

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

DZSF-Stellungnahme

Risikobewertung der besonders großen Tankcontainer von BASF

12. Tagung der Ständigen Arbeitsgruppe des
RID-Fachausschusses, 26.11.2020



Einleitung

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Für die Untersuchung lagen unter anderem die Unterlagen der Risikobewertung von BASF (Dokument INF.4) und der unterstützende Bericht zur Risikobewertung der TU Berlin vor, die die Grundlage dieser Stellungnahme darstellen.

Das Dokument INF.4 beinhaltet die Signifikanzprüfung, die Risikobewertung der TU Berlin beinhaltet eine ausführliche Beschreibung der ermittelten Gefährdungen und die Dokumentation der durchgeführten Experimente.

Das DZSF hat die zugrundeliegenden Untersuchungen einer unabhängigen Analyse unterzogen. Die Ergebnisse, Anregungen und Schlussfolgerungen dieser Prüfung sind hier kurz zusammengefasst.

Einleitung

BASF Class Tank Container (B-TC)



45' (L4BH) 63.000 Liter, 66 t Payload



52' (L4BH) 73.500 Liter, 66 t Payload



45' (L4BH) 53.500 Liter, 66 t Payload



45' (L4DH) 62.500 Liter, 66 t Payload

Specification	L4BH	L4BH	L4BH	L4DH	L10BH	L10DH
		standard			specialized	
Length [ft]	45	45	52	45	45	45
Volume [l]	63.000	53.500	73.000	62.000	63.000	62.000
Heating	X	X	X	-	X	X
Insulation	X	X	X	-	X	X
Lining	-	-	-	X	-	-

➔ Comparison of the new equipment vs. conventional & intermodal equipment



WP 1 - Risikoanalyse

Anmerkungen

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Der Schwerpunkt der Untersuchung von BASF liegt nur auf den technischen Änderungen. Bei der Gefährdungsermittlung werden nicht alle erkannten Schnittstellen vertieft untersucht (z.B. Instandhaltung, SMS).

Aus Sicht des DZSF stellen B-TC in Verbindung mit iCTW durchaus eine sicherheitsrelevante und signifikante Änderung aufgrund möglicher Folgen von Ausfällen, der Komplexität sowie des Innovationsgrades dar.

Die Prüfung des neuen Systems entspricht grundsätzlich den Anforderungen der CSM-RA. Es fehlen jedoch Hinweise zu:

- Quellen, Experten und Erfahrungen, die die Basis der Gefährdungsermittlung darstellen
- Gefährdungen im Bereich von Tunnelfahrten, Unfallszenarien oder Umwelteinflüssen

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen

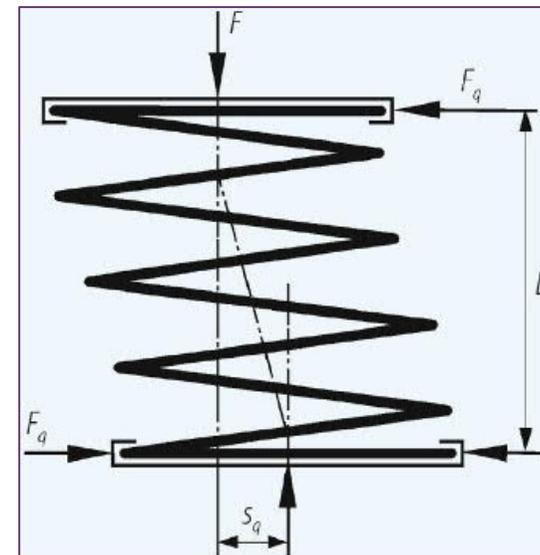
Überblick

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



- Ziel: Untersuchung der Fahrsicherheit unter Einbeziehung von Schwallbewegungen
- Verwendung des vereinfachten Prüfverfahrens nach DIN EN 14363
- dazu: Ermittlung der Radsatzlagerquerkraft F_q
- durch Berechnung von:
 - der Primärfederkraft F mit Sensormesswerten aus der Deformierung der Primärfedern
 - des Querwegs s_q aus der Federlänge L und geometrischen Beziehungen
- Beurteilungsgröße der Fahrsicherheit:
Verhältnis von F_q mit Grenzwert des vereinfachten Prüfverfahrens mit H-Kraft nach DIN EN 14363

$$F_q = \frac{s_q}{\frac{1}{F} \left(\frac{2}{\chi} \tan \left(\frac{\chi * L}{2} \right) - L \right) + \frac{L}{S}}$$



Quelle: BASF RA, WP2, S.89, Abb. 18

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen Anwendungsbereich Norm

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Die normgerechte Anwendung des vereinfachten Verfahrens ist unklar, weil

- dieses laut DIN EN 14363:2019-11, Abschnitt 7.2.2, nur auf Fahrzeuge mit konventioneller Technologie anwendbar ist.

Die Autoren selbst bezeichnen ihre Systeme explizit als nicht konventionell.

- dies nur bis zu einer maximalen nominalen statischen Radsatzaufstandskraft von 200 kN anwendbar ist

Bei einer zulässigen Gesamtmasse von 90 t liegt die Radsatzaufstandskraft jedoch bei Annahme einer gleichmäßigen Radsatzlastverteilung bei 220,725 kN.

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen Methodik

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Die Verlässlichkeit der hergeleiteten Werte ist aufgrund mehrerer experimenteller und methodischer Auffälligkeiten zumindest fragwürdig, z.B. wegen

- Entfernung eines Elastomerteils und pauschalisierte Korrektur der Querbewegung (hier um 43%)
- Bemerkung, dass ein Verschiebungssensor um 80% verminderte Werte anzeigt und ein entsprechender Korrekturfaktor verwendet wurde

Keinerlei Beschreibung einer Datenbasis für diese Schätzungen und keine Aussagen zu statistischen Unsicherheiten



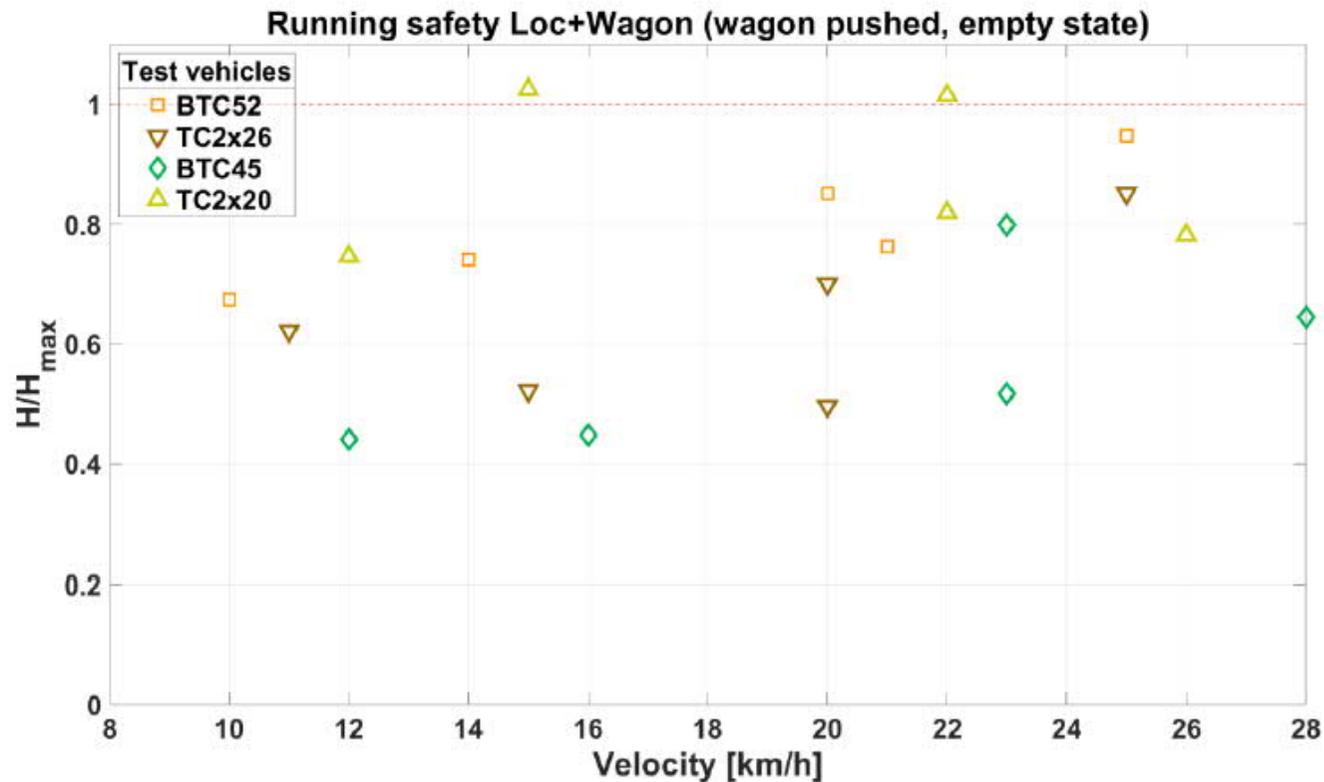
Quelle: BASF RA, WP2, S.96, Abb. 23

- Weitere Auffälligkeiten bezüglich der Kräftemessung (z.B. bezüglich der Berücksichtigung der Abweichungen in der Federsteifigkeit)

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen

Messunsicherheit

Mangelnde Berücksichtigung numerischer Fehlerfortpflanzungen von Messunsicherheiten sowie statistischer Unsicherheiten in der Kräfteberechnung.

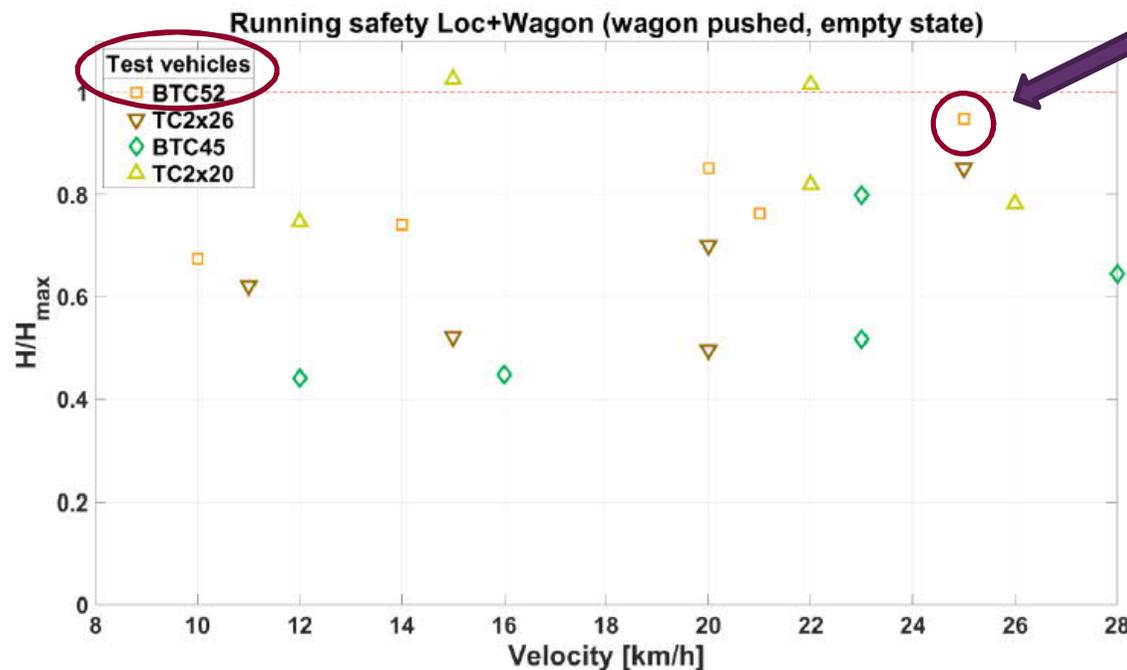


Quelle: BASF RA, WP2, S.103, Abb. 32

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen

Messunsicherheit

Mangelnde Berücksichtigung numerischer Fehlerfortpflanzungen von Messunsicherheiten sowie statistischer Unsicherheiten in der Kräfteberechnung.



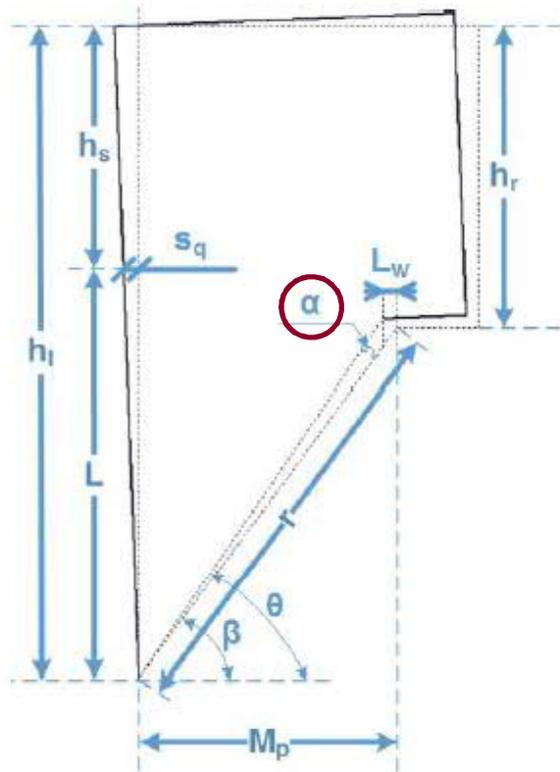
maximales Verhältnis
bezüglich kritischem Wert: 0.93

- keine Berücksichtigung der Fehlertoleranzen der Messgeräte
- keine Berücksichtigung der empirischen Varianz mehrerer Messungen
- unklare Herleitung der dargestellten Messpunkte aus experimentellen Zeitreihen

Quelle: BASF RA, WP2, S.103, Abb. 32

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen

Messunsicherheit



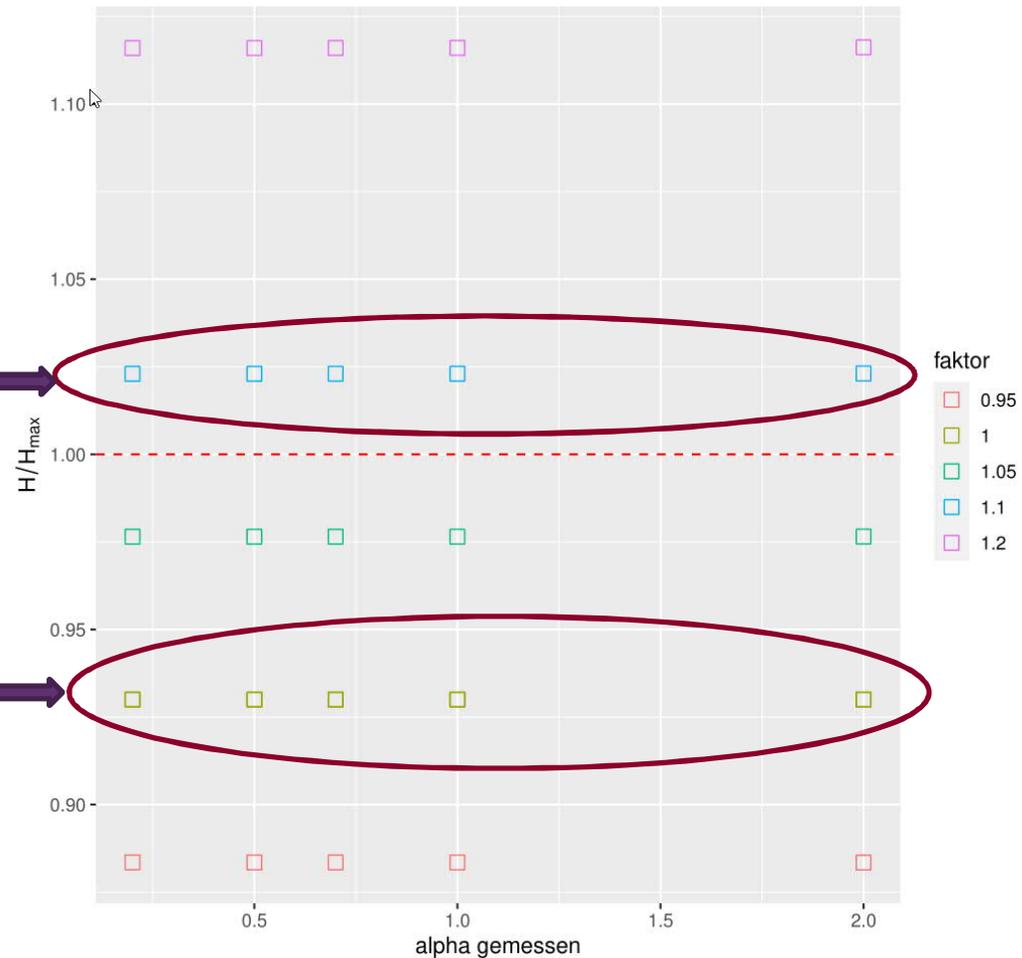
Beispiel: Messunsicherheit des Neigungswinkels α

- Quersfederweg $s_q = L \tan \alpha$
- Berechnung von α aufgrund fehlender Originaldaten nicht nachvollziehbar
- eigene Analyse: Abhängigkeit des Kriteriums der Fahrsicherheit von Unsicherheiten bezüglich α

WP 2 - Untersuchung der Schwallbewegungen

Messunsicherheit

Vereinfachtes Entgleisungskriterium
unter Messunsicherheiten von alpha



falls wahrer Winkel 10% größer



falls Winkel exakt wie abgetragen



WP 3 – MKS zu Schwallbewegungen

Überblick

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim

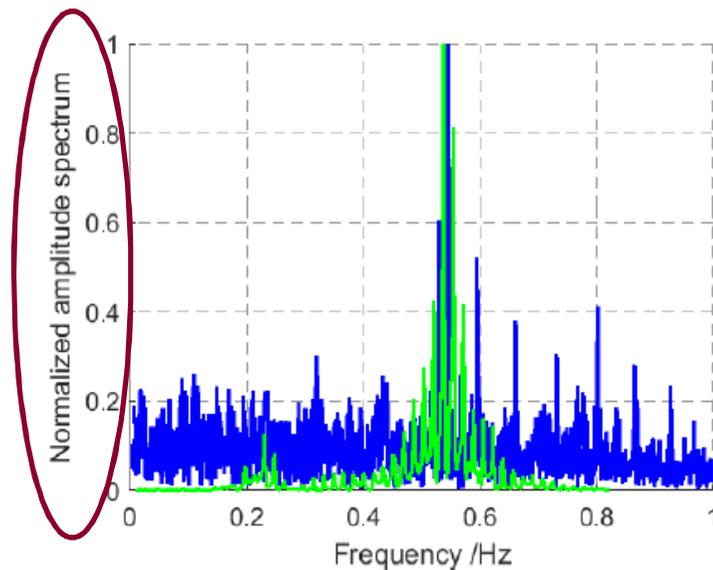


- Ziel: Untersuchung der Auswirkung von Schwallbewegungen auf
 - Ladungsverluste (Verlust des Containers)
 - Schäden an Fahrzeug und Container
 - Entgleisungssicherheit.
- dazu: Erstellung von Mehrkörper-Simulationsmodellen (MKS) verschiedener Konfigurationen von Tragwagen, herkömmlichen Tankcontainern, B-TC sowie Kesselwagen
- Simulationen der Befahrung verschiedener Gleisanordnungen der Fahrzeuge

WP 3 – MKS zu Schwallbewegungen Modellvalidierung

Es wird dargestellt, dass im Modell sowohl in Fahrt- wie auch in Querrichtung die in WP 2 gemessenen Eigenfrequenzen abgebildet werden, jedoch

- keine Diskussion, ob auch Amplitude und Phasenlage der Schwallbewegung reproduziert werden (keine Darstellung, lediglich normalisierte Amplituden nach Fourier-Transformation)



Quelle: BASF RA, WP3, S.278, Abb. 17

Eine Validierung mit nicht-normalisierten Mess- und Simulationsdaten wäre wünschenswert, da insbesondere die Kraftamplitude der durch den Schwall hervorgerufenen Kräfte von Bedeutung ist.

WP 3 – MKS zu Schwallbewegungen

Modellrepräsentativität

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Die Simulationen bilden hinsichtlich des grundsätzlichen Aufbaus und bezüglich der Parameter keinen repräsentativen Einsatz der Tankcontainer ab, da

- lediglich das Ladegut Wasser abgebildet wird

In der Praxis werden Gefahrgüter transportiert, die in Bezug auf Dichte und Viskosität abweichen können. Eine Parameterstudie zur Abhängigkeit der Entgleisungssicherheit von diesen Größen fehlt.

und

- die Untersuchung des verwendeten Füllstandes nicht allumfänglich ist (lediglich 0%, 50%, 100%).

Eine Parameterstudie mit kleinschrittiger Variation des Füllstandes wäre vorteilhaft, vor allem im Anbetracht der Schlussfolgerung des Betriebs mit beliebigen Füllständen.

WP 3 – MKS zu Schwallbewegungen Abheben des Containers

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Als ein zweifelhaftes Ergebnis wird ein Abheben des Containers verneint, wobei die Grenze einer zulässigen Vertikalbewegung auf die Höhe der Tragzapfen festgelegt wird.

- diese Festlegung ist nicht mit Quellen belegt
- fragwürdig: eine freie Flugbewegung des Containers ca. 10 cm über dem Tragwagen als zulässiger Zustand
 - in diesem Fall keine lateralen Kräfte mehr zwischen Tragwagen und Container
 - zusätzliche Beschleunigungen führen zu einem unweigerlichen Verlust des Containers
- hilfreich: Vergleich der Aufstandskräfte des Containers mit den max. auftretenden Führungskräften (vergleichbar mit dem Entgleisungskriterium Y/Q) oder mit der Rutschsicherheit im allg. Maschinenbau)

WP 4 – FEM-Simulationen

Überblick

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



- Untersuchung des Crashverhaltens von Tragwagen mit B-TC im Vergleich zu herkömmlichen Tankcontainer- bzw. Kesselwagen.
- Instrument: FEM-Simulationen
- Modelle sind an die experimentellen Untersuchungen des AP 5 angelehnt und bilden die Unfallszenarien Flankenfahrt und Überpufferung ab

Bild für Veröffentlichung entfernt

Quelle: BASF RA, WP4, S.362

WP 4 – FEM-Simulationen

Festigkeitskriterium

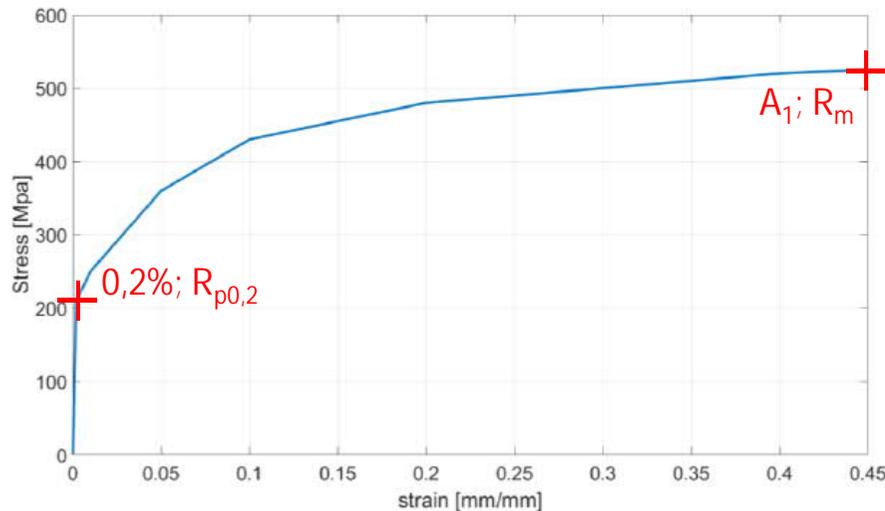


Table 9 Summary of side-on simulations,

		TW-BTC45 VH	TW-BTC45 GM	TW-TW	TW- Conventional
A₁/Maximum Strain	Investigated container	50/41.8	48/44.3	35/55.2	43/12.2
	safety reserve of investigated container	16.4%	7.8%	-57.7%	71.6%
Derailment [mm]	Stationary car body	20/33.2	20/23.2	20/26.7	20/33.0
	Impacting container	35/7.0	35/23.1	35/35.1	35/4.3
	Impacting car body	20/25.6	20/26.3	20/12.7	20/30.1
Derailment [mm]	In lateral direction	90	530	125	540
	In driving direction	1,740	1,730	880	2,275
		4,560	4,610	5,520	3,950

Als Festigkeitskriterium wurde das Erreichen der Bruchdehnung A_1 gewählt

- Üblich sind Nachweise auf Basis der Spannungen (hier nicht anwendbar aufgrund großer plastischer Deformationen)
- Üblich sind Mindestsicherheiten $\geq 1,2$ (~20% Reserve)

Die Mindestsicherheit sollte hier deutlich größer als 1,2 gewählt werden:

- Aufgrund des ungewöhnlichen Nachweisverfahrens (Vergleich der Dehnungen anstelle von Spannungen)
- Aufgrund des nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Diagramms (Sicherheitsreserve spannungsbezogen \neq dehnungsbezogen)
- Aufgrund unsicherer Werkstoffkennwerte (statistische Überlebenswahrscheinlichkeit P_u von A_1)

WP 4 – FEM-Simulationen

Weitere Modellierungsgrenzen

- Werden die lokalen Beanspruchungen der Strukturen ausreichend genau abgebildet (Kerbwirkungen, Vernetzungsstudie)?
- die Modellierung der Schweißnähte ist nicht beschrieben, obwohl die Belastungen gerade dort besonders groß sind (Kerbwirkungen, Versagensgrenze?)
- Zur Untersuchung, ob Belastungen aufgrund von Schwallbewegungen geeignet sind, Schäden hervorzurufen, wird die Kraft der beschleunigten Tankfüllung auf eine Fläche als maßgeblich angesehen. Diese Bezugsfläche ist unklar.

- Vergleichbar mit einer mittleren Flächenpressung.
- Schäden aufgrund der beschleunigten Tankfüllung sind jedoch nicht durch die Flächenpressung zu erwarten, sondern durch daraus entstehende Zusatzlasten in der Struktur, wie z.B. Biegespannungen in der Tankhülle oder Spannungskonzentrationen an Aufhängungspunkten (nicht betrachtet)

Table 14 Load status and acceleration

$$\sigma = \frac{m * a}{A}$$

	Load status	Mass of fluid [t]	Max. Acceleration/g	Area [mm ²]	Stress on bottom [MPa]	Yield strength [MPa]
WP2						
B-TC	50%	31.50	3.00	3,122,465	0.30	290
B-TC	95%	59.80	2.50	6,244,930	0.23	290

WP 4 – FEM-Simulationen Kollisionsszenarien

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Sowohl für die untersuchten Kollisionsszenarien als auch für die gewählten Kollisionsgeschwindigkeiten wurde nicht dargelegt, warum genau diese Bedingungen als relevant angesehen werden.

- für das Szenario der Flankenfahrt bleibt unklar, ob die relative Lage der Wagen zueinander tatsächlich den höchsten zu erwartenden Schaden abbildet.
- gewählte Fahrgeschwindigkeiten orientieren sich an AP 5 und ermöglichen direkten Vergleich
- Keine Herleitung bezüglich der zu überstehenden Kollisionsgeschwindigkeit der Fahrzeuge

Bild für Veröffentlichung entfernt

Quelle: BASF RA, WP4, S.388, Abb. 17

WP 5 - Kollisionsuntersuchung

Kollisionsgeschwindigkeit

Die Kollisionsversuche werden anhand der EN 15227 durchgeführt, jedoch

- umfasst der Anwendungsbereich nur Lokomotiven, Personen- und Steuerwagen, aber nicht explizit Güterwagen
- die in der Norm angegebene Kollisionsgeschwindigkeit beträgt 36 km/h (Fahrzeug-Kategorie C-1, Frontalzusammenstoß identischer Züge, EN 15227, 5.4.2 a))

Table 6: The executed tests

Date	Wagon number	Container number	System	Total mass [t]	Impact velocity [km/h]
02/15/2019	33 80 793 2 719-7	-	TW Zacens	87.8	14.6
02/19/2019	33 85 459 4 034-2	BASD 450355-4	BTC45 GM	84.3	15.0
02/22/2019	33 85 450 5 049-8	KUBU 135 383-4 KUBU 135 384-0	Conventional	91.5	15.1
03/01/2019	33 85 459 4 055-7	BASD 450170-0	BTC45 VH	84.0	15.0
03/04/2019	33 85 450 5 049-8	BASD 450109-0	BTC52 VH	84.0	14.0
03/07/2019	33 85 459 4 034-2	BASD 450214-1	BTC45 VH	84.0	18.6

→ Die dokumentierten Geschwindigkeiten liegen zwischen 14,6 km/h und 18,6 km/h

WP 6 - Langzeittests

Datenbasis

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Der Versuchsaufbau ist plausibel dargestellt, jedoch ist nicht vollkommen nachvollziehbar, ob der gewählte Stichprobenumfang ausreichend ist:

- Anzahl Wagensets:
 - 3 B-TC + iCTW (Füllgrad: 2x 100%, 1x 50%)
 - 1 konventionelles TC + Tragwagen-System (Füllgrad: 100%)

Ein weiteres Set, z.B. mit 50% Füllgrad, könnte die Vergleichbarkeit der Werte mit dem B-TC-System erhöhen.

- Anzahl der Testfahrten:
 - 18 „Mainline“-Fahrten innerhalb etwa 3 Monate
 - Bei 2 von 18 Fahrten treten zu hohe laterale Kräfte auf, die die Grenzwerte deutlich übersteigen (zu hohe Werte bei 11% der Testfahrten)
 - Verweis auf Rangieren als Grund für hohe Werte ist unklar, da der Bezug zu „Mainline“-Untersuchung fehlt

WP 6 - Langzeittests Wagenkasten-Verformungen

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Die Langzeittests liefern die Erkenntnis, dass die Wagenkastengestelle des iCTW für Verformungen anfällig sind

- vor allem ausgelöst durch Pufferstöße beim Rangieren
- BASF schlägt vor, die Gefährdung durch regelmäßige Überprüfungen des beladenen iCTWs nach jeder Fahrt vom Ablaufberg zu vermindern.

Es bleibt offen:

- wie die Detektion dieser Verformungen erfolgen kann
- mit welcher Wahrscheinlichkeit die Verformungen erkannt werden können
- in welcher Form die verlangten häufigeren Inspektionen durch den Wagenmeister durchführbar und in den betriebsinternen Regelungen aufgenommen sind

- Risikobewertung ist grundsätzlich für technische Änderungen fundiert, jedoch einige Unklarheiten und methodische Lücken
- Analysen zu Fehlerfortpflanzungen und statistischen Unsicherheiten wünschenswert
- Eine kleinschrittigere Variation des Füllgrades und der Stoffeigenschaften in den MKS-Simulationen könnte eindeutiger Aufschluss darüber geben, ob ein Betrieb mit beliebigen Füllständen möglich ist
- Aufbau des FEM-Modells in Bezug auf Modelltiefe und Sicherheitsnachweis nicht nachvollziehbar
- Auswahl und Grenzwerte der Kollisionsgeschwindigkeiten unklar
- Umfang der Langzeittests ist teilweise gering
- Fraglich, ob Aussagen aus der BASF-Risikoanalyse ausreichen, um Regelwerksänderungen im Bereich der Füllgrade und Schwallbewegungen hinreichend sicher zu belegen.

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

Dresden | Bonn

Zaki Kebdani,

Dr. Thomas Buder,

Jonathan Günther,

Felix Heizler

forschung@dzsf.bund.de

www.dzsf.bund.de