevanzgrenze wurde auch für die hier dargestellten Untersuchungen angewendet.

#### **3.2 Ausgewertete Informationen**

In den von der DB AG bereitgestellten Daten sind unter anderem die nachfolgend aufgeführten Informationen verfügbar, die bei der Auswertung herangezogen wurden.

- Ereignis: Jedem Unfallereignis ist eine Ereignisnummer zugeordnet, die zur eindeutigen Identifikation des Ereignisses dient.
- Datum: Zur Zuordnung von Unfallereignissen zu einem Jahr.
- Erste Einheit (Zweite Einheit): Zur Selektion von Unfallereignissen mit Beteiligung von Güterzügen.
- Schadensgruppe: Zur Selektion von Sachschäden an Schienenfahrzeugen.
- Schadenshöhe der Schadensgruppe: Zur Bestimmung des Gesamtsachschadens an Schienenfahrzeugen je Unfallereignis.
- Ereignisart: Zur Analyse des Unfallgeschehens. Unterschieden wird zwischen Aufprall, Bahnübergangsunfall, Brand, Entgleisung, Freiwerden des Gefahrguts, Sonstiger Unfall und Zusammenstoß.
- Geschwindigkeit (Geschwindigkeit 2. Einheit): Die Kenntnis von Geschwindigkeiten ist für eine Zuordnung von Unfallereignissen in Belastungsklassen erforderlich. (Für eine gesonderte Auswertung wurden darüber hinaus zulässige Geschwindigkeiten betrachtet.)

### **3.3 Ergebnisse der Auswertung**

Für die Auswertung wurden 1.832 Bahnbetriebsunfälle im Güterzugverkehr herangezogen, die nach den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Kriterien selektiert wurden. Die Tab. 3.1 zeigt eine Übersicht über die Ergebnisse der Auswertung von Unfalldaten im Güterzugverkehr aus den Jahren 2002 bis 2020. Angegeben sind für jedes Jahr die erfasste jährliche Anzahl der von Unfällen relevant betroffenen Güterzüge, unterteilt nach den Hauptunfallkategorien sowie innerhalb der Unfallkategorien nach den Geschwindigkeitsbereichen bzw. der Klasse "unbekannte Geschwindigkeit". Zusätzlich sind in Tab. 3.2 die jährlich erbrachten Betriebsleistungen in Millionen Güterzug-km aufgeführt, aus denen das Unfallaufkommen entstanden ist.

**Tab. 3.1** Übersicht über die Auswertung von Bahnbetriebsunfällen im Güterzugverkehr 2002 bis 2020

Ereignisart	Anteil betroffener Züge in Zeitraum																			2002-2020
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
<b>Aufprall</b>																				1154
<35 km/h	4	1	2	2	3	3	2	2	3	3	3	1	1	2	0	2	1	1	1	44
36 bis 80 km/h	5	7	4	2	5	5	1	4	3	1	4	3	4	3	3	3	1	0	2	63
>80 km/h	15	12	6	11	8	10	3	10	6	2	6	7	1	6	3	1	8	4	2	124
Geschw. Unbekannt	15	11	27	30	22	39	32	29	59	47	62	62	53	58	58	73	81	64	67	923
<b>Bahnübergangsunfall</b>																				172
<35 km/h	0	0	0	1	0	1	0	1	2	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	10
36 bis 80 km/h	3	3	2	4	4	1	0	1	0	2	0	3	0	0	0	2	0	2	0	27
>80 km/h	0	0	4	1	0	2	2	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	14
Geschw. Unbekannt	5	6	9	5	6	5	3	5	6	4	5	5	10	6	7	7	4	11	9	121
<b>Brand</b>																				166
<35 km/h	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	6
36 bis 80 km/h	2	2	3	1	1	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	15
>80 km/h	7	4	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	23
Geschw. Unbekannt	7	1	10	5	6	6	8	3	6	13	5	4	5	5	6	2	10	12	5	122
<b>Entgleisung</b>																				209
<35 km/h	2	3	3	4	2	2	4	2	3	3	3	5	1	2	0	2	0	1	2	47
36 bis 80 km/h	5	6	1	1	1	2	1	2	3	6	1	1	1	2	0	0	0	0	1	39
>80 km/h	1	1	1	3	2	2	1	1	4	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	22
Geschw. Unbekannt	0	5	6	3	5	5	5	5	11	5	9	7	5	4	0	4	6	1	9	101
<b>Freiwerden Gefahrgut</b>																				2
<35 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
36 bis 80 km/h	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
>80 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geschw. Unbekannt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sonstiger Unfall</b>																				19
<35 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 bis 80 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
>80 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Geschw. Unbekannt	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	3	3	0	1	3	2	0	0	17
<b>Zusammenstoß</b>																				110
<35 km/h	6	5	10	3	5	2	5	0	0	2	3	4	1	2	2	2	2	4	0	58
36 bis 80 km/h	1	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	10
>80 km/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Geschw. Unbekannt	2	2	1	2	5	4	0	0	1	4	4	3	2	1	2	2	0	2	2	42

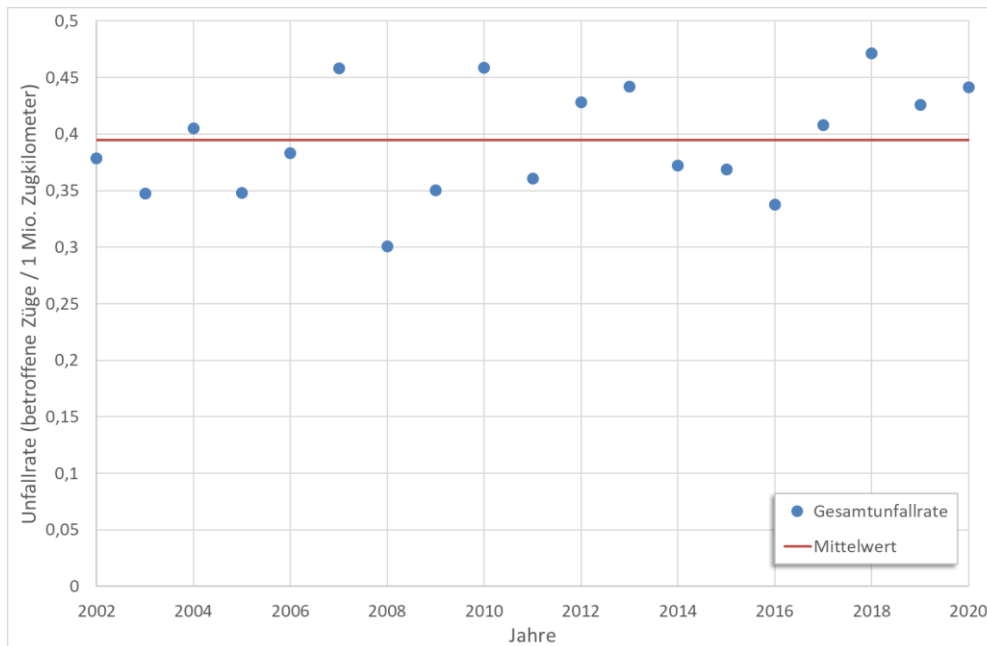


**Tab. 3.2** Zugkilometer im Güterzugverkehr auf der Infrastruktur der DB AG

<b>Jahr</b>	<b>Mio. Zug-km</b>
2002	211,00
2003	204,10
2004	205,00
2005	193,70
2006	203,50
2007	205,20
2008	232,70
2009	194,10
2010	178,80
2011	184,70
2012	168,00
2013	159,50
2014	155,10
2015	148,80
2016	142,00
2017	130,90
2018	122,60
2019	116,00
2020	104,40

### 3.3.1 Zeitliche Entwicklung der Unfallraten

Aus der Zahl der betroffenen Züge und den zugehörigen Zug-km lassen sich Unfallraten bilden (Abb. 3.1). Die Daten weisen über den dargestellten Zeitraum eine praktisch konstante Unfallrate für die betrachteten Güterzugunfälle mit Sachschaden an Schienenfahrzeugen über 1.500 € von 0,39 Unfällen pro 1 Million Güterzug-km aus (durchgezogene Linie). Diese Unfallrate ist etwas höher, aber vergleichbar mit der in /GRS 10/ dargestellten Gesamtunfallrate von 0,36 Unfällen pro 1 Million Zug-km. Insgesamt zeigt sich, dass über die Jahre deutliche Schwankungen in der Gesamtunfallrate zu beobachten sind und somit repräsentative Trendanalysen nur auf der Basis entsprechend langfristiger Betrachtungen sinnvoll sind.



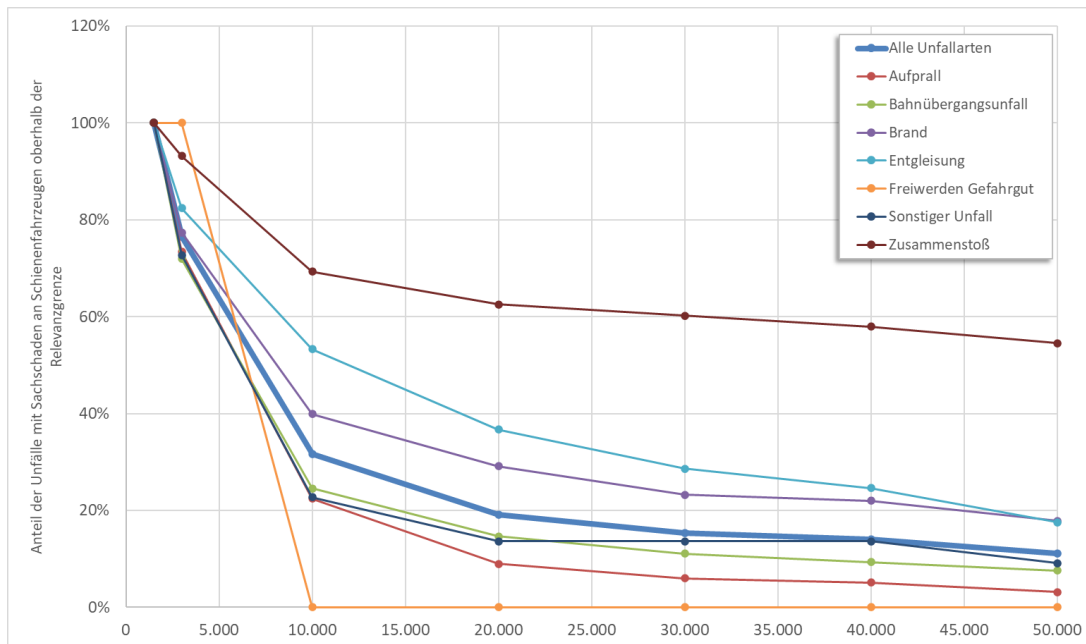
**Abb. 3.1** Zeitliche Entwicklung der Gesamtunfallrate für Güterzüge

Anzahl der betroffenen Güterzüge bei Unfällen mit Gesamtschaden an Schienenfahrzeugen über 1.500 € pro unfallbeteiligter Zugeinheit

### 3.3.2 Einfluss der Relevanzgrenze

Abb. 3.2 verdeutlicht für die Güterzugunfälle aus dem Zeitraum 2002 bis 2020 den Einfluss unterschiedlich gewählter Relevanzgrenzen auf die ermittelten Unfallzahlen. Das Diagramm zeigt für die verschiedenen Unfallarten den Anteil aller Unfälle der betreffenden Unfallart, die als relevant selektiert wurden in Abhängigkeit von der Höhe der gewählten Relevanzgrenze. Die dickere blaue Linie repräsentiert alle Unfälle.

Es zeigt sich, dass bei allen Unfallarten der Anteil als relevant eingestufte Unfälle besonders im Bereich niedriger Relevanzgrenzen sehr stark von der Höhe der gewählten Relevanzgrenze abhängt. Eine Verdopplung der Relevanzgrenze von derzeit 1.500 € auf 3.000 € würde zum Beispiel dazu führen, dass der Anteil der selektierten relevanten Unfälle an allen Güterzugunfällen um 24 % zurückgehen würde. Dieser erhebliche Einfluss der Relevanzgrenze auf die ermittelten Unfallzahlen ist besonders beim Vergleich mit Auswertungen aus anderen Quellen zu beachten.

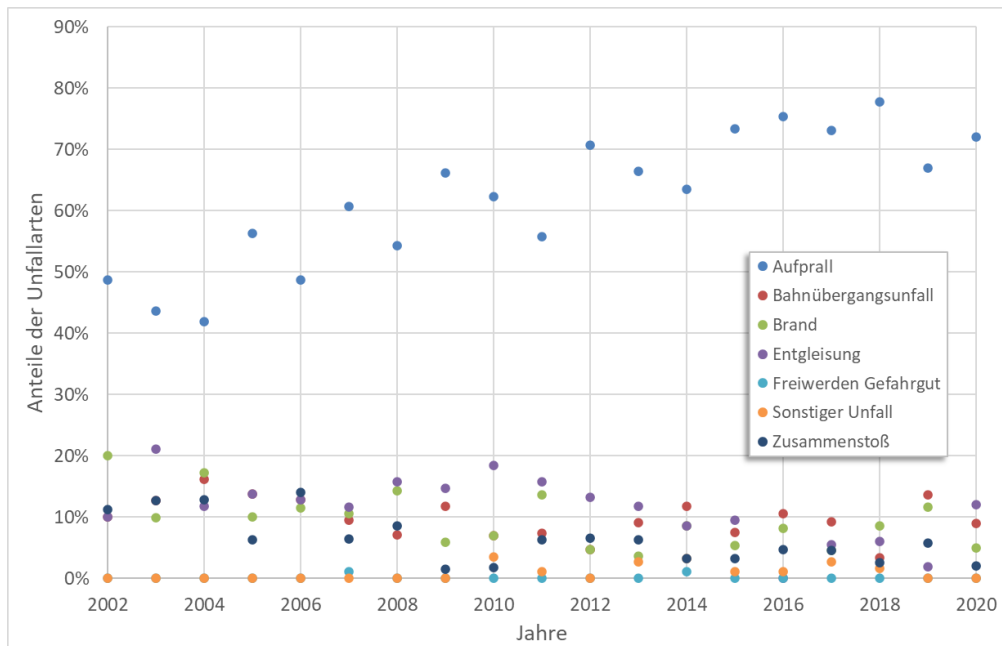


**Abb. 3.2** Abhängigkeit der ermittelten Unfallzahlen von der Höhe der gewählten monetären Relevanzgrenze

### 3.3.3 Aufteilung nach Unfallart

Die Anteile der einzelnen Unfallarten, die im rechten Teil von Tab. 3.1 wiedergegeben sind, weisen als häufigste Unfallkategorie den Aufprall aus. Nach Aussage der DB Netz AG liegt dies im Wesentlichen daran, dass vielen Entgleisungen zunächst ein Aufprall voraus geht. Die Anteile der anderen Kategorien sind deutlich geringer. Die Kategorie Brand stellt 9 % der betrachteten Bahnbetriebsunfälle. Zu dieser Unfallkategorie tragen häufig Brände bei, die durch eine "feste Bremse" verursacht worden sind. In den meisten Fällen ist das Triebfahrzeug (TFZ) betroffen.

In der Abb. 3.3 sind die Anteile der verschiedenen Unfallarten an der Gesamtheit relevanter Unfälle in zeitlicher Abhängigkeit als jährliche Werte dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht, dass bei den relevanten Güterzugunfällen die Unfallart Aufprall im dargestellten Zeitraum deutlich angestiegen ist. Der Anteil der Unfallart Brand und Explosion ist im Wesentlichen konstant geblieben.



**Abb. 3.3** Anteile der Unfallarten an den relevanten Güterzugunfällen

### 3.3.4 Aufteilung nach Geschwindigkeit

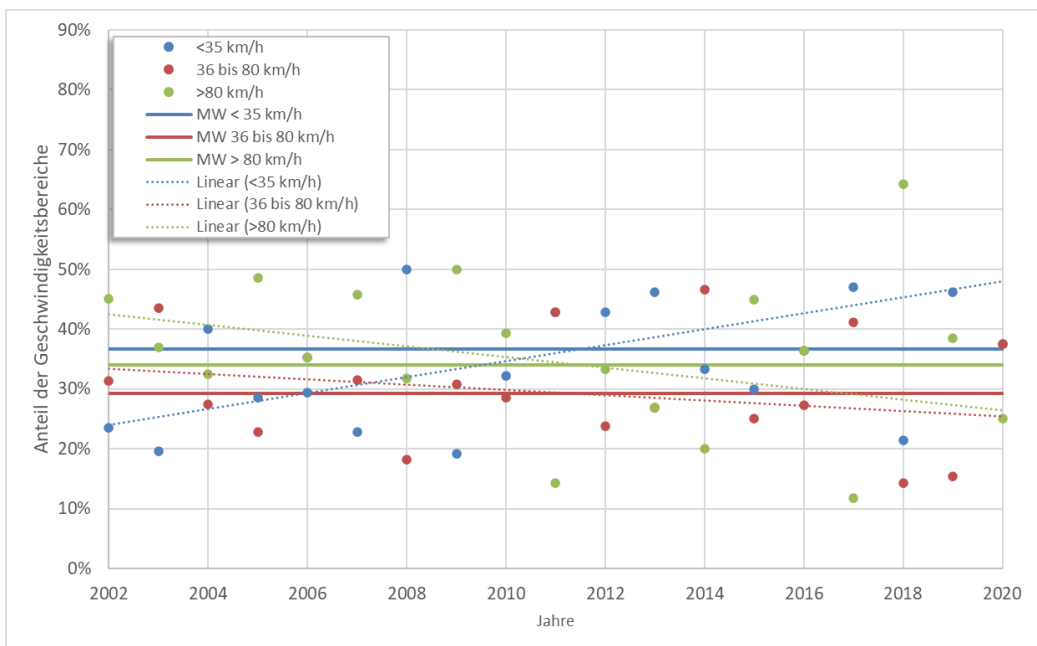
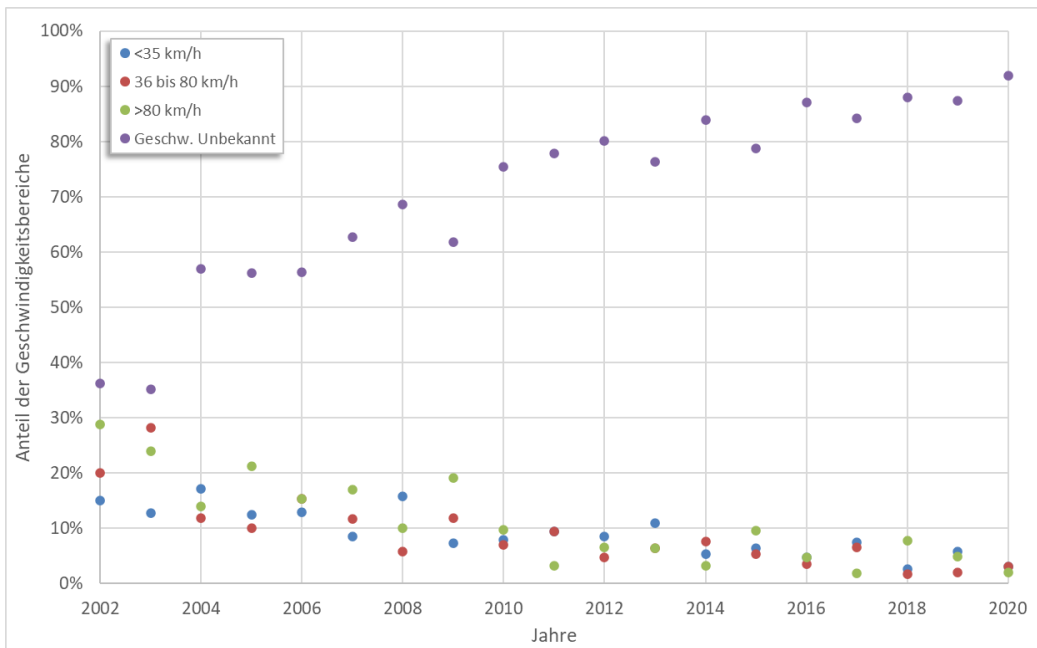
Abb. 3.4 zeigt eine Darstellung für die zeitliche Entwicklung der Anteile von Unfällen, die auf bestimmte Geschwindigkeitsklassen entfallen. Hier wurden die in früheren Auswertungen bereits herangezogenen drei Klassen von 0...35 km/h (I), 36...80 km/h (II) und über 80 km/h (III) ausgewertet. Zusätzlich ist in Abb. 3.4 (oben) auch die zeitliche Entwicklung der Unfälle dargestellt, für die keine Geschwindigkeitsangaben verfügbar sind. Dieser Anteil steigt im betrachteten Zeitraum von unter 55 % auf über 90 %. Aus diesem Grund wurde versucht, die unbekanntes Geschwindigkeiten (konservativ) durch zulässige Geschwindigkeiten auf der jeweiligen Strecke zu ersetzen. Eine Ergänzung der Daten war nach Aussage der DB Cargo, durch die ein Großteil der Güterzüge gefahren wird, mit Verweis auf einen unverhältnismäßig großen Aufwand, nicht möglich.

Die Abb. 3.4 (unten) zeigt eine tendenzielle Zunahme des Anteils von Unfällen im Geschwindigkeitsbereich unter 35 km/h. Die Daten weisen jedoch, auch aufgrund des hohen Anteils an unbekanntes Geschwindigkeiten, eine hohe Unsicherheit auf. Zum Zeitpunkt 2002 ergibt sich aus den Trendlinien eine Aufteilung der Unfälle auf die Geschwindigkeitsbereiche (I):(II):(III) im Verhältnis 24:33:43. Die Mittelwerte weisen jedoch ein Verhältnis von 37:29:34 auf. Eine Analyse unter Zuhilfenahme der zulässigen Geschwindigkeiten (s.o.) ergab ein Verhältnis von 11:33:56, was darauf schließen lässt, dass hierbei unrealistisch viele Unfallereignisse in den höchsten Geschwindigkeitsbereich zugeordnet werden.

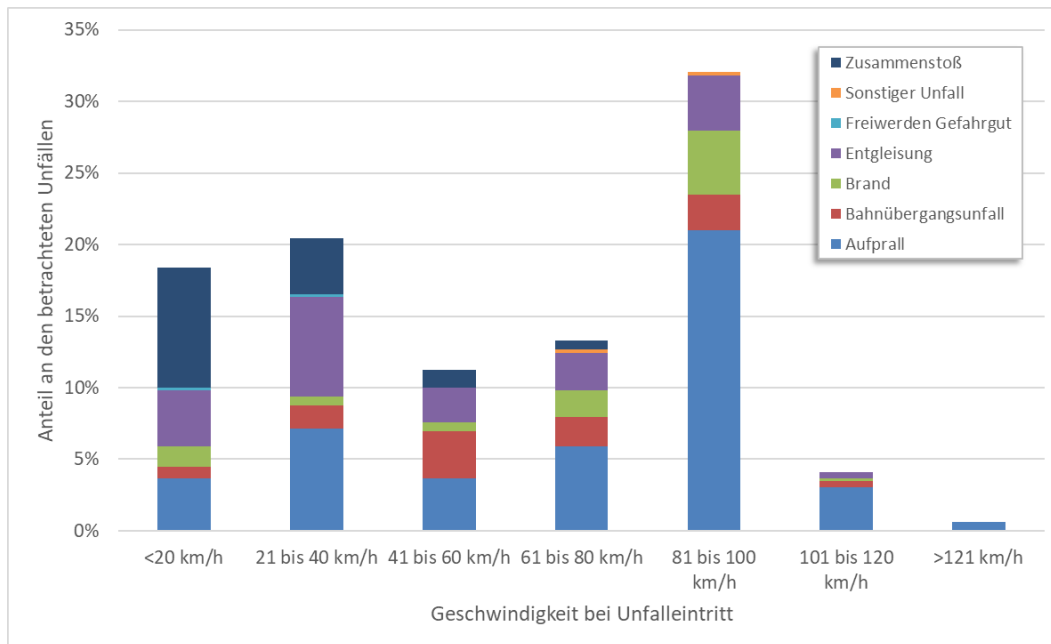
Diese Zusammenhänge lassen sich auch aufgrund der charakteristischen Verteilung der Unfälle auf die Geschwindigkeitsbereiche noch weiter verdeutlichen, die aus der Abb. 3.5 ersichtlich ist. Diese Abbildung zeigt die Anteile der Unfälle in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen mit einer „Breite“ von jeweils 20 km/h. Aus der Gesamthöhe der einzelnen Säulen ergibt sich der Anteil von Unfällen im jeweiligen Geschwindigkeitsintervall. Die Summe der Säulen ergibt demnach 100 %. Die Aufgliederung nach Unfallarten ist durch die Farbstreifen dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Unfallart "Aufprall" am häufigsten im Geschwindigkeitsbereich 81...100 km/h auftritt und dort auch den größten Anteil am gesamten Unfallgeschehen stellt. Diese Unfallart ist nach Aussage der DB Netz AG charakteristisch für die freie Strecke, wo überwiegend hohe Geschwindigkeiten gefahren werden.

Bahnübergangsunfälle waren bei früheren Untersuchungen eher im Geschwindigkeitsbereich über 80 km/h angesiedelt. Hier bestätigt sich der bereits im Rahmen der Auswertungen für die TSK 09 gezeigte Trend, dass eine Verlagerung in die mittleren Geschwindigkeitsbereiche stattfindet. Entgleisungen und auch Zusammenstöße ereignen sich eher im unteren Geschwindigkeitsbereich.



**Abb. 3.4** Anteile der Geschwindigkeitsbereiche an den relevanten Güterzugunfällen inklusive der Geschwindigkeitskategorie „Unbekannt“ (oben) bzw. exklusive der Geschwindigkeitskategorie „Unbekannt“ (unten)

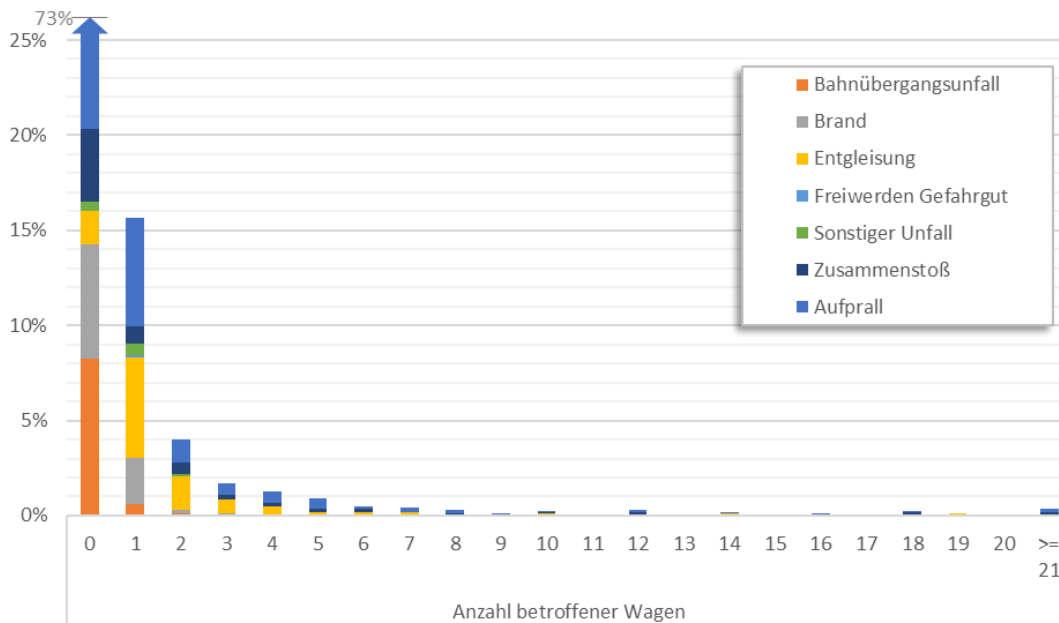


**Abb. 3.5** Anteil der Unfallarten an den Geschwindigkeitsbereichen

### 3.3.5 Anzahl betroffener Wagen

Die vorstehenden Betrachtungen haben sich auf Unfallhäufigkeiten für Güterzüge bezogen. Selbst bei schwersten Güterzugunfällen sind jedoch praktisch nie alle Wagen der betroffenen Züge so stark beeinträchtigt, dass relevante Belastungen für die beförderten Güter zu erwarten sind. Um Risikoabschätzungen für vorgegebene Beförderungsaufkommen, die sich auf eine bestimmte Anzahl von Wagen verteilen, durchführen zu können, ist es daher erforderlich, Wagen-bezogene Unfallraten zu bestimmen. Hierzu wurden in früheren Untersuchungen Abschätzungen zur Anzahl betroffener Wagen bei Unfällen durchgeführt. Entsprechende Angaben waren bis 1996 den statistisch erfassten Unfalldaten nicht zu entnehmen. Seit 1997 werden die Sachschäden jedoch fahrzeugspezifisch erfasst, so dass bei jedem Unfall die Anzahl der betroffenen Wagen bestimmt werden kann. Allerdings war bei Unfällen mit mehreren betroffenen Zügen in der Regel keine eindeutige Zuordnung der betroffenen Wagen zu den einzelnen Zugeinheiten möglich, so dass die Angaben Ereignis-bezogen und nicht Zug-bezogen (wie bei den vorstehenden Auswertungen) ermittelt wurden.

Das Diagramm in Abb. 3.6 gibt in Abhängigkeit von der Unfallart den Anteil von Unfällen an, bei dem eine bestimmte Anzahl von Wagen betroffen war. Die Summe aller Säulenhöhen addiert sich zu 100 %. Ein Wagen gilt als betroffen, wenn der Sachschaden des einzelnen Wagens die Relevanzgrenze von 1.500 € überschreitet.



**Abb. 3.6** Anzahl betroffener Wagen bei relevanten Güterzugunfällen (Abhängigkeit von der Unfallart)

Abb. 3.6 ist zu entnehmen, dass in seltenen Fällen auch mehr als 20 betroffene Wagen festgestellt wurden, nur 3 % der betrachteten Unfälle führen jedoch zu mehr als 5 betroffenen Wagen.

Wichtig ist die mit "0" betroffene Wagen beschriftete Kategorie, d.h. dass nur das Triebfahrzeug relevant betroffen ist. Auf diese Kategorie entfallen insgesamt 73 % aller betrachteten Unfälle. Es ist zu beachten, dass im Diagramm die erste Säule stark eingekürzt ist, um eine bessere Auflösung bei der Darstellung der übrigen Kategorien zu erreichen. Bei diesem erheblichen Anteil von mehr als zwei Dritteln aller Unfälle braucht eine Lasteinwirkung auf das Transportgut, bei der im Fall der Beförderung radioaktiver Stoffe eine Freisetzung zu befürchten wäre, in der Regel nicht angenommen zu werden.

Unfallarten, bei denen besonders häufig kein Wagen relevant betroffen ist, sind Aufprall, Zusammenstoß, Brand und Bahnübergangsunfall. Bei Aufprall und Zusammenstoß und Bahnübergangsunfall erklärt sich dies daraus, dass in der überwiegenden Anzahl dieser Unfälle das bei Güterzügen in der Regel vorausfahrende TFZ aufgrund seiner großen Masse Belastungen von den nachfolgenden Wagen fernhält.

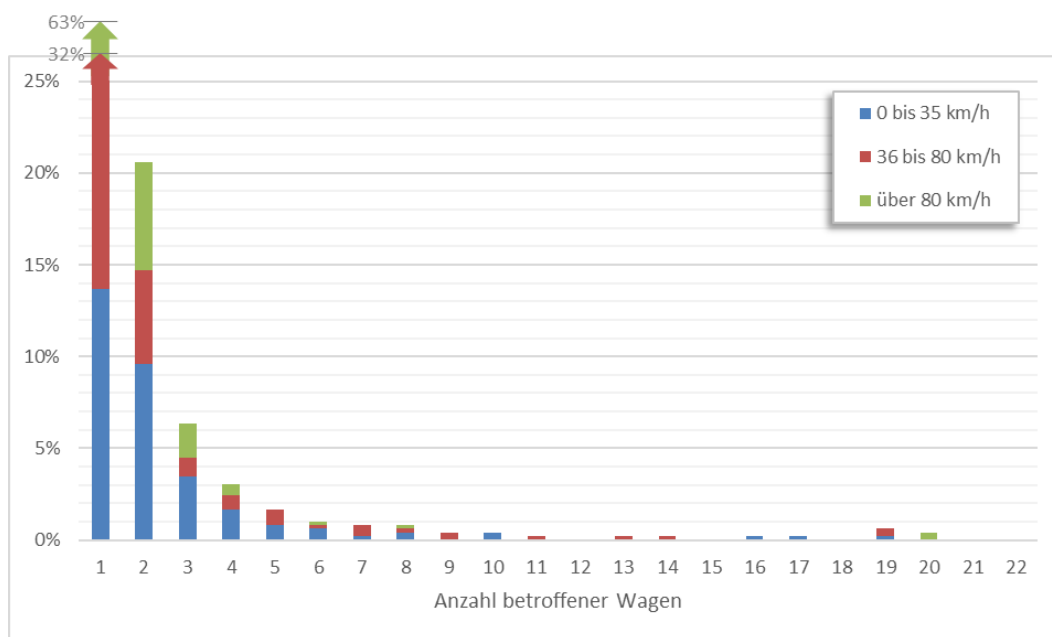
Bestätigt hat sich auch die in /GRS 91/ bereits gefundene Tatsache, dass bei Bränden, die an Wagen entstehen, nur in seltenen Fällen eine Beeinträchtigung weiterer Wagen



beobachtet wird. Es wurden nur sechs Brandereignisse mit mehr als einem betroffenen Wagen festgestellt (4 Ereignisse mit 2 und 2 Ereignisse mit 3 betroffenen Wagen).

In Abb. 3.7 sind die Anteile von Unfällen mit einer bestimmten Anzahl betroffener Wagen in Abhängigkeit von der Unfallgeschwindigkeit dargestellt, wobei nach den drei Geschwindigkeitsklassen 0...35 km/h, 36...80 km/h und über 80 km/h unterschieden wird. In dieser Darstellung fehlen die Unfälle, bei denen die Unfallgeschwindigkeit unbekannt ist, was, wie oben erwähnt, einen großen Teil der Unfallereignisse ausmacht. Auch in diesem Diagramm ist die erste Säule zwecks besserer Auflösung verkürzt dargestellt.

Insgesamt ist keine Korrelation der höchsten Geschwindigkeitsstufe mit vielen betroffenen Wagen feststellbar. Einschränkend muss hierzu allerdings festgestellt werden, dass bei einer hohen Anzahl an Ereignissen die Geschwindigkeit bei Unfalleintritt nicht bekannt ist und diese somit auch nicht in Abb. 3.7 dargestellt werden konnten.



**Abb. 3.7** Anzahl betroffener Wagen bei relevanten Güterzugunfällen (Abhängigkeit von der Geschwindigkeit)

### 3.3.6 Wagen-bezogene Unfallrate

Für Zwecke der Risikoanalyse kann aus den Ergebnissen die mittlere Anzahl betroffener Wagen sowie eine Wagen-bezogene Unfallrate ermittelt werden. Die mittlere Zahl betroffener Wagen ist in Tab. 3.3 in Abhängigkeit von der Unfallart angegeben. Als Gesamtmittelwert für alle Unfallarten ergibt sich ein Wert von 0,77 betroffenen Wagen pro

Unfall, normiert auf die Gesamtzahl der Unfälle, einschließlich der Unfälle bei denen kein Wagen betroffen gewesen ist. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem im Rahmen der Analysen der TSK 09 ermittelten Wert von 0,72 betroffenen Wagen pro Unfall. Der Anteil der Fälle bei denen kein Wagen (nur das Triebfahrzeug) betroffen ist, ist in Spalte 2 der Tabelle separat ausgewiesen.

**Tab. 3.3** Mittlere Anzahl betroffener Wagen und Wagen-bezogene Unfallrate

<b>Mittlere Anzahl betroffener Wagen mit Sachschaden über 1500 € bei Güterzugunfällen im Zeitraum 2002 bis 2020</b>		
<b>Unfallart</b>	<b>kein Wagen betroffen</b>	<b>Mittlere Anzahl betroffener Wagen</b>
Aufprall	53,1%	0,47
Bahnübergangsunfall	8,2%	0,16
Brand	6,0%	0,36
Entgleisung	1,8%	2,23
Freiwerden Gefahrgut	0,0%	1,00
Sonstiger Unfall	0,5%	0,70
Zusammenstoß <sup>1</sup>	3,8%	2,22
<b>Insgesamt</b>	<b>73,4%</b>	<b>0,77</b>

<sup>1</sup> Gesamtzahl betroffener Wagen an allen unfallbeteiligten Zügen

### 3.3.7 Belastungsklassen

In Bezug auf mögliche Unfallauswirkungen sind die unfallbedingt auftretenden mechanischen und/oder thermischen Belastungen der Abfallgebände wesentlich. Diese bestimmen in Verbindung mit den Eigenschaften des Abfallbehälters und des darin befindlichen Abfallproduktes (z. B. Zement/Beton, Presslinge etc.) das Ausmaß der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung. Hier ist naturgemäß ein sehr großes Spektrum an Unfallbelastungen möglich. Diese können von geringfügigen bis zu sehr hohen mechanischen und thermischen Beaufschlagungen der Abfallbehälter reichen.

Im Rahmen der TSK 91 und der TSK 09 wurden Belastungsklassen mit Merkmalen gemäß Tab. 3.4 gewählt (vgl. auch Kapitel 2). Die wesentlichen Bestimmungsgrößen des Schemas sind die Aufprallgeschwindigkeit und die den thermischen Energieeintrag bestimmende Branddauer und -temperatur.

**Tab. 3.4** Definitionsschema der neun Belastungsklassen

Aufprallgeschwindigkeit	Branddauer und -temperatur		
	ohne Brand	30 min / 800 °C Brand	60 min / 800 °C Brand
≤ 35 km/h	BK 1	BK 2	BK 3
36 – 80 km/h	BK 4	BK 5	BK 6
≥ 80 km/h	BK 7	BK 8	BK 9

Als Maß für die mechanische Belastung wird die Fahrgeschwindigkeit des Abfalltransports angegeben, bei der sich der Transportunfall ereignet. Die thermische Belastung der Abfallgebinde wird durch den Brandzeit-Temperaturverlauf charakterisiert, wobei unterstellt wird, dass das Abfallgebinde dem Schadensfeuer bei einer Temperatur von 800 °C für 30 min (BK 2, BK 5 und BK 8) bzw. 60 min (BK 3, BK 6 und BK 9) allseitig ausgesetzt wird. Ohne umfangreiche Analysen im Einzelfall ist es schwierig, die erfassten Güterzugunfälle mit Brand den beiden Klassen von Brandbelastungen zuzuordnen. Wie in Kapitel 2 erwähnt, wurde im Rahmen der TSK 09 daher die Aufteilung sehr konservativ abgeschätzt, indem ein Drittel der Unfälle dem Referenzbrand von 60 Minuten Dauer und zwei Drittel dem Referenzbrand von 30 Minuten Dauer zugeordnet wurden.

Im Rahmen der TSK 09 wurde die in Tab. 2.1 dargestellte anteilmäßige Aufteilung von Güterzugunfällen mit einem Sachschaden von mehr als 1500 € ermittelt. Der Anteil der Unfallart Brand (und Explosion) betrug im Mittel 11,7 % aller erfassten Unfälle. Zur Sicherstellung einer Konservativität sind hierin auch Ereignisse enthalten, deren Voraussetzungen beim Transport radioaktiver Stoffe nicht gegeben sind. Der Wert bezieht sich auf die registrierten Primäreignisse ohne vorangehende mechanische Einwirkung. Brände als Folge einer vorangehenden mechanischen Einwirkung sind demgegenüber viel seltener. Aussagen hierüber konnten nur anhand einer erweiterten Untersuchung aus den Jahren 1983 bis 1987 getroffen werden, weil der allgemeine statistische Datenbestand eine Identifizierung solcher Unfälle nicht ermöglichte. Bei den von der erweiterten Untersuchung erfassten 196 Ereignissen wurde eine kombinierte mechanisch/thermische Einwirkung nur bei drei Güterzügen (zwei Unfälle, bei denen in einem Fall zwei Züge vom Brand betroffen waren) festgestellt. Um sicherzustellen, dass diese seltenen, potenziell aber folgenschweren Ereignisse bei der Risikoanalyse konservativ berücksichtigt sind, wurde der beobachtete Wert als besonders niedrig im Rahmen der zu erwartenden statistischen Schwankungen interpretiert. Für die Zwecke der Unfallrisikoanalyse wurde stattdessen der statistische Erwartungswert einer Wahrscheinlichkeitsverteilung verwendet, bei der die beobachtete Unfallanzahl die untere Grenze des 95 %-

Vertrauensbereiches darstellt. Im Ergebnis läuft das auf etwa eine Verdopplung der Unfallhäufigkeit von Güterzügen mit einem Brand als Folge vorangehender mechanischer Einwirkung gegenüber der tatsächlich beobachteten Häufigkeit hinaus.

Eine analog zur TSK 09 durchgeführte Analyse der Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020 führt zu den in Tab. 3.5 dargestellten relativen Häufigkeiten der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen. Hierbei wurden ausschließlich Unfallereignisse betrachtet, bei denen Angaben zu Geschwindigkeiten vorlagen. Der Anteil der Unfallart Brand beträgt hierbei im Mittel 8,9 % aller erfassten Unfälle. Auch hierbei wurde konservativ eine Zuordnung von einem Drittel der Unfälle zu dem Referenzbrand von 60 Minuten Dauer und zwei Dritteln zu dem Referenzbrand von 30 Minuten Dauer unterstellt.

**Tab. 3.5** Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen (Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020)

Aufprallgeschwindigkeit	Branddauer und -temperatur		
	ohne Brand	30 min / 800 °C Brand	60 min / 800 °C Brand
≤ 35 km/h	0,311 (BK 1)	$5,94 \cdot 10^{-2}$ (BK 2)	$2,97 \cdot 10^{-2}$ (BK 3)
36 – 80 km/h	0,267 (BK 4)	$5,51 \cdot 10^{-3}$ (BK 5)	$2,75 \cdot 10^{-3}$ (BK 6)
≥ 80 km/h	0,315 (BK 7)	$6,50 \cdot 10^{-3}$ (BK 8)	$3,25 \cdot 10^{-3}$ (BK 9)

Die in Tab. 3.5 dargestellten Häufigkeiten bestätigen den im Rahmen der TSK 09 festgestellten Trend einer Verschiebung des Unfallgeschehens zu höheren Unfallgeschwindigkeiten. Jedoch sind die ermittelten Häufigkeiten aufgrund der oben erwähnten Tatsache, dass für einen großen Teil der Unfalldaten keine Geschwindigkeitsangaben verfügbar sind (vgl. Abschnitt 3.3.4), mit einer großen Unsicherheit behaftet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die fehlenden Daten vorzugsweise Unfallereignisse mit niedrigen bzw. hohen Geschwindigkeiten beinhalten. Um eine konservative Abschätzung (hin zu höheren Geschwindigkeiten) der Zuordnungen zu den einzelnen Geschwindigkeitsbereichen zu gewährleisten, kann deshalb eine Aufteilung der Unfälle auf die Geschwindigkeitsbereiche ( $\leq 35$  km/h):(36 – 80 km/h):(≥ 80 km/h) im Verhältnis 24:33:43 unterstellt werden. Wie in Abschnitt 3.3.4 beschrieben ergibt sich dieser Anteil aus den in Abb. 3.4 dargestellten Trendlinien. Unter dieser Annahme ergibt sich die in Tab. 3.6 dargestellte anteilmäßige Aufteilung von Güterzugunfällen mit einem Sachschaden von mehr als 1.500 € in die neun Belastungsklassen.

**Tab. 3.6** Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen mit konservativer Abschätzung der Geschwindigkeitsbereiche (Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020)

Aufprallgeschwindigkeit	Branddauer und -temperatur		
	ohne Brand	30 min / 800 °C Brand	60 min / 800 °C Brand
≤ 35 km/h	0,219 (BK 1)	$6,14 \cdot 10^{-2}$ (BK 2)	$3,07 \cdot 10^{-2}$ (BK 3)
36 – 80 km/h	0,301 (BK 4)	$6,20 \cdot 10^{-3}$ (BK 5)	$3,10 \cdot 10^{-3}$ (BK 6)
≥ 80 km/h	0,391 (BK 7)	$8,08 \cdot 10^{-3}$ (BK 8)	$4,04 \cdot 10^{-3}$ (BK 9)

## 4 Zusammenfassung

Aus den von der DB AG zur Verfügung gestellten detaillierten Daten zu Unfallereignissen im Eisenbahngüterverkehr konnte eine Aktualisierung der Datengrundlage zur Ermittlung von Unfallhäufigkeiten im Eisenbahngüterverkehr in Deutschland für zukünftige Transportstudien erfolgen.

Durch die Analyse der zeitlichen Entwicklung von Unfallraten konnte ein Wert von 0,39 Unfällen pro 1 Million Güterzug-km ermittelt werden, der etwas höher, aber vergleichbar mit der in /GRS 10/ dargestellten Gesamtunfallrate von 0,36 Unfällen pro 1 Million Zug-km ist.

Der Anteil der Unfallart Brand betrug im Mittel 8,9 % aller erfassten Unfälle. Dieser Wert ist etwas geringer, aber vergleichbar mit dem im Rahmen der Analysen zur TSK 09 ermittelten Wert von 11,7 %.

Im Rahmen der Analyse der Unfalldaten stellte sich jedoch heraus, dass bei dem überwiegenden Teil der Daten keine Angaben zu Geschwindigkeiten verfügbar sind. Daraufhin wurde der Ansprechpartner der DB Cargo, von der ein Großteil der Güterzüge betrieben wird, durch die GRS kontaktiert. Eine Ergänzung der Daten war nach Aussage der DB Cargo aber nicht möglich, da dies einen erheblichen Aufwand bedeuten und ggf. nicht für alle Unfalldaten möglich ist.

Bei einer analog zur TSK 09 durchgeführten Analyse der Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020 konnten relative Häufigkeiten der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen berechnet werden. Aufgrund fehlender Angaben zu Geschwindigkeiten wurde hierbei eine konservative Abschätzung der Zuordnungen zu den einzelnen Geschwindigkeitsbereichen gemacht.

Die nunmehr seit 1979 vorliegenden Auswertungsergebnisse der Unfallstatistik im Güterzugverkehr zeigen, dass für einige wichtige Parameter stabile Trends erkennbar sind. Andererseits zeigen sich, bedingt durch Veränderungen im Verkehrsaufkommen, Änderungen im Unfallaufkommen im Eisenbahngüterverkehr, was eine Aktualisierung dieser Erhebungen in entsprechend längerfristigen Zeiträumen, z. B. in 10-jährigen Perioden, sinnvoll macht, um eine aktuelle Datenbasis für Transportrisikoanalysen vorzuhalten.



## Literaturverzeichnis

- /GRS 91/ Lange, F., Gründler, D., Schwarz, G.: Transportstudie Konrad: Sicherheitsanalyse des Transports radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad. GRS-84, 164 S., ISBN 3-923875-34-7, Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Juli 1991.
- /GRS 10/ Sentuc, F.-N., Brücher, W., Büttner, U., Fett, H.-J., Lange, F., Martens, R., Schmitz, B. M., Schwarz, G.: Transportstudie Konrad 2009, Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-256, 190 S., ISBN 978-3-939355-31-1: Köln, 2010.
- /IAEA 14/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series, GSR Part 3: Wien, Österreich, 2014.
- /IAEA 18/ IAEA: Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards, Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev.1). Hrsg.: International Atomic Energy Agency (IAEA): Vienna, Austria, 2018.





## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1	Zeitliche Entwicklung der Gesamtunfallrate für Güterzüge.....	11
Abb. 3.2	Abhängigkeit der ermittelten Unfallzahlen von der Höhe der gewählten monetären Relevanzgrenze.....	12
Abb. 3.3	Anteile der Unfallarten an den relevanten Güterzugunfällen .....	13
Abb. 3.4	Anteile der Geschwindigkeitsbereiche an den relevanten Güterzugunfällen inklusive der Geschwindigkeitskategorie „Unbekannt“ (oben) bzw. exklusive der Geschwindigkeitskategorie „Unbekannt“ (unten).....	15
Abb. 3.5	Anteil der Unfallarten an den Geschwindigkeitsbereichen.....	16
Abb. 3.6	Anzahl betroffener Wagen bei relevanten Güterzugunfällen (Abhängigkeit von der Unfallart).....	17
Abb. 3.7	Anzahl betroffener Wagen bei relevanten Güterzugunfällen (Abhängigkeit von der Geschwindigkeit) .....	18



## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen (Unfalldaten der Jahre 1995-2001) .....	4
Tab. 3.1	Übersicht über die Auswertung von Bahnbetriebsunfällen im Güterzugverkehr 2002 bis 2020 .....	9
Tab. 3.2	Zugkilometer im Güterzugverkehr auf der Infrastruktur der DB AG .....	10
Tab. 3.3	Mittlere Anzahl betroffener Wagen und Wagen-bezogene Unfallrate .....	19
Tab. 3.4	Definitionsschema der neun Belastungsklassen .....	20
Tab. 3.5	Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen (Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020) .....	21
Tab. 3.6	Relative Häufigkeit der neun Belastungsklassen bei Güterzugunfällen mit konservativer Abschätzung der Geschwindigkeitsbereiche (Unfalldaten der Jahre 2002 bis 2020) .....	22

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)