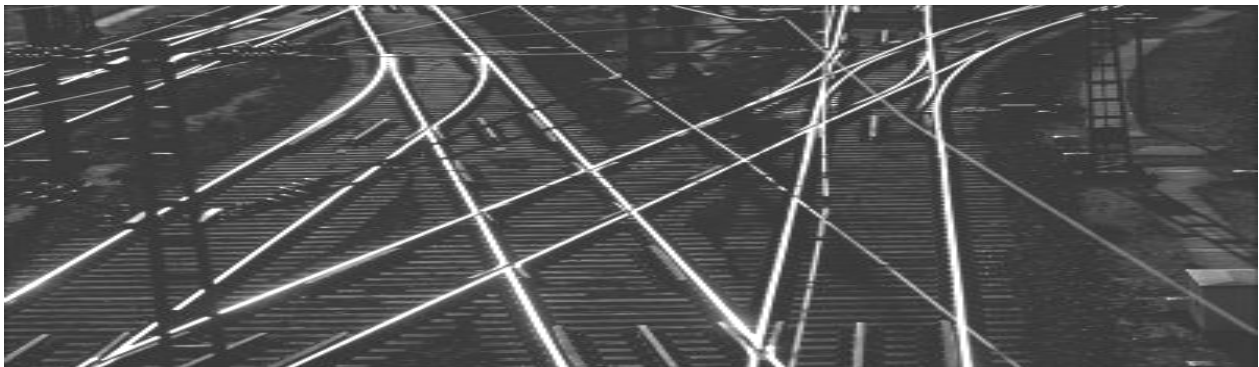




# Untersuchungsbericht

Aktenzeichen: 60uu2017-05/002-3323

Stand: 06.12.2018 Version: 1.0



## Gefährliches Ereignis im Eisenbahnbetrieb

Ereignisart:	Zugentgleisung
Datum:	01.05.2017
Zeit:	18:46 Uhr
Bahnhof:	Dortmund Hbf
Gleis:	8
Kilometer:	163,683

**Veröffentlicht durch:**

Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung

Heinemannstraße 6

53175 Bonn

---

## Inhaltsverzeichnis:

	<b>Seite</b>
<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>11</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses .....	11
1.2 Folgen.....	11
1.3 Ursachen .....	11
<b>2 Vorbemerkungen.....</b>	<b>13</b>
2.1 Organisatorischer Hinweis .....	13
2.2 Ziel der Eisenbahn-Unfalluntersuchung .....	14
2.3 Beteiligte und Mitwirkende .....	14
<b>3 Ereignis.....</b>	<b>15</b>
3.1 Hergang .....	15
3.2 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden .....	17
3.3 Wetterbedingungen.....	17
<b>4 Untersuchungsprotokoll.....</b>	<b>17</b>
4.1 Zusammenfassung von Aussagen .....	17
4.2 Notfallmanagement.....	18
4.3 Untersuchung der Infrastruktur .....	18
4.3.1 DKW 36 (DKW 54-190-1:9) Dortmund Hbf .....	19
4.3.2 Auswertung der Regelinspektionsprotokolle gemäß Ril 821.....	30
4.3.3 Gleismessfahrt vom 15.05.2017.....	34
4.3.4 Externe Gutachten zur Unfallursache.....	40
4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik.....	41
4.4.1 Stellwerk Dhf.....	41
4.4.2 Relaisgruppenüberprüfung Stellwerk Dhf.....	41
4.4.3 Störungsdrucker Stellwerk Dhf.....	42
4.4.4 Weichenantrieb S700 der DKW 36 a/b .....	43

---

4.4.5	Auffahrmeldungen der DKW 36 a/b .....	44
4.4.6	Klinkenverschluss CKA 12 .....	45
4.4.7	Untersuchung des Weichenantriebes S700 im Signalwerk Wuppertal .....	45
4.5	Untersuchung der betrieblichen Handlungen .....	46
4.6	Untersuchung von Fahrzeugen .....	46
4.6.1	Zustand des Tz 229 nach dem Ereignis .....	47
4.6.2	Werkstattaufenthalt 24.–29.04.2017 .....	47
4.6.3	Zuguntersuchung im Werk Dortmund .....	48
4.6.4	Berührungsgeometrie Rad/Schiene .....	48
4.6.5	Beurteilung der Drehgestelle .....	49
4.6.6	Zug-/Druckstangen .....	53
4.6.7	Fahrtverlaufsauswertung .....	55
4.7	Interpretation der Unfallspuren .....	57
<b>5</b>	<b>Auswertung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>62</b>
5.1	Oberbau .....	62
5.1.1	Bewertung der Gleisgeometrie .....	62
5.1.2	Schlussfolgerungen Gleisgeometrie .....	62
5.1.3	Weicheninspektion gemäß Ril 821 „Oberbau inspizieren“ .....	63
5.1.4	Bericht zur Mehrkörpersimulation .....	65
5.1.5	Bericht zur Schadensuntersuchung der Zungenvorrichtung .....	66
5.1.6	Zusammenfassung aus dem Bericht der Fa. SIMTES KG .....	67
5.1.7	Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungsergebnisse .....	68
5.2	Leit- und Sicherungstechnik .....	73
5.2.1	Auffahrmeldung am 22.04.2017 .....	73
5.2.2	Auffahrmeldung am Ereignistag .....	74
5.3	Betriebliche Handlungen .....	75
5.4	Fahrzeuge .....	75

---



---

5.4.1	Untersuchungen der Fahrzeugelemente Tz 229 .....	75
5.4.2	Ergebniszusammenfassung Untersuchung der Zug-/Druckstangen.....	75
5.4.3	Radprofile .....	76
<b>6</b>	<b>Bisher getroffene Maßnahmen.....</b>	<b>78</b>
6.1	Fazit aus dem Rückäußerungsverfahren .....	78
<b>7</b>	<b>Sicherheitsempfehlungen .....</b>	<b>80</b>

## Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Unfallstelle Dortmund Hbf .....	12
Abb. 2: Aufgleisarbeiten ICE 945 .....	12
Abb. 3: Lageplan .....	16
Abb. 4: Weichenlage nach dem Ereignis.....	20
Abb. 5: Schmierfetrückstände .....	21
Abb. 6: linke Zunge mit Anfahrspuren im vorderen Bereich.....	22
Abb. 7: linke Zunge mit Anfahrspuren im hinteren Bereich.....	22
Abb. 8: rechte Zunge, Schleifspuren am Zungenrücken.....	23
Abb. 9: Radlenker und Knaggen vor Knieschiene rechts, erste Entgleisungsschäden .....	23
Abb. 10: Anschlagspur rechter Radlenker im Bereich der Knieschiene .....	24
Abb. 11: Knieschiene rechts, weitere Entgleisungsspuren .....	24
Abb. 12: Übersicht der Gleislage vor der Entgleisungsstelle .....	25
Abb. 13: Längshöhenfehler (> SR 100) am Übergang Holz-/Betonschwellen.....	25
Abb. 14: Verwindungsfehler (> SR 100) am Isolierstoß links.....	25
Abb. 15: Richtungsfehler (< SR 100).....	26
Abb. 16: Darstellungen 1–4, linke Zunge im Bereich der Stützknaggen .....	28
Abb. 17: linke Weichenzunge.....	29
Abb. 18: Auffälligkeiten an der DKW 36 .....	29
Abb. 19: Darstellung der Inspektionsmessungen aus IIS, Teil I.....	31
Abb. 20: Darstellung der Inspektionsmessungen aus IIS, Teil II.....	31
Abb. 21: Auszug Überschreitungsprotokoll RAILab vom 31.01.2017.....	32
Abb. 22: Messschrieb MISS-GMTZ vom 15.05.2017 .....	35
Abb. 23: Auszug Überschreitungsprotokoll.....	35
Abb. 24: Situation vor der Befahrung .....	36
Abb. 25: Rad auf der verformten Weichenzunge.....	37

---

Abb. 26: Verformungsstelle .....	38
Abb. 27: Schleifspuren 1 und 2; Gleitstuhl linke Zunge .....	39
Abb. 28: erster Gleitstuhl linke Zunge .....	39
Abb. 29: Ablaufdiagramm Simulation .....	40
Abb. 30: Schreibstreifen des Störungsdruckers Stellwerk Dhf.....	43
Abb. 31: Weichenantrieb S700 der DKW 36 a/b .....	44
Abb. 32: Übersicht Tz 229, ICE 945 .....	46
Abb. 33: Aufgleisung SW 808 029-3 .....	47
Abb. 34: Übergang MW 806 629-2 zu SW 808 029-3 .....	47
Abb. 35: entgleistes DG MW 806 629-2 .....	47
Abb. 36: entgleistes DG 808 029-3 .....	47
Abb. 37: Profilabzeichnung 808 029 Rs 1 .....	49
Abb. 38: SGP 400 .....	50
Abb. 39: Kennzeichnung aller Komponenten.....	51
Abb. 40: demontierte Primärfedern .....	51
Abb. 41: Demontage der Luftfederbälge vom Zusatzfedersystem .....	51
Abb. 42: Zug-/Druckstangen .....	52
Abb. 43: Bremsbauteile .....	52
Abb. 44: Zug-/Druckstange gebrochen.....	54
Abb. 45: Zug-/Druckstange Profilquerschnitt.....	54
Abb. 46: grafische Darstellung der EFR-Daten.....	56
Abb. 47: Anordnung der DG A–E .....	57
Abb. 48: Ablauf anhand von Entgleisungsspuren .....	58
Abb. 49 seitliche Laufspur eines Spurkranzes an der linken Backenschiene (rechte Seite) ..	59
Abb. 50 Ende der Laufspur des Spurkranzes.....	59
Abb. 51: rekonstruierter Entgleisungsvorgang.....	60
Abb. 52: Entgleisungsspuren im Bereich der Stützknaggen der linken Zunge.....	61

---

---

Abb. 53: Darstellung bei Microschliff 500 .....	67
Abb. 54: Kontaktpunkt neues Radprofil / neue Zunge, ca. 250 mm nach Zungenanfang .....	68
Abb. 55: Kontaktpunkt neues Radprofil / verformte Zunge, ca. 250 mm nach Zungenanfang .....	68
Abb. 56: Nahaufnahme I, Verformung der Weichenzunge .....	69
Abb. 57: Nahaufnahme II, Verquetschungen ähnlich des Spurkranzprofils .....	69
Abb. 58: Nahaufnahme III, Größe der Verformung.....	69
Abb. 59: Zustandsskizze Backenschiene/Zunge/Spurkranz .....	71
Abb. 60: schem. Darstellung einer Weichenzunge und die durch veränderten Anfahrwinkel eines Spurkranzes erzeugte Materialverformung .....	72
Abb. 61: Anlaufwinkel in Fahrtrichtung .....	72
Abb. 62: Anlaufwinkel quer zur Fahrtrichtung .....	73
Abb. 63: Messblatt.....	77

## Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Zusammenfassung der Auffälligkeiten DKW 36.....	30
Tabelle 2: Kenndaten ICE 2 .....	46
Tabelle 3: Erläuterungen zum rekonstruierten Entgleisungsvorgang.....	60

## Anlagen:

01	DB Systemtechnik, Mehrkörpersimulation ICE2
----	---

## Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AFB	Automatische Fahr/Bremssteuerung
Asig	Ausfahrsignal
Alv	Anlagenverantwortlicher
BEU	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung
Bf	Bahnhof
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BPol	Bundespolizei
BÜ	Bahnübergang
CIR-ELKE	Computer Integrated Railroading
DG	Drehgestell
DSK	Datenspeicherkassette
DKW	Doppelte Kreuzungsweiche
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBL	Eisenbahnbetriebsleiter
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EFR	Elektronische Fahrtenregistrierung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERA	Europäische Eisenbahnagentur
ESO	Eisenbahn-Signalordnung
Esig	Einfahrsignal
EUB	Eisenbahnunfalluntersuchungsstelle des Bundes
EUV	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
FHT	Fahrstraßenhilfstaste
Fdl	Fahrdienstleiter
Fb	Fahrbahn

---

FR	Fahrtrichtung
GSM-R	Global System Mobile – Rail
Hbf	Hauptbahnhof
H/V	Haupt- und Vorsignal
LST	Leit- und Sicherungstechnik
Lt/d	Lasttonnen pro Tag
LZB	Linienzugbeeinflussung
MKS	Mehrkörpersimulation
MR	Messrichtung
MTD	Maschinentechnisches Display
MW	Mittelwagen
NE	Nichtbundeseigene Eisenbahn
Nmg	Notfallmanager
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
Ril	Richtlinie
RS	Radsatz
SB	Sicherheitsbehörde
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
TDG	Triebdrehgestell
Tf	Triebfahrzeugführer
TK	Triebkopf
Tz	Triebzug
Vw	Verwindung
VzG	Verzeichnis der zulässigen Geschwindigkeiten
WM	Weichenmitte

## **1 Zusammenfassung**

### **1.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses**

Am 01.05.2017 entgleiste um ca. 18:46 Uhr der Zug ICE 945 des Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) DB Fernverkehr AG bei der Einfahrt nach Gleis 8 des Bahnhofs (Bf) Dortmund Hauptbahnhof (Hbf) im Bereich der Doppelten Kreuzungsweiche (DKW) 36. Der aus einem Triebkopf (TK), sechs Mittelwagen (MW) und einem Steuerwagen (SW) bestehende Zug mit der unternehmensinternen Bezeichnung „Tz 229“ entgleiste mit den letzten beiden Wagen.

### **1.2 Folgen**

Bei dem Ereignis wurden zwei Personen leicht verletzt. Die Zugentgleisung beschädigte den Oberbau und Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST) über eine Länge von ca. 400 m in erheblichem Maß. Die beiden entgleisten Wagen wiesen starke Beschädigungen an den Laufwerken und Wagenkästen auf.

Aufgrund der notwendigen Streckensperrung und durch die Zerstörungen im Einfahrbereich des Bf Dortmund Hbf kam es zu zahlreichen Zugausfällen und -umleitungen.

### **1.3 Ursachen**

Ursache für die Entgleisung war das unbeabsichtigte Anheben eines Rades des vorletzten Wagens im Bereich der linken Weichenzungenvorrichtung der DKW 36 a. Das unbeabsichtigte Anheben des Rades wurde durch einen impulsartigen Stoß in Kombination mit Veränderungen an der Kontaktfläche Rad/Weichenzunge ausgelöst.

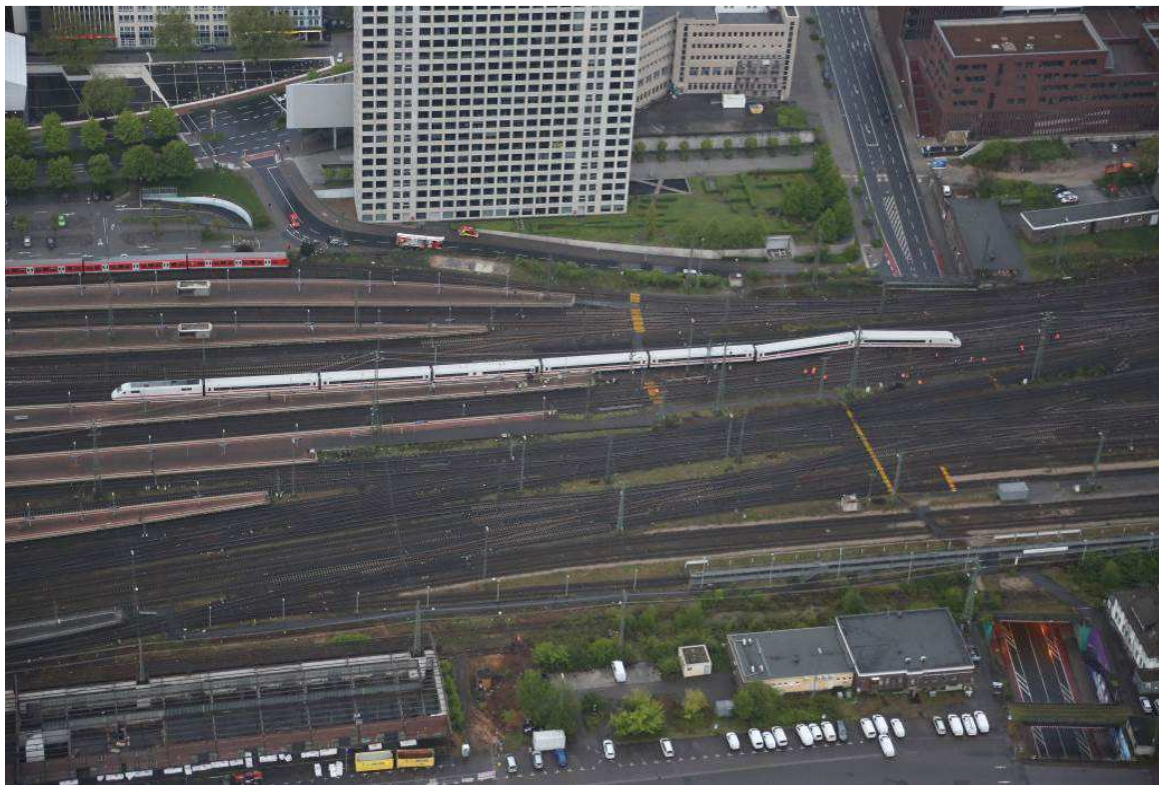


Abb. 1: Unfallstelle Dortmund Hbf  
Quelle: BPol



Abb. 2: Aufgleisarbeiten ICE 945



## **2 Vorbemerkungen**

### **2.1 Organisatorischer Hinweis**

Mit der Richtlinie RL 2004/49/EG zur Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft (Eisenbahnsicherheitsrichtlinie) wurden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union verpflichtet, unabhängige Untersuchungsstellen für die Untersuchung bestimmter gefährlicher Ereignisse einzurichten.

Diese Richtlinie wurde mit dem 5. Gesetz zur Änderung eisenbahnrechtlicher Vorschriften vom 16.04.2007 umgesetzt und die Eisenbahnunfalluntersuchungsstelle des Bundes (EUB) eingerichtet. Die weitere Umsetzung der Sicherheitsrichtlinie erfolgte durch die Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung (EUV) vom 05.07.2007.

Mit dem Gesetz zur Neuordnung der Eisenbahnunfalluntersuchung vom 27.06.2017 wurden die rechtlichen Grundlagen zur Errichtung der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU) geschaffen. Durch das Gesetz wurden das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG) und das Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungsgesetz (BEVVG) geändert, wobei Zuständigkeiten und Kompetenzen auf die neue Behörde, die BEU, übertragen wurden. Mit Errichtung der BEU, bestehend aus der Leitung der EUB im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Untersuchungszentrale der EUB im Eisenbahn-Bundesamt (EBA), wurde die EUB aufgelöst. Mit dem Organisationserlass des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur zur Errichtung der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung vom 14.07.2017 wurde die BEU als selbstständige Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des BMVI zur Erfüllung der Aufgaben nach § 7 BEVVG errichtet.

Die Aufgaben zur Untersuchung bestimmter gefährlicher Ereignisse im Eisenbahnbetrieb gingen dabei nahtlos von der EUB auf die BEU über.

Da das vorliegende Ereignis vor dem Tag der Errichtung der BEU am 14.07.2017 lag, wurden Aufgaben, wie die Untersuchung vor Ort, durch die EUB durchgeführt. Andere Arbeiten, wie bspw. die Erstellung dieses Untersuchungsberichts, erfolgten nach dem Gründungstag und wurden deshalb von der BEU übernommen. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Bericht sowohl die Bezeichnung „EUB“ als auch „BEU“ verwendet.

Näheres hierzu ist im Internet unter >> [www.beu.bund.de](http://www.beu.bund.de) << zu finden.

## **2.2 Ziel der Eisenbahn-Unfalluntersuchung**

Ziel und Zweck der Untersuchungen ist es, die Ursachen von gefährlichen Ereignissen aufzuklären und daraus Hinweise zur Verbesserung der Sicherheit abzuleiten. Untersuchungen der BEU dienen nicht dazu, ein Verschulden festzustellen oder Fragen der Haftung oder sonstiger zivilrechtlicher Ansprüche zu klären, und werden unabhängig von jeder gerichtlichen Untersuchung durchgeführt.

Die Untersuchung umfasst die Sammlung und Auswertung von Informationen, die Erarbeitung von Schlussfolgerungen einschließlich der Feststellung der Ursachen und ggf. die Abgabe von Sicherheitsempfehlungen. Die Vorschläge der Untersuchungsstelle zur Vermeidung von Unfällen und Verbesserung der Sicherheit im Eisenbahnverkehr werden der Sicherheitsbehörde und, soweit erforderlich, anderen Stellen und Behörden oder Mitgliedstaaten der EU in Form von Sicherheitsempfehlungen mitgeteilt.

## **2.3 Beteiligte und Mitwirkende**

Am Ereignis waren beteiligt:

- DB Fernverkehr AG als Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)
- DB Netz AG als Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)

Im Rahmen der Sachverhaltsermittlung und Ursachenerforschung wurden folgende externe Stellen einbezogen:

- Eisenbahn-Bundesamt (EBA)
- DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH
- DB Systemtechnik GmbH, Standorte Minden und Kirchmöser
- RWTH Aachen, Institut für Werkstoffanwendungen im Maschinenbau
- Fa. SIMTES KG, Bielefeld
- Fa. Siemens AG, Braunschweig

### **3 Ereignis**

In den folgenden Kapiteln werden der Ablauf bis zum Eintreten des Ereignisses sowie die äußeren Umstände detailliert geschildert.

#### **3.1 Hergang**

Am 01.05.2017 um ca. 18:46 Uhr entgleiste Zug ICE 945 des EVU DB Fernverkehr AG bei der Einfahrt in Gleis 8 des Bf Dortmund Hbf auf Höhe der DKW 36. Gleis 8 ist ein durchgehendes Hauptgleis und gehört zur Strecke 2158.

Der Zug der Baureihe ICE 2 war auf dem Weg von Düsseldorf Hbf nach Berlin Ostbahnhof. Der nächste planmäßige Halt war Dortmund Hbf.

Der Ereignisort gehört zum Streckennetz des EIU DB Netz AG. Der Betrieb wird nach dem Regelwerk der DB AG, Richtlinie (Ril) 408 „Fahrdienstvorschrift“, durchgeführt. Die betroffene Strecke 2158 ist als zweigleisige Hauptbahn ausgeführt. Sowohl die freie Strecke als auch der Bf Dortmund Hbf sind mit Haupt-/Vorsignal (H/V) und punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) ausgerüstet. Der Bf Dortmund Hbf beginnt am Einfahrtsignal (Esig) D540 in km 163,2. Ab Esig D540 gilt bei Signalstellung Hp 1 gemäß Verzeichnis der zulässigen Geschwindigkeiten (VzG) eine zulässige Höchstgeschwindigkeit (Hg) von 80km/h. ICE 945 war planmäßig unterwegs und sollte laut Fahrplan um 18:46 Uhr im Bf Dortmund Hbf in Gleis 8 ankommen. Bis zum Zeitpunkt des Ereignisses gab es keine Störungen im Betriebsablauf.

Der ICE 945 bestand aus einem TK, sechs MW und einem SW. Die Zuglänge betrug 205 m. Laut EFR-Datenauswertung lag die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Entgleisung bei ca. 70 km/h und damit unter der laut Signalisierung zulässigen Hg von 80 km/h.

Aufgrund der großen Zerstörung der Gleisanlagen und der sich teilweise überlagernden Entgleisungsspuren war es nicht möglich, eine durchgängige Rekonstruktion des Ereignisses herzustellen. Anhand der vorgefundenen Schäden zeigte sich aber, dass es in der DKW 36 a/b bei km 163,683 zu der Entgleisung gekommen sein musste.

Nach der Entgleisung und der Bedienung einer Notbremse kam der Zug nach ca. 300 m mit TK und vier MW am Bahnsteig zum Halten. Die restlichen Wagen standen vor dem Bahnsteig. Wegen des zweiseitigen Laufs wurden der Oberbau und insgesamt acht Weichen sowie dazugehörige LST-Anlagen zerstört.

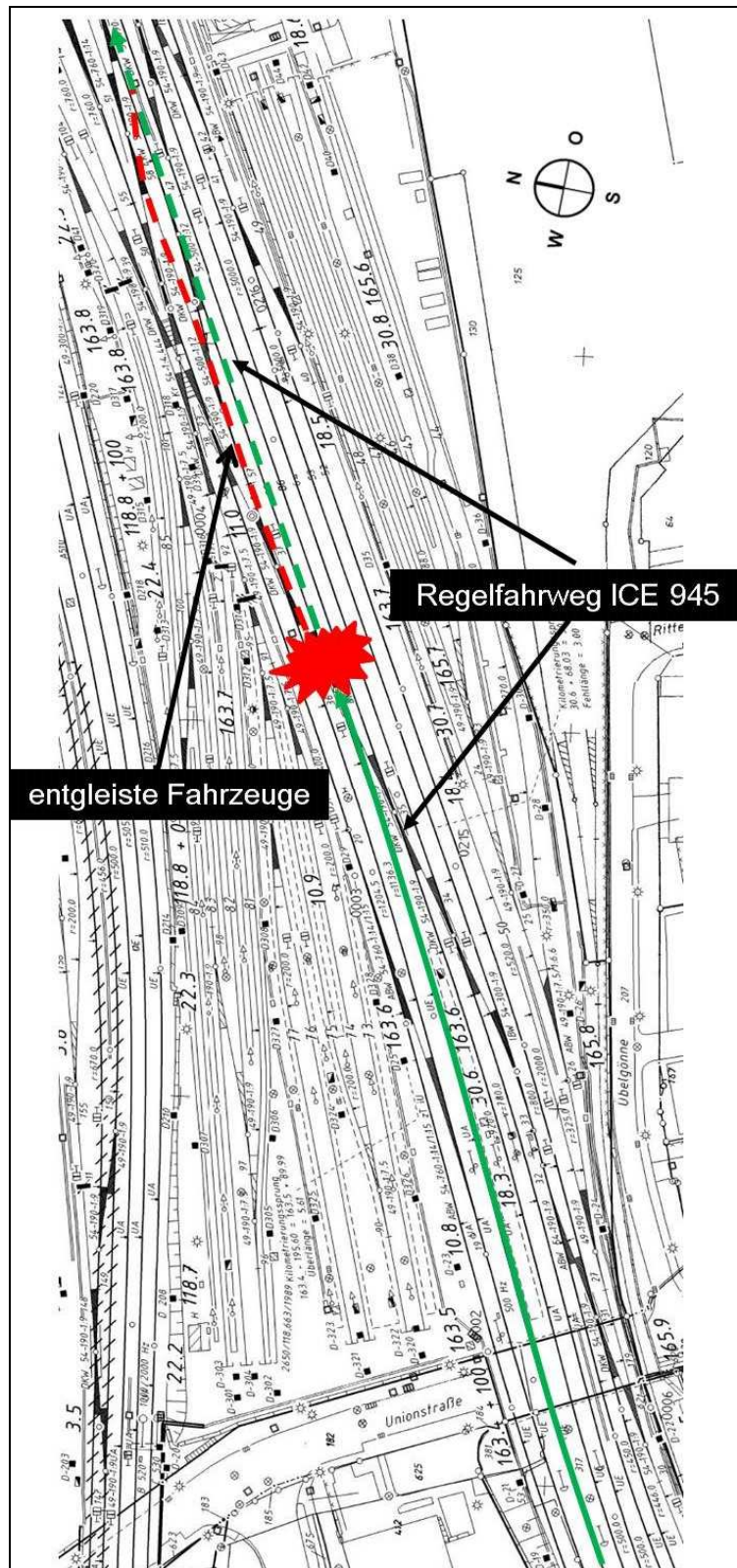


Abb. 3: Lageplan

Quelle: IVL-Plan DB Netz AG bearbeitet durch BEU

### **3.2 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden**

Bei dem Ereignis wurden zwei Personen leicht verletzt.

#### Schäden der Infrastruktur

Reparaturaufwendungen: ca. 1,18 Mio. €

Weichen und Gleise: ca. 2,18 Mio. €

#### Schäden an den Fahrzeugen

Reparaturaufwendungen: ca. 1,32 Mio. €

Die Instandsetzung der erheblichen Beschädigungen an den Gleisanlagen führte zu mehrwöchigen Einschränkungen im Betriebsablauf.

### **3.3 Wetterbedingungen**

Zum Zeitpunkt des Ereignisses war der Himmel stark bewölkt. Es herrschte schlechte Sicht durch diese Luft. Es kam zu vereinzelt Regenfällen. Die Temperatur lag bei ca. 16°C.

## **4 Untersuchungsprotokoll**

Während der Sachverhaltsermittlung waren das EBA, Unternehmen der DB AG, die RWTH Aachen, die Fa. Siemens AG sowie die Fa. SIMTES KG an der Erstellung von fachlichen Expertisen beteiligt. Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Kapiteln ohne gesonderte Kennzeichnung eingeflossen, Zitate sind jedoch gekennzeichnet. Die erstellten Expertisen liegen der BEU vollständig vor.

### **4.1 Zusammenfassung von Aussagen**

Gegenüber dem jeweiligen Arbeitgeber kam es zu folgenden Aussagen:

#### Zugpersonal ICE 945

Übereinstimmend sagte das Zugpersonal des ICE 945 sinngemäß aus, dass es kurz vor dem Bahnsteig des Bf Dortmund Hbf zu starken Schlinger- und Rüttelbewegungen im Zug gekommen sei. Daraufhin habe der Zugchef die Notbremse betätigt.

#### Triebfahrzeugführer (Tf) ICE 945

Nach Aussage des Tf sei es seit Beginn der Zugfahrt ICE 945 ab Düsseldorf Hbf zu keinen Unregelmäßigkeiten gekommen. Er habe die Geschwindigkeit ab dem Esig D540 des Bf Dortmund Hbf auf 80 km/h reguliert und sei dann ohne Auffälligkeiten Richtung Bahnsteig gefahren. Kurz vor dem Bahnsteig sei es zu einer Notbremsung gekommen, die er sofort

unterstützt habe. Im Anschluss habe er einen Notruf abgesetzt und das Zugpersonal informiert.

#### Fahrdienstleiter (Fdl) Stellwerk Dhf

Beide Fdl des Stellwerks Dhf sagten aus, dass es bei der Einstellung der Fahrstraße und der Fahrtstellung des Esig D540 zu keinen ungewöhnlichen Vorkommnissen gekommen sei. Bei der Einfahrt von Zug ICE 945 sei es an der Stelltafel zu akustischen und optischen Auffahrmeldungen für die DKW 36 gekommen, und unmittelbar danach seien weitere Auffahrmeldungen angezeigt worden. Bei einem Blick aus dem Fenster habe man gesehen, dass die beiden letzten Wagen des ICE 945 geschüttelt worden und Schottersteine umhergefliegen seien.

## **4.2 Notfallmanagement**

Nach § 4 Abs. 3 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) haben die Eisenbahnen die Verpflichtung, an Maßnahmen des Brandschutzes und der technischen Hilfeleistung mitzuwirken. In einer Vereinbarung zwischen den Innenministerien der Länder und der DB AG hat man sich auf eine Verfahrensweise verständigt. Für die DB Netz AG gelten die entsprechenden Brand- und Katastrophenschutzgesetze der Länder. Das Notfallmanagement der DB AG ist in der Richtlinie (Ril) 423 näher beschrieben und geregelt.

Die Reisenden der entgleisten Wagen konnten den Zug durch die vorderen, nicht entgleisten Wagen mithilfe des Zugpersonals über den Bahnsteig verlassen. Da keine Person schwerwiegend verletzt wurde und nach dem Unfall keine akuten Gefahren abzuwehren waren, wurde auf eine weiterführende Untersuchung des Notfallmanagements verzichtet.

## **4.3 Untersuchung der Infrastruktur**

Der Oberbau im Gleisbereich vor der Entgleisungsstelle kann neben kleineren Mängeln augenscheinlich als intakt beschrieben werden. Gleise und Weichen machen trotz starker Beanspruchung durch die hohe Anzahl von Zugfahrten einen soliden Eindruck. Im Bereich vor der Entgleisungsstelle sind Schienen mit den Profilen UIC 60 und UIC 54 auf Holz und Betonschwellen im Schotterbett verlegt. Die DKW 36 der Bauform 54-190-1:9 ist auf Betonschwellen montiert.

Von der aus Richtung Bochum kommenden freien Strecke 2158 beginnt der Bf Dortmund Hbf am Esig D540 in km 163,2. Die Trassierung vom Esig D540 bis zur Entgleisungsstelle besteht aus den folgenden Elementen:

- Gleisbogen nach rechts mit  $r = 760$  m
- Übergangsbogen nach rechts
- Gerade
- Übergangsbogen nach links
- Gleisbogen nach links mit  $r = 1136,3$  m
- Gerade

Der Gleisbogen endet ca. 4 m vor dem technischen Weichenanfang. Kurz nach Beginn des geraden Gleisabschnitts waren im Zungenbereich der DKW 36 a erste Entgleisungsspuren erkennbar.

#### **4.3.1 DKW 36 (DKW 54-190-1:9) Dortmund Hbf**

##### Technische Daten

Die DKW 36 ist in der Bauform 54-190-1:9 ausgeführt. Sie ist mit vier innenliegenden Weichenzungen ausgestattet, auf Betonschwellen montiert und in km 163,7 der Strecke 2158 eingebaut. Die gesamte DKW zeigte keine augenscheinlichen Auffälligkeiten.

##### Letzte umfassende Erneuerung bzw. Instandsetzung

Die letzte umfassende Erneuerung der DKW 36 erfolgte im Jahr 2014. Keines der vorgelegten Prüfzeugnisse der einzelnen Bauteile war zu beanstanden. Über die Qualität der durchgeführten Bauarbeiten an sich liegen der BEU die geometrische Abnahme der DKW durch den Netzbezirk vom 12.06.2014 und ein Messschrieb der Messfahrt einer Stopfmaschine vom Typ 08-475 4S vor. Bei der Prüfung der vorgelegten Unterlagen wurden keine unzulässigen Überschreitungen festgestellt.

Die letzten durchgeführten Instandsetzungsarbeiten in der DKW 36 stammen vom 10.04.2017 (Schienenwechsel bis an die B90-Schwellen heran) und vom 09.07.2016 (Beseitigung eines F1-Fehlers im Bereich c/d).

##### Zustand der Weiche DKW 36 nach dem Ereignis

Erste etwa 55 Minuten nach dem Ereignis aufgenommene Lichtbilder der Bundespolizei belegen, dass sich die DKW 36 im Teil a nicht in einer für die Zugfahrt des ICE 945 eingestellten Lage befand.



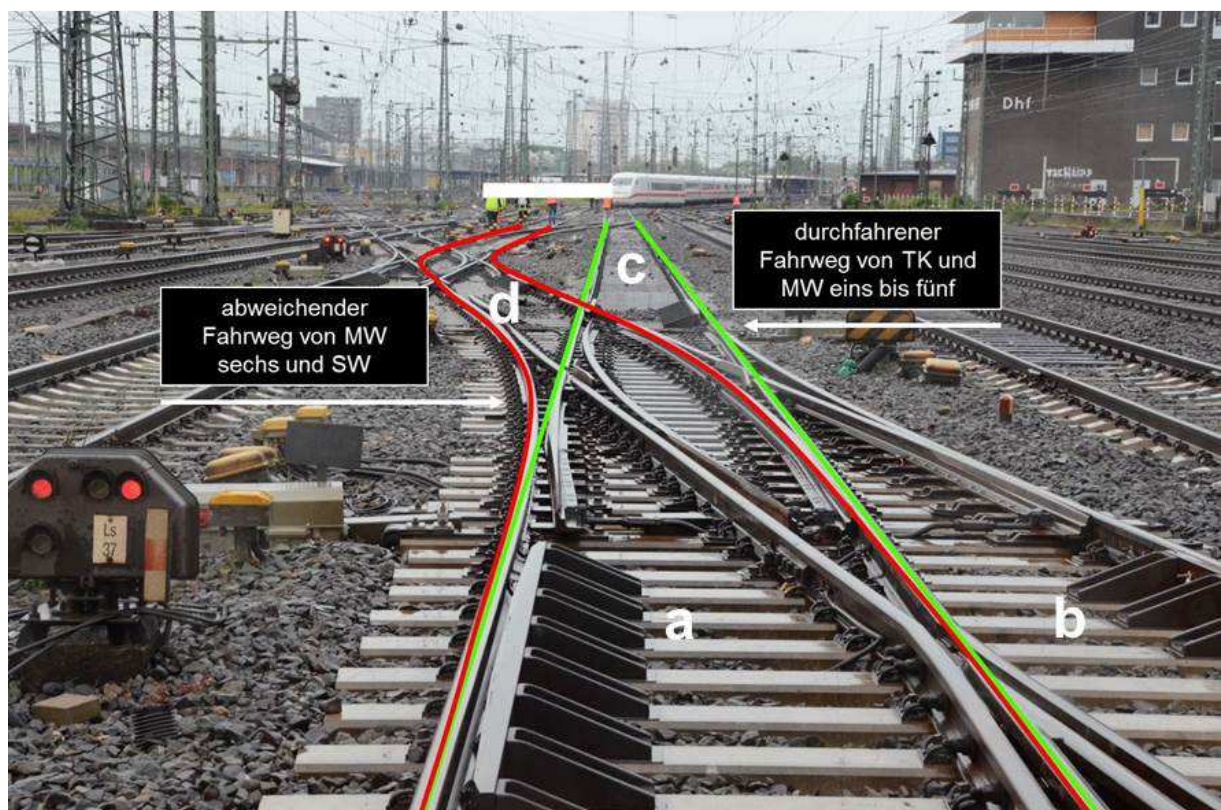


Abb. 4: Weichenlage nach dem Ereignis  
Quelle: BPol, bearbeitet durch BEU

Anhand der Spurenlage ist davon auszugehen, dass der TK und die folgenden fünf MW die DKW 36 in Richtung a/c problemlos befuhren. Erst bei der Überfahrt des sechsten MW 806 629-2 kam es zur Entgleisung.

Bei den Untersuchungen vor Ort wurde festgestellt, dass sich die DKW 36 nicht in der für die Zugfahrt erforderlichen Endlage a/c befand. Im geraden Strang der befahrenen DKW war eine ungewöhnlich ausgeprägte Anhaftung von Spurkranzschmierfett an der spitz befahrenen, ursprünglich anliegenden linken Weichenzunge auffällig.



Nach Reinigung der Zunge wurde eine Gratbildung und Materialverformung erkennbar. Eindeutige Aufkletterspuren eines Rades waren aber nicht zu erkennen. Im weiteren Verlauf wurden erste Spuren an dieser Zunge sowie an Stützknaggen und Radlenker der DKW gefunden, die auf einen nicht ordnungsgemäßen Lauf mindestens eines Radsatzes (RS) hindeuteten.

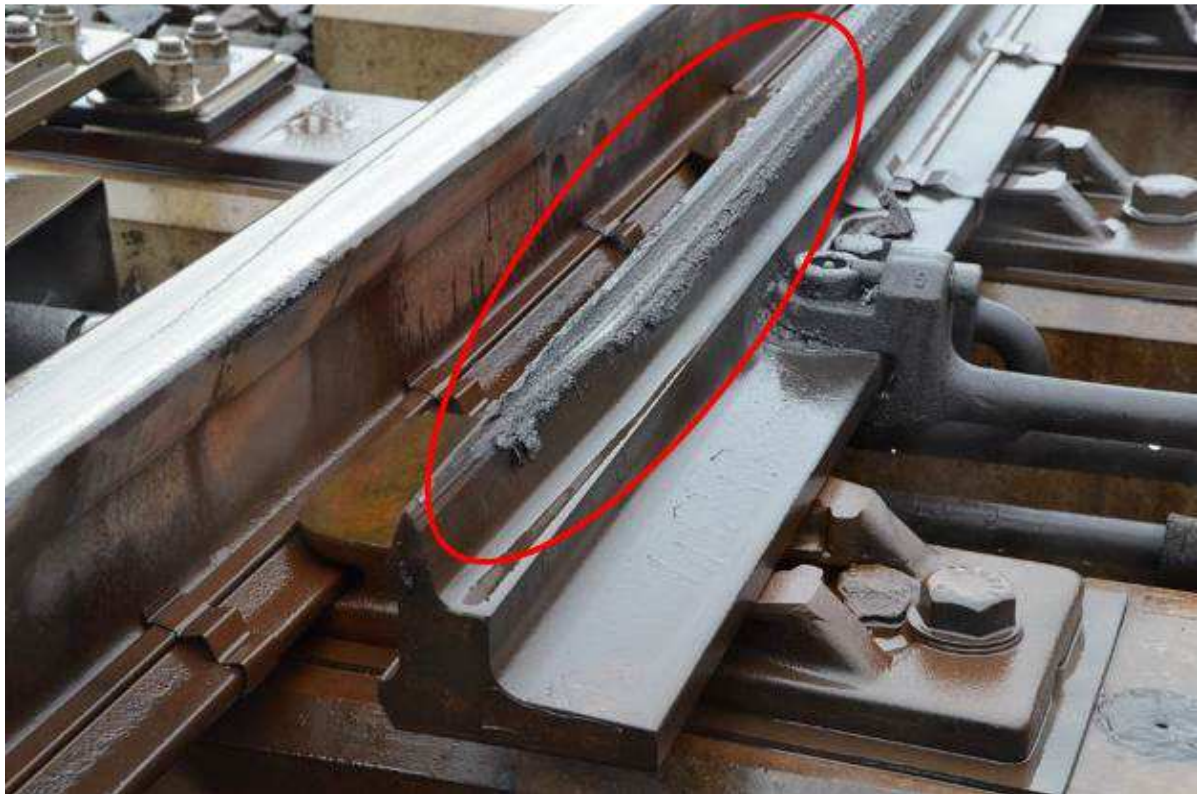


Abb. 5: Schmierfetrückstände

Hinter den Zungenspitzen waren zwischen den Backenschienen und Zungen beidseitig Anfahrspuren erkennbar.

Eine Sonderinspektion der Weiche auf etwaige Abweichungen vom Sollzustand wurde noch am Ereignisabend durchgeführt. Das probeweise Umstellen der Weiche – sowohl von Hand als auch elektrisch – war problemlos möglich. Die Weiche stellte regelkonform um, lief in Endlage, und der Klinkenverschluss verschloss die Weiche. Zwischen Backenschiene und Weichenzunge war kein unzulässiges Klaffmaß feststellbar.

Bei der geometrischen Messung der DKW 36 nach Ril 821.2005 wurden keine relevanten Mängel festgestellt. Lediglich im Weichenteil c/d wurden Überschreitungen bei der Pfeilhöhe und Spurweite dokumentiert, die allerdings weit hinter der Entgleisungsstelle lagen und als eine Folge der Entgleisung einzustufen waren.

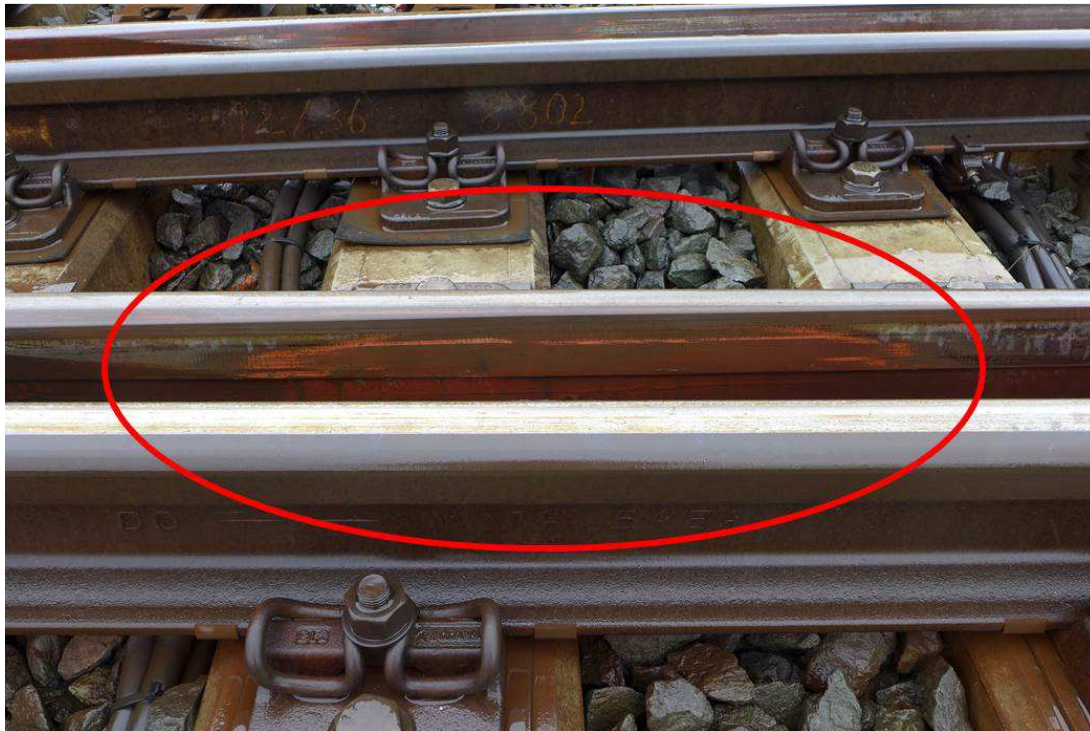


Abb. 6: linke Zunge mit Anfahrtspuren im vorderen Bereich



Abb. 7: linke Zunge mit Anfahrtspuren im hinteren Bereich



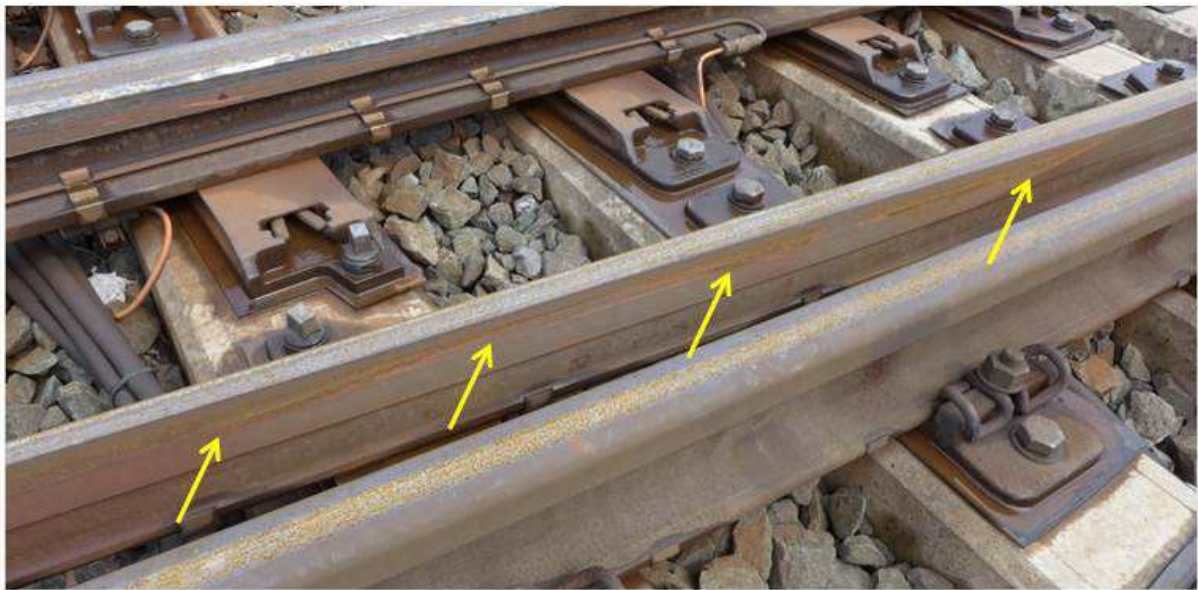


Abb. 8: rechte Zunge, Schleifspuren am Zungenrücken

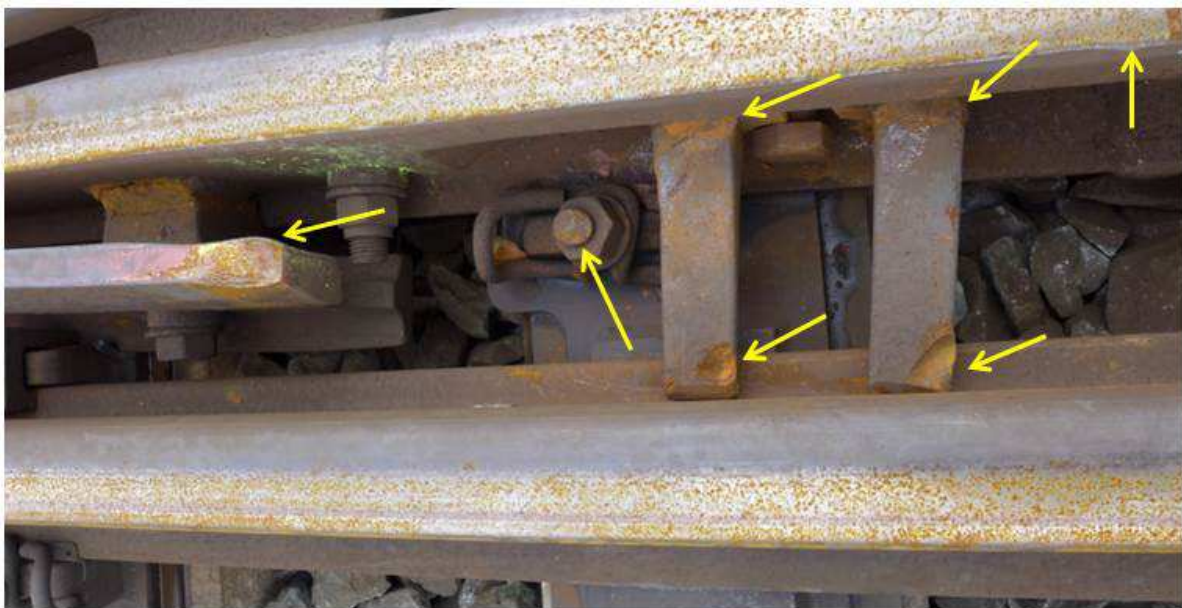


Abb. 9: Radlenker und Knaggen vor Knieschiene rechts, erste Entgleisungsschäden



Abb. 10: Anschlagspur rechter Radlenker im Bereich der Knieschiene

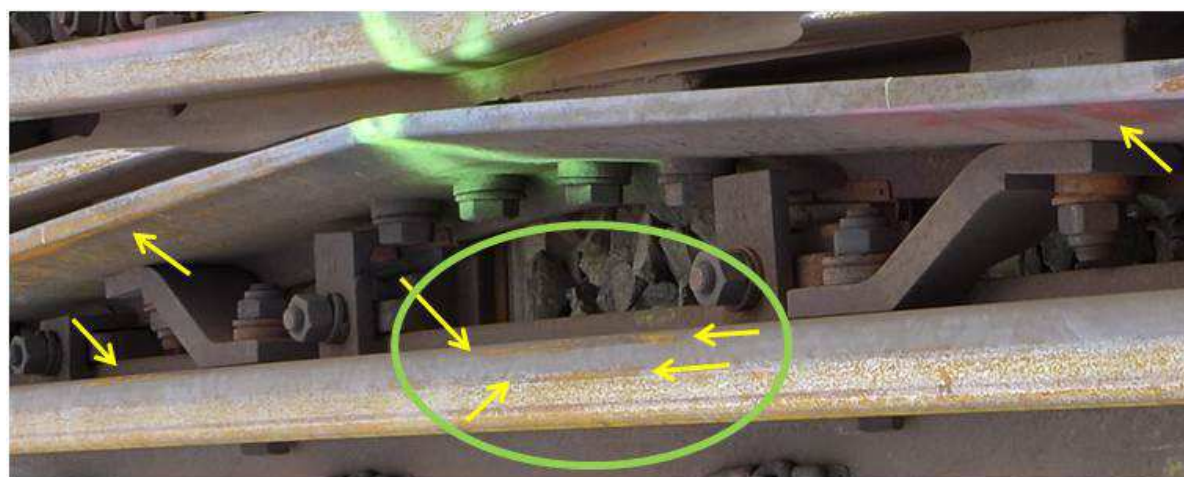


Abb. 11: Knieschiene rechts, weitere Entgleisungsspuren



#### 4.3.1.1 Auffälligkeiten vor und an der Entgleisungsstelle

Auf den folgenden Abbildungen sind die Gleislagefehler vor der Entgleisungsstelle festgehalten.

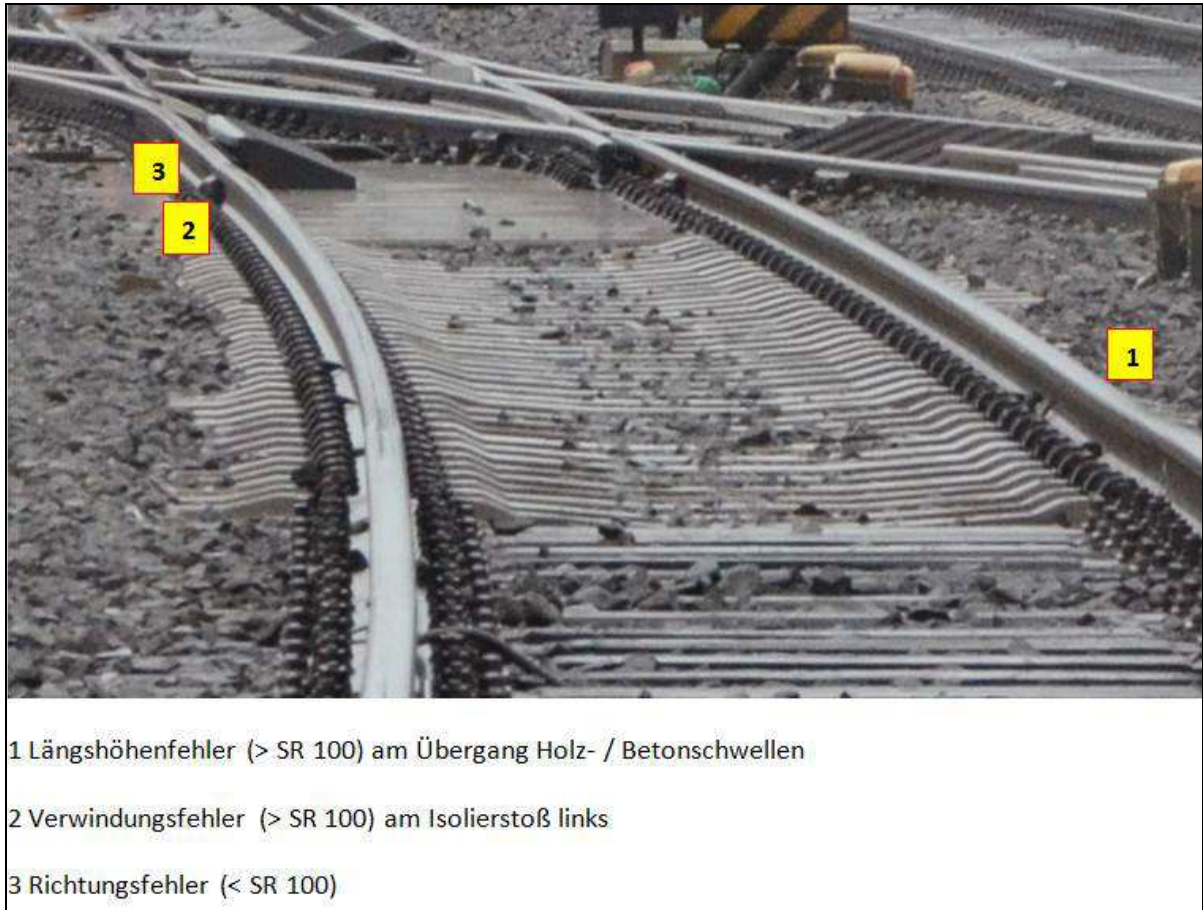


Abb. 12: Übersicht der Gleislage vor der Entgleisungsstelle

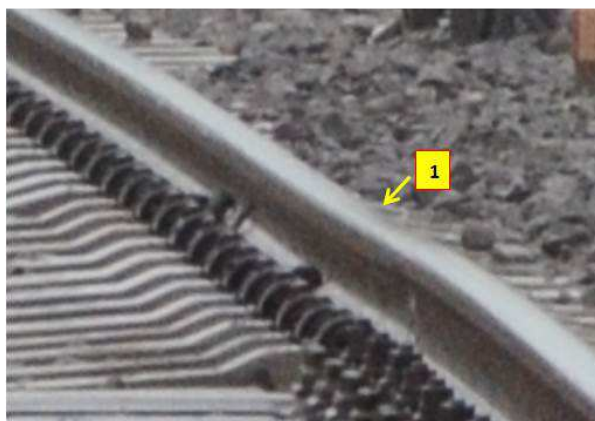


Abb. 13: Längshöhenfehler (> SR 100) am Übergang Holz-/Betonschwellen

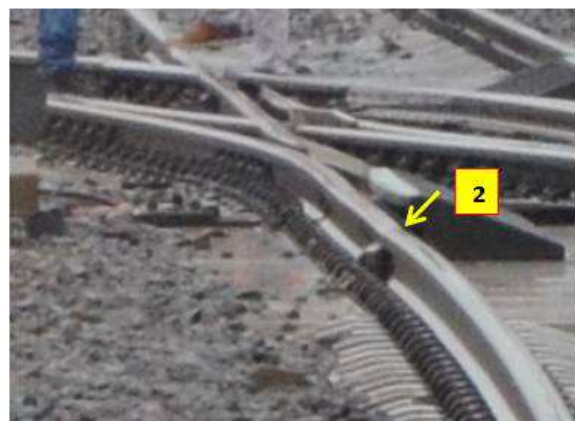


Abb. 14: Verwindungsfehler (> SR 100) am Isolierstoß links

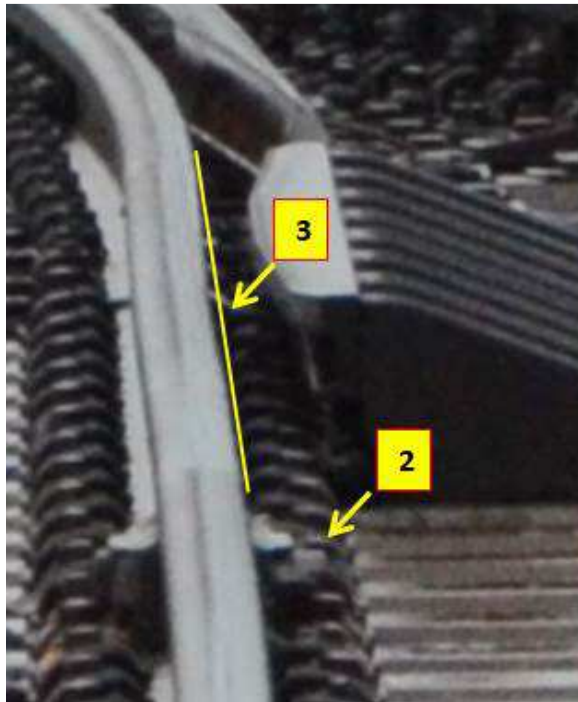


Abb. 15: Richtungsfehler (< SR 100)

Die Abbildungen zeigen den vorgefundenen Zustand nach der Entgleisung. Die Bewertung der dargestellten Gleislagefehler erfolgte anhand der Gleisgeometriemessung vom 15.05.2017.

Im Rahmen der Untersuchungen wurde ein Klaffen zwischen Stützknaggen und linker Weichenzunge festgestellt. Aus den folgenden Abb. 16 1–4 wird ersichtlich, dass am Steg der linken Zunge keine Kontaktsuren der Stützknaggen vorhanden waren. Dies belegt, dass die Zunge schon vor der Entgleisung nicht bündig an den Stützknaggen anlag und das vorgefundene Klaffen keine alleinige Folge der Entgleisung sein konnte. Abb. 17 und Abb. 52 zeigen deutliche Reibspuren auf dem Gleitstuhl, die von der Bewegung der Zunge beim Befahren herrührten.

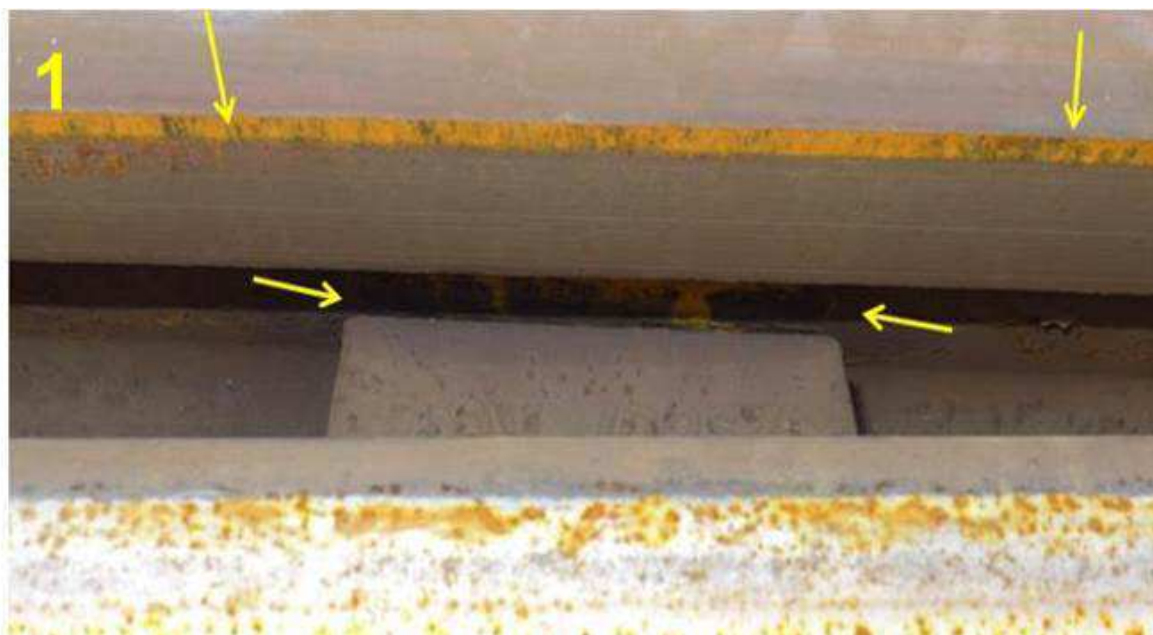






Abb. 16: Darstellungen 1–4, linke Zunge im Bereich der Stützknaggen





Abb. 17: linke Weichenzunge

Auf Abb. 18 sind die festgestellten Auffälligkeiten an der DKW zusammengefasst.

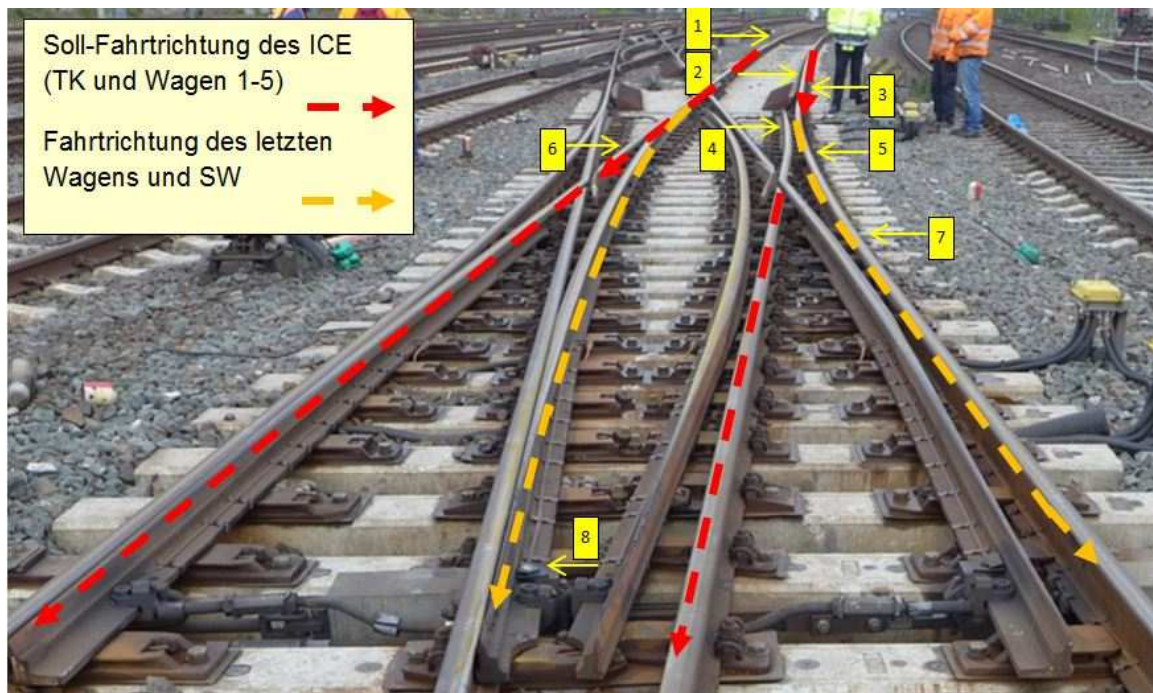


Abb. 18: Auffälligkeiten an der DKW 36

---

1	Längshöhenfehler 18 mm > SR <sub>100</sub>
2	Verwindungsfehler 110 % > SR <sub>100</sub>
3	Richtungsfehler < SR <sub>100</sub>
4	Fettanhaftung und Materialverformung an der linken Zunge
5	Abgleiten eines linken Rades von der Backenschiene
6	Abgleiten eines rechten Rades von der Backenschiene, Anfahren des rechten Radlenkers
7+8	weitere Folgen: zweispuriger Lauf, nachfolgendes DG fährt nach links und entgleist
7+8	weitere Folgen: zweispuriger Lauf, nachfolgendes DG fährt nach links und entgleist

Tabelle 1: Zusammenfassung der Auffälligkeiten DKW 36

#### **4.3.2 Auswertung der Regelinspektionsprotokolle gemäß Ril 821**

##### Gleisgeometriemessung

Die Prüfung der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeugen nach Ril 821.2001 wurde fristgerecht durchgeführt.

Zuständig für die Planung und die Durchführung der Gleisgeometriemessung ist der Anlagenverantwortliche (Alv) des Infrastrukturbetreibers. Der Alv oder ein von ihm beauftragter Vertreter (siehe Ril 821.2001 4 (3)) hat sich in seinem Zuständigkeitsbereich an der Regelinspektionsfahrt zu beteiligen. Im Rahmen der Sachverhaltsermittlung wurden die Prüfprotokolle der letzten drei Inspektionen im betroffenen Gleisbereich gemäß Ril 821.2001 ausgewertet. Die von der DB Netz AG in Abb. 19 und 20 zur Verfügung gestellten Messergebnisse sind nicht die Originalmessergebnisse. Die vorliegenden Messergebnisse basieren auf dem DB-Netz-AG-internen Intelligenten Inspektionssystem (IIS) und stellen zwei sich überlagernde Graphen der Regelinspektionen vom 12.07.2016 und vom 31.01.2017 dar. Die überlagerte Darstellung ließ eine differenzierte Bewertung der Einzelmessungen nicht zu.

Festgestellt wurde, dass die Messfahrt vom 22.01.2016 keine relevanten Überschreitungen aufwies. Bei den Messfahrten vom 12.07.2016 und vom 31.01.2017 wurden jeweils SR<sub>100</sub> Überschreitungen bei der Längshöhe und bei der Messfahrt am 31.01.2017 zusätzlich auch eine SR<sub>100</sub> Überschreitung bei der Verwindung festgestellt. Protokolle durchgeführter Instandsetzungen wurden der BEU nicht vorgelegt.

## Untersuchungsbericht

Zugentgleisung, 01.05.2017, Dortmund Hbf

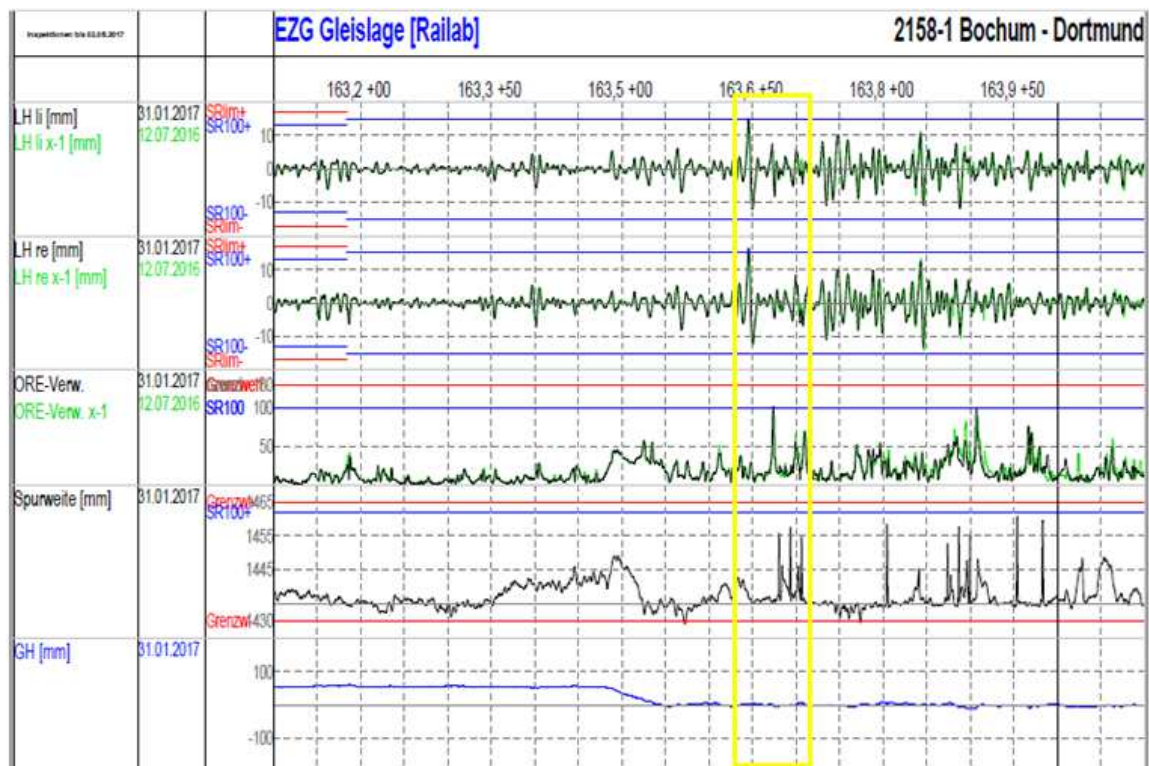


Abb. 19: Darstellung der Inspektionsmessungen aus IIS, Teil I

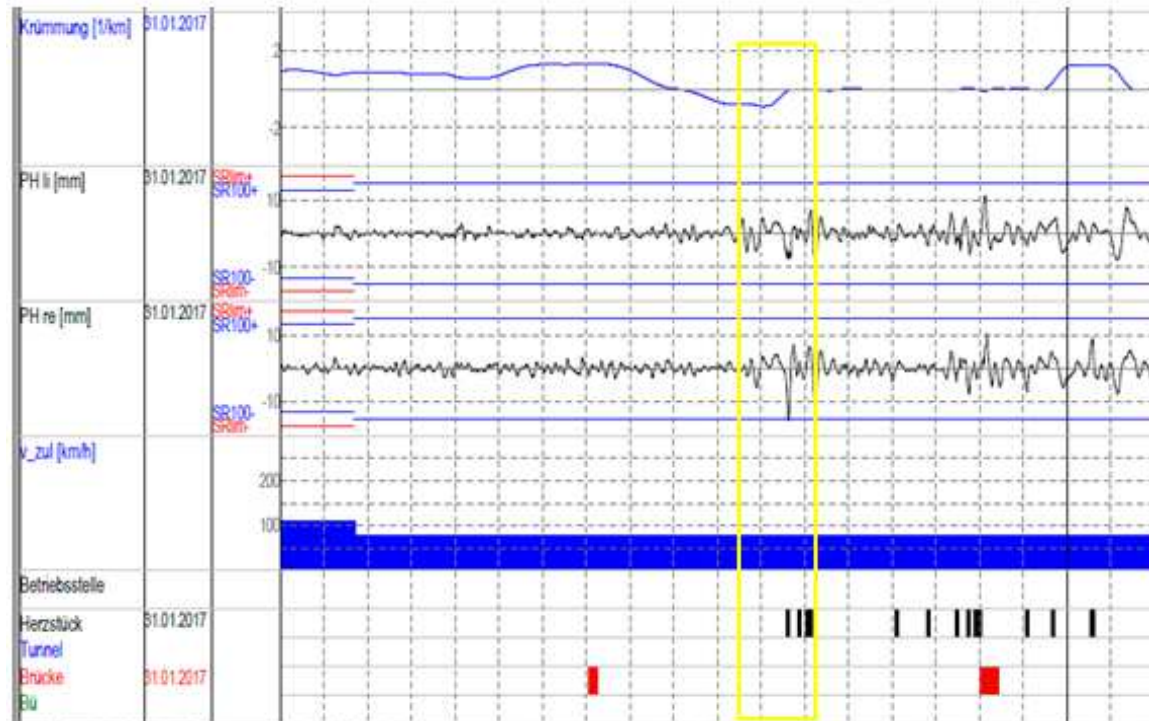


Abb. 20: Darstellung der Inspektionsmessungen aus IIS, Teil II



<div> <div>Strecke</div> <div>2158 Bochum - Dortmund</div> </div> <div> <div>Gleisabschnitt</div> <div>Richtung 1 von 163,4 + 0 bis 163,7 + 0</div> </div>					
RAILab					
km von	km bis	Parameter	Wert	Schwellwert	Inspektions- datum
163,5 + 50	163,5 + 75	Spw Min: Unterschreitung Grenzw-	-6 mm	-5 mm	31.01.2017
163,6 + 25	163,6 + 50	LH rechts: Überschreitung SR100+	16 mm	15 mm	31.01.2017
163,6 + 50	163,6 + 75	ORE-Verw.	102	100	31.01.2017
			(3,79 ‰ bei 1,5 m)	(SR100 (Gw2) / 3,50 ‰)	

Abb. 21: Auszug Überschreitungsprotokoll RAILab vom 31.01.2017

Quelle: DB Netz AG, bearbeitet durch BEU

Gleisbegehung

Die Gleisbegehung nach Ril 821.2003 wurde fristgerecht durchgeführt. Das Gleis wurde letztmalig am 22.02.2017 durch einen Meister Fahrbahn inspiziert, wobei im Bereich der DKW 36 keine Mängel befundet wurden.

Nach Regelwerk hat der Alv die Vorgabe, die Gleise mindestens alle 24 Monate zu inspizieren. Bei der letzten Gleisbegehung vor der Entgleisung, die am 22.02.2017 durch einen Meister Fahrbahn erfolgte, wurde auf dem Inspektionsnachweis handschriftlich ergänzt, dass auch der Alv daran teilnahm.

Gleisbefahrungen

Die Gleisbefahrungen nach Ril 821.2004 wurden fristgerecht durchgeführt. Hierbei wurden im Bereich der DKW 36 keine Mängel befundet.

Für die Planung und die Durchführung der Gleisbefahrungen ist der Alv zuständig. Abweichend von den Vorgaben der Ril wurden die Gleisbefahrungen aber nicht vom Alv, sondern von anderen Instandhaltungspersonalen durchgeführt.

Ultraschallprüfung

Die Ultraschallprüfungen nach Ril 821.2007 wurden fristgerecht durchgeführt. Die DKW 36 wurde vor dem Ereignistag letztmalig am 16.03.2017 inspiziert. Hierbei wurden an der a-/b-Seite keine für die Entgleisung relevanten Befunde festgestellt.

### Weicheninspektion

Die Inspektionen der DKW 36 nach Ril 821.2005 wurden nur teilweise fristgerecht durchgeführt. Die DKW 36 wurde vor der Entgleisung letztmalig am 27.02.2017 inspiziert, wobei keine Überschreitungen der Inspektionsmaße oder andere Mängel festgestellt wurden.

Die DKW 36 wurde im Juni 2014 erneuert und für den Betrieb freigegeben. Die erste Regelinspektion hätte demnach gemäß Regelinspektionsabstand im November 2014 erfolgen müssen. 24 Monate später, also im November 2016, war neben der turnusmäßigen Regelinspektion auch innerhalb von vier Wochen nach Bewertung der Messergebnisse eine augenscheinliche Begutachtung der Weiche durch den Alv durchzuführen. Die Regelinspektion konnte nachgewiesen werden, doch die Durchführung der augenscheinlichen Kontrolle, die eine Aufgabe des Alv gewesen wäre, wurde stattdessen durch den Teamleiter Fahrbahn durchgeführt.

Die Regelinspektion einer Weiche beinhaltet die Messung und Auswertung der Spurführungsmaße, der gegenseitigen Höhenlage, der Zungenprüfung und des materiellen und geometrischen Zustandes der jeweiligen Konstruktionsform. Entsprechend der Ril 821.2005 ist für die DKW 36 die Checkliste einer DKW 54-190-1:9 bindend. Diese Checkliste, die Bestandteil des Weichenprüfblattes ist, war jedoch weder als Anhang zur Weicheninspektion beigelegt noch wurde sie der BEU einzeln vorgelegt.

Der materielle und geometrische Zustand ist augenscheinlich und entsprechend der nach Checkliste der jeweiligen Konstruktionsform angeführten Punkte zu beurteilen. Besonderes Augenmerk ist dabei auf den Fahrflächenzustand zu richten. Eine Verformung an der Zunge hätte bei der letzten Prüfung vor der Entgleisung auffallen müssen. Jedoch wurden derartige Mängel weder bei den Regelinspektionen des Meisters Fahrbahn noch bei der durchzuführenden augenscheinlichen Begutachtung durch den Alv dokumentiert.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Verformungen durch das großflächig anhaftende Spurkranzschmierfett an der Zunge schlicht nicht erkennbar waren. Die ungewöhnliche Fettansammlung deutete darauf hin, dass beim Anfahren der Spurkränze auf die Zunge Probleme vorlagen. Dies hätte umso deutlicher klar sein müssen, da die Zunge nur geradeaus befahren wurde. Die Ril 821.2005 schreibt für eine augenscheinliche Prüfung vor, den Prüfbereich zu reinigen. Da der Mangel bei keiner der Inspektionen entdeckt wurde und keine Nachweise zur Begutachtung und Bewertungen gemäß Checkliste vorlagen, konnte nicht nachvollzogen werden, ob diese Prüfungen überhaupt durchgeführt wurden.

## Fazit

Unter Einhaltung der in Ril 821.2005 vorgegebenen Verfahrensweisen zur Inspektion von Weichen hätten die plastische Verformung sowie die Gratbildung an der Zungenspitze von einem fachkundigen Inspektionspersonal erkannt werden müssen. Aufgrund des fehlenden Befundes besteht allerdings auch die Möglichkeit, dass die Materialverformung an der Zunge dem Instandhaltungspersonal bekannt war, dieser Zustand aber nicht als befundwürdig eingestuft wurde und deshalb in den Inspektionsniederschriften fehlte. Ein derartiges Agieren lässt einzeln oder in Kombination betrachtete fehlende Klarheit im Regelwerk sowie Defizite bei der fachlichen Durchführung der Inspektion erkennen.

### **4.3.3 Gleismessfahrt vom 15.05.2017**

Aufgrund der optischen Feststellungen von Gleislagefehlern an der Entgleisungsstelle sowie einer Überprüfung der zwischenzeitlich vorgelegten Inspektionsergebnisse wurde eine aktuelle Gleismessfahrt durch die BEU gefordert.

Am 15.05.2017 wurde vor und im Entgleisungsbereich eine Messfahrt mit einem Messzug (MISS-GMTZ) der DB Netz AG durchgeführt. Dabei wurde die Strecke von km 163,550 bis km 163,806 hinsichtlich der aktuellen Gleislage neu vermessen. Die Messfahrt konnte aufgrund der durch die Entgleisungsfolgen eingeschränkt verfügbaren Infrastruktur nur entgegen der Fahrtrichtung des entgleisten ICE erfolgen. Die Messung bestätigte weitgehend die bereits bei vorherigen Inspektionen dokumentierten Ergebnisse. Die vorhandenen Gleislagefehler ( $>SR_{100}$ ) vor der DKW 36 hatten sich zwar leicht vergrößert, waren aber weiterhin als  $SR_{100}$  Überschreitung nach Ril 821.2001 einzustufen. Bei dem bereits erwähnten Pfeilhöhenfehler, der  $SR_{100}$  erreicht hatte, halbierte sich der Messwert allerdings. Eine zwischenzeitige Instandsetzung konnte vom EIU nicht belegt werden. Die vorhandene Gleislage ist nicht als entgleisungsverursachend einzustufen.

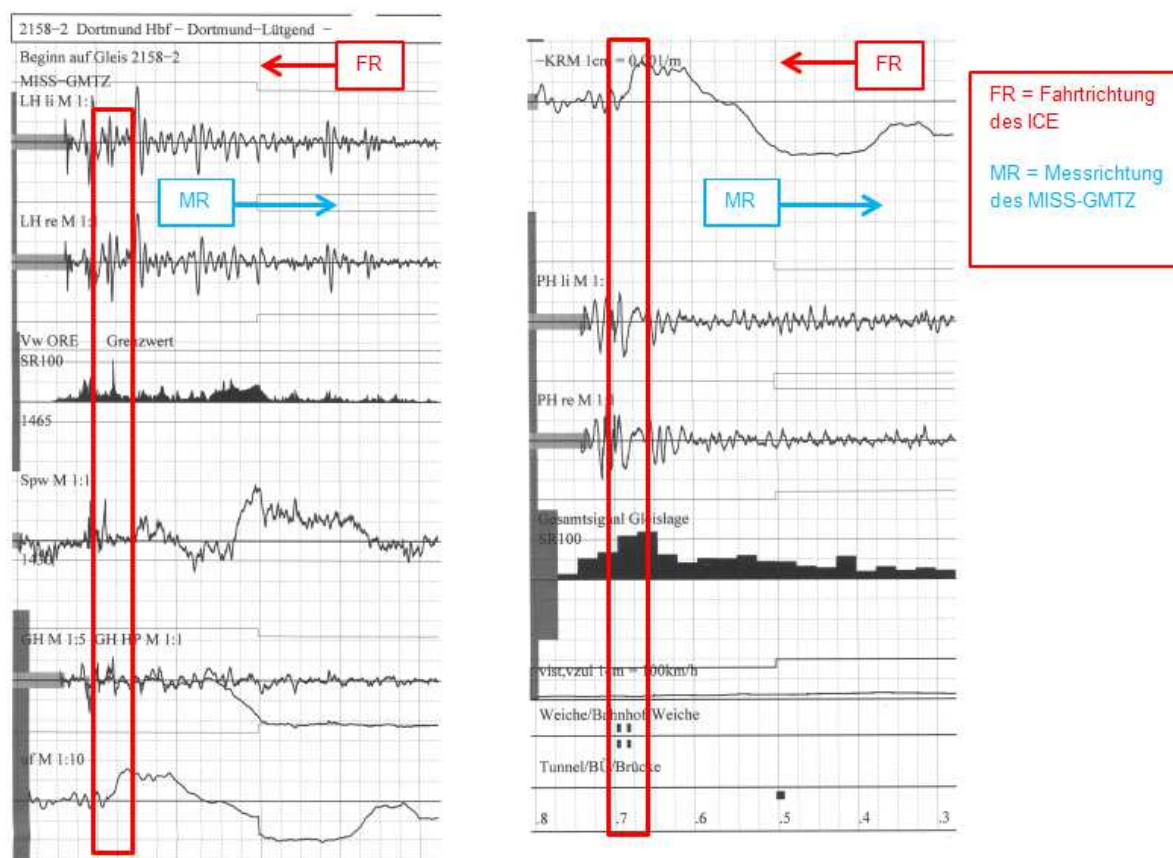


Abb. 22: Messschrieb MISS-GMTZ vom 15.05.2017

2158-2 Dortmund Hbf - Dortmund-Lütgend				15.05.2017 21:07				MG17051502.srh (1)	
km	nicht belegt	LH li/re Dreipunkt > SR100 [mm]	GH Hochpass > SR100 [mm]	ORE-Vw > SR100	nicht belegt	PH li/re Dreipunkt > SR100 [mm]	Spw 1435 Min/Max > SR100 [mm]	nicht belegt	
163,678 + 000				110					
163,653 + 000		18							
163,653 + 000		18							
163,582 + 000							-8		

Abb. 23: Auszug Überschreitungsprotokoll

Ergänzend wurden zur Beurteilung des Fahrverhaltens von Drehgestellen im Entgleisungsbereich am 16.05.2017 mehrere Testfahrten mit unterschiedlichen, aufgrund der Entgleisungsschäden eingeschränkten Geschwindigkeiten bis max. 25 km/h durchgeführt. Ein ungewöhnliches Fahrverhalten wurde dabei nicht festgestellt.

Es ist anzumerken, dass der Weichenantrieb in Absprache mit der BEU zwischenzeitlich aus- und wieder eingebaut wurde.

Die Abb. 24–26 entstanden bei den Testfahrten am 16.05.2017 vor der linken Weichenzunge. Der gelbe Pfeil (links) zeigt auf die Verformungsstelle, der orange Pfeil (rechts) markiert die ersten deutlichen Entgleisungsspuren auf Höhe der Stützknaggen, etwa 5 m nach dem Zungenanfang. Bei einer Entgleisungsgeschwindigkeit von ca. 70 km/h legt das Rad pro Sekunde einen Weg von etwa 19,5 m zurück. Somit beträgt die zeitliche Abfolge zum räumlichen Abstand weniger als 0,3 Sekunden. Ob ein kausaler Zusammenhang zwischen beiden Feststellungen besteht, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen in den folgenden Kapiteln.



Abb. 24: Situation vor der Befahrung





Abb. 25: Rad auf der verformten Weichenzunge

Bei der Überfahrt zu Simulationszwecken wurde deutlich erkennbar, dass sich der Abdruck des Spurkranzes auf der Weichenzunge gebildet hat. Diese Verformungsstelle wird auf der folgenden Abbildung deutlich.



Abb. 26: Verformungsstelle

Die Abb. 27 und 28 zeigen untypische Schleifspuren (1) auf dem ersten Gleitstuhl direkt an der Stelle der Verformung. Das ständige harte Anfahren an der Zunge führte bei der Befahrung zu ungewollten Bewegungen an der verschlossenen Zungenspitze. Dies hatte zur Folge, dass sich die Verschraubung am Weichenkasten lockerte. Weiterhin lassen die ersten beiden Gleitstuhlplatten eine vertikale Verschiebung (2) von wenigen Millimetern erkennen. Durch den Verschluss wird die Zunge am Fuß mit der Backenschiene arretiert und kann durch die Auswirkungen des Nichtanliegens der Zunge an den Knaggen an der Fahrfläche leicht klaffen. Durch das harte Anfahren der Räder wurde die Zunge oben an die Backenschiene gedrückt und verursachte am Zungenfuß die sichtbare Schleifspur (2). Derartige Spuren sind in der DKW 36 nur an diesen beiden Gleitstühlen erkennbar. Die Verformungsstelle auf Abb. 27 und 28 ist durch einen roten Pfeil an der linken Zunge gekennzeichnet.



Abb. 27: Schleifspuren 1 und 2; Gleitstuhl linke Zunge

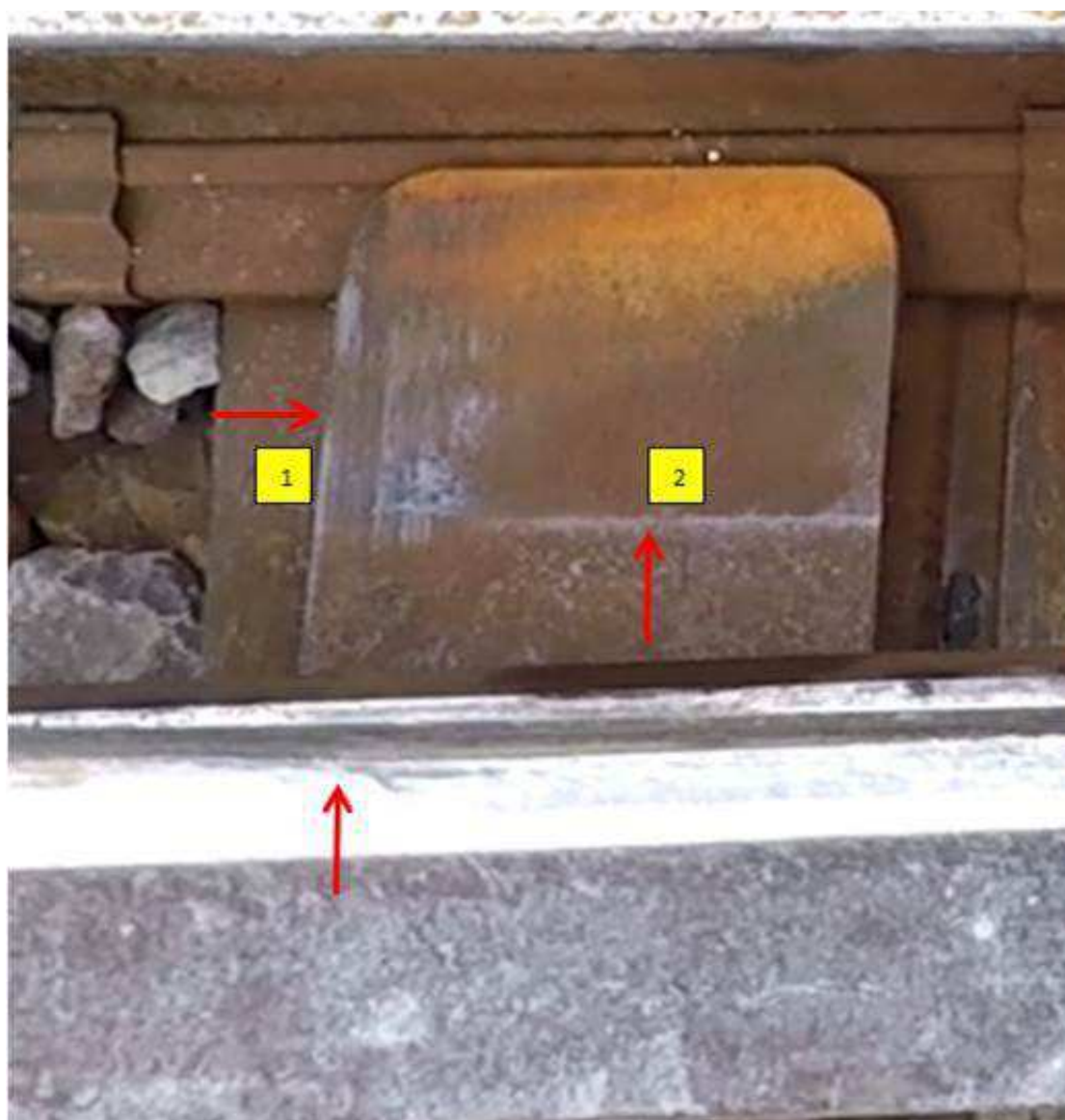


Abb. 28: erster Gleitstuhl linke Zunge

#### 4.3.4 Externe Gutachten zur Unfallursache

Zur fachlichen und objektiven Klärung von Sachverhalten wurden im Rahmen der Unfalluntersuchung verschiedene externe Gutachten in Auftrag gegeben.

##### 4.3.4.1 Erstellung einer Mehrkörpersimulation durch DB Systemtechnik GmbH Minden (Westf.)

Aufgrund der zunächst unklaren Unfallursache beauftragte das EVU DB Fernverkehr AG die Firma DB Systemtechnik GmbH am Standort Minden (Westf.), das Anlaufen an der Weichenzunge mittels einer Mehrkörpersimulation (MKS) näher zu untersuchen.

Für die Simulation wurden Modelle von Wagenkästen, Drehgestellen, Radsätzen und Radprofilen sowie der Strecke und der Schienenprofile erstellt. Mithilfe des Simulationsprogramms SIMPACK und den Ergebnissen der Modellierungen sollten Rückschlüsse auf das Fahrverhalten von ICE 945 gezogen werden.

Nach Abstimmung mit den Beteiligten entschied sich die BEU, die Entwicklung des Gutachtens zu begleiten. Die Ergebnisse der Simulation sind als Anlage beigefügt.

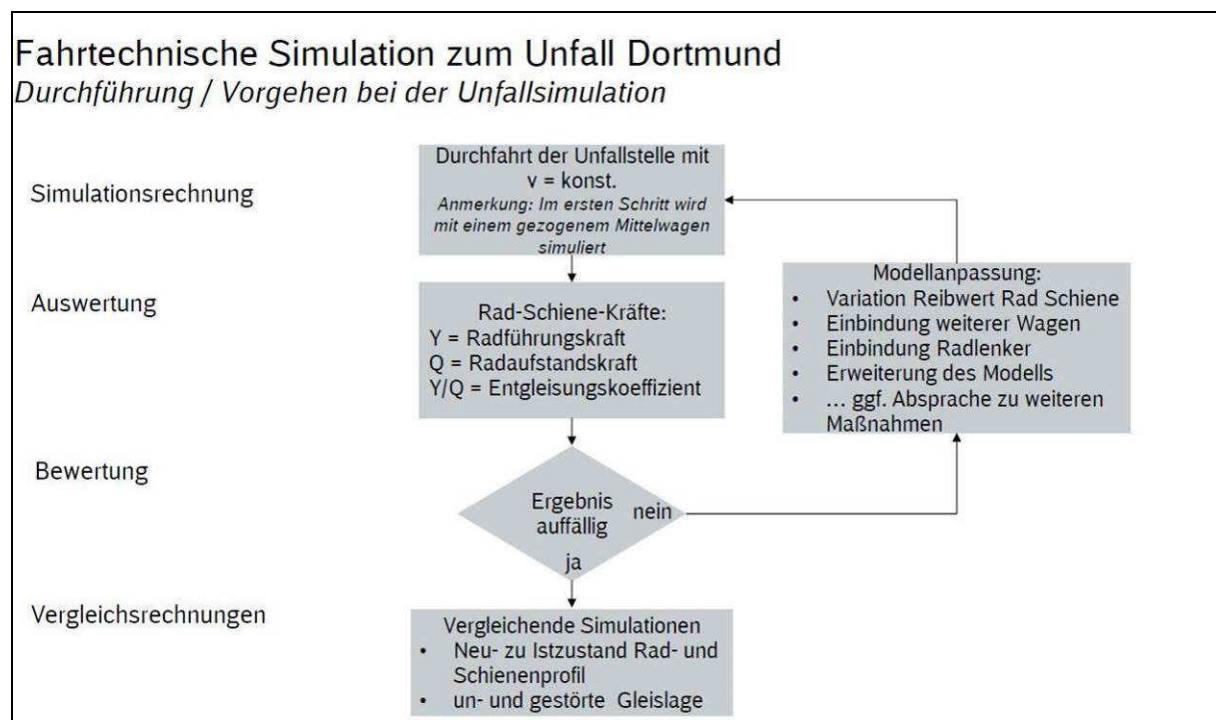


Abb. 29: Ablaufdiagramm Simulation  
Quelle: DB Systemtechnik GmbH

---

Materialprüfung der Weichenzungenvorrichtung durch DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser

Wegen des ungewöhnlichen Schadbildes an der linken Weichenzunge wurde durch die BEU eine metallurgische Materialuntersuchung bei DB Systemtechnik GmbH am Standort Kirchmöser in Auftrag gegeben. Laut Weichenskizze handelte es sich bei dem zu untersuchenden Material um Stahl der Güte R260.

Durch verschiedene Untersuchungsverfahren konnte festgestellt werden, dass das geprüfte Material der Weichenzunge frei von Gefügefehlern war und der Güte R260 entsprach. Weiter wurden Materialverquetschungen im vorderen Bereich der Weichenzunge festgestellt. Unter dem Elektronenmikroskop wurde erkennbar, dass diese Materialverformungen annähernd den Abdruck eines Spurkranzes aufwiesen.

Beauftragung eines Gutachtens bei der Firma SIMTES KG – Simulation technischer Systeme, Bielefeld

Die BEU entschied sich, die seitens der DB Fernverkehr AG eingeleitete Untersuchung durch Mehrkörpersimulation zu begleiten und keine eigene Simulation anzustreben. Zur fachlichen Begleitung und unabhängigen Beurteilung der umfangreichen Untersuchungen und Simulationen der DB Systemtechnik GmbH wurde von der BEU ein externer Sachverständiger der Firma SIMTES KG – Simulation technischer Systeme, Bielefeld beauftragt.

#### **4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik**

Die folgenden Kapitel dokumentieren die Untersuchungen der einzelnen Komponenten im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik.

##### **4.4.1 Stellwerk Dhf**

Bei dem Stellwerk Dhf handelt es sich um die Bauform Sp Dr S 60.

Auf der Stelltafel wurde für die DKW 36 a/b eine Auffahrmeldung angezeigt. Der Weichenteil c/d war wegen einer bestehenden Flankenschutzanforderung noch im Verschluss. Im betroffenen Bahnhofskopf waren insgesamt drei Fahrstraßen eingestellt. Die Fahrstraße für ICE 945 war bezeichnet mit D540 – N8. Bei Eintreffen der BEU war die Fahrstraße teilweise aufgelöst.

##### **4.4.2 Relaisgruppenüberprüfung Stellwerk Dhf**

Noch am Abend des Ereignisses wurde durch Mitarbeiter der DB Netz AG und der BEU eine erste augenscheinliche Überprüfung der einzelnen Relaisgruppen für die Zugfahrstraße und



der dazugehörigen Weichen im Relaisraum des Stellwerks Dhf durchgeführt. Die Relais der Weichengruppe der betroffenen DKW 36 a/b zeigten die für die Zugfahrt vorgesehene Stellung für die Fahrt nach rechts an.

Die Relaisgruppe der DKW 36 a/b wurde im Jahr 2011 im Signalwerk Wuppertal der DB Netz AG gefertigt. Das genaue Einbaudatum konnte nicht ermittelt werden.

Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem EBA am 03.05.2017 im Relaisraum des Stellwerks Dhf begonnen und am 05.05.2017 fortgesetzt. Es wurden die Schaltzustände der Relaisgruppen der DKW 36 a/b geprüft sowie Messungen auf Erdschlüsse durchgeführt.

Am 09.05.2017 wurde die Relaisgruppe der Weiche 36 a/b im Beisein von EBA und BEU durch den Hersteller begutachtet. Auch bei diesen Untersuchungen wurden bis auf normal einzustufende Verschleißmerkmale keine Auffälligkeiten festgestellt.

#### **4.4.2.1 Gutachten Relaisgruppenuntersuchung durch die Fa. Siemens**

Am 09.05.2017 wurde die Relaisgruppe der Weiche 36 a/b im Beisein von EBA und BEU durch den Hersteller untersucht. Auch bei diesen Untersuchungen wurden bis auf normal einzustufende Verschleißmerkmale keine Auffälligkeiten festgestellt.

#### **4.4.3 Störungsdrucker Stellwerk Dhf**

Es wurde festgestellt, dass der Eintrag mit der Zählnummer 93 zweimal vorhanden war. Die zählpflichtige Handlung stand zwar nicht im Zusammenhang mit dem Ereignis, dennoch handelt es sich bei der Doppelung der Zählnummer um eine Störung. Weitere Auswertungen des Schreibstreifens zeigten, dass es bereits wiederholt zu Doppelungen der Zählnummer gekommen war. In diesem Fall ist der „Nachweis der Zählwerke“ immer handschriftlich zu führen

In Ril 482.9001 „Signalanlagen bedienen“ ist Folgendes geregelt:

##### **(8) Nachweis der Zählwerke**

(1) „Zählpflichtige Hilfsbedienungen werden durch Zählwerke überwacht. Die Zählwerke sind im Nachweis der Zählwerke nach Vordruck 482.9001V04 aufgeführt. Der Bediener muss seine Bedienungshandlungen durch Eintrag der Zählwerksnummer nachweisen.“

(2) „Ordnungsgemäß arbeitende Störungsdrucker ersetzen die Einträge der Zählwerksnummern im Nachweis der Zählwerke. Hilfshandlungen sind auf der registrierenden Einrichtung

mit Angabe des Bedienungsgrundes nachzuweisen. Bei ausgeschaltetem bzw. gestörtem Störungsdrucker ist der Nachweis der Zählwerke zu führen.“

The photograph shows a vertical train log strip with handwritten entries. A red circle highlights the top section where the running number '1853 93' is repeated twice. A black box with white text 'Doppelung der laufenden Nummer' points to this duplication. Other handwritten notes include 'Diskontinuität' at the top, 'Keine Fahrbekennung' and 'TJ61 Fe' in the middle, and 'Fahst-Wechsel' and 'Fe' near the bottom. The log strip contains columns for time (e.g., 2 04, 1 04), distance (e.g., 1853, 1816), and other numerical data.

Time	Distance	Other Data
2 04	1853	93
2 04	1853	93
2 04	1816	92
1 04	1816	91
1 04	1816	90
2 04	1815	89
2 03	1527	88
2 03	1526	87
2 03	1526	86
2 03	1526	85
2 04	1523	84
2 02	1254	83
2 02	1254	82
2 04	1031	81
2 04	1031	80

Abb. 30: Schreibstreifen des Störungsdruckers Stellwerk Dhf

#### 4.4.4 Weichenantrieb S700 der DKW 36 a/b

Bei dem Weichenantrieb handelte es sich um einen auffahrbaren Drehstromantrieb mit Klin-  
kenverschluss der Fa. Siemens. Der Antrieb wurde am 05.06.2014 vom Signalwerk Wupper-  
tal ausgeliefert. Es ist davon auszugehen, dass der Weichenantrieb gemeinsam mit der  
DKW 36 im Rahmen planmäßiger Bauarbeiten eingebaut wurde. Bei Eintreffen der BEU  
befanden sich die Weichenzungen der DKW 36 a/b nicht in der für die Fahrt bestimmten  
Lage. Die rechte Zunge lag an, die linke Zunge befand sich in ca. 100 mm Abstand zu der  
Backenschiene, jedoch ohne, dass die DKW ihre Endlage erreicht hatte.

Erste Untersuchungen des Weichenantriebs ergaben, dass die Befestigungsschrauben des Weichenkastens an der s.g. Z-Schiene sowie die Befestigungsschrauben der Z-Schiene mit dem Fundament nicht vollständig angezogen waren. Der Weichenkasten ließ sich in jede Richtung einige Millimeter bewegen. Nach dem Öffnen des Weichenkastens im Beisein der BEU wurde ersichtlich, dass sich ein Prüferhaken nicht in Endlage befand. Laut Inspektionsunterlagen wurde die Befestigung des Weichenkastens vor dem Ereignis letztmalig am 17.02.2017 überprüft.



Abb. 31: Weichenantrieb S700 der DKW 36 a/b

#### 4.4.5 Auffahrmeldungen der DKW 36 a/b

Laut „Arbeits- und Störungsbuch“ erzeugte die DKW 36 a/b bereits am 22.04.2017 eine Auffahrmeldung. Weder auf dem Ausdruck des Störungsdruckers noch im „Arbeits- und Störungsbuch“ wurde der Grund für die Auffahrmeldung hinterlegt. Die vor Ort zur Behebung der Störung eingesetzten LST-Mitarbeiter der DB Netz AG fanden die Weiche in einer Endlage vor. Beim probeweisen Umlauf der Weiche fiel auf, dass sich dabei der Weichenkasten bewegte.



Unmittelbar nach der Zugentgleisung am 01.05.2017 wurde bei den Untersuchungen des Weichenantriebes erneut ein loser Weichenkasten festgestellt. Ob sich dieser zwischen dem 22.04.2017 und dem 01.05.2017 erneut löste oder aber die Zugentgleisung dazu beitrug, konnte nicht mehr geklärt werden.

Die Erd- und Nebenschlussfreiheit der Kabeladern zum Weichenantrieb der DKW 36 a/b wurde am 02.05.2017 festgestellt. Alle Adern wiesen einen ausreichenden Widerstand gegen die Erde von mind. 5,9 M $\Omega$  auf. Bei weiteren Untersuchungen durch das EBA wurden die elektrischen Kontakte des Weichenantriebes gemäß Ril 892 überprüft. Dabei wurden keine Mängel festgestellt.

#### **4.4.6 Klinkenverschluss CKA 12**

Bei dem verwendeten Klinkenverschluss handelte es sich um die Ausführung Siemens-Schweiz. Der Einbau erfolgte gemeinsam mit dem Weichenantrieb S700 im Rahmen der Arbeiten an DKW 36 im Jahr 2014.

Der Klinkenverschluss wurde durch die BEU und die DB Netz AG noch am Ereignistag sowie vom EBA am folgenden Tag untersucht. Nach Öffnen des Weichenkastens wurde erkennbar, dass der vorgesehene Prüferhaken nicht vollständig in die Nut der Riegelstange eingehakt war. Nach dem versuchsweisen Umstellen der Weiche per Handkurbel rastete der Prüferhaken dann vollständig ein. Auch bei weiteren Umstellvorgängen rastete der Prüferhaken vollständig ein.

#### **4.4.7 Untersuchung des Weichenantriebes S700 im Signalwerk Wuppertal**

Am 08.06.2017 wurde der Weichenantrieb S700 der DKW 36 a/b im Signalwerk Wuppertal der DB Netz AG im Rahmen einer Expertenrunde begutachtet.

Der Zustand des Weichenantriebs entsprach augenscheinlich der Nutzungsdauer. Optisch wurden keine Mängel festgestellt. Die Prüfung des Weichenantriebs wurde nach den Prüfvorgaben der „Prüfanweisung Signalwerk“ durchgeführt.

Im Einzelnen wurden keine Mängel am Weichenantrieb festgestellt. Jedoch konnte weder die Stellkraftprüfung noch die Auffahrbarkeit geprüft werden. Als Begründung wurden Änderungen in den Prüfparametern angeführt, welche nicht abbildbar seien.

Innerhalb der Inspektion des Weichenantriebs am Abend des Ereignisses wurde bei einer Messung vor Ort eine Stellkraft von 5800 N festgestellt. Dieser Wert liegt unter der maximalen Vorgabe des Regelwerkes und war nicht zu beanstanden.

#### 4.5 Untersuchung der betrieblichen Handlungen

Im Rahmen der Sachverhaltsermittlung ergaben sich keine Erkenntnisse eines betrieblichen Fehlverhaltens des Zugpersonals des ICE 945. Aufgrund dessen wurden keine weiteren Untersuchungen durchgeführt.

Es gab ebenso keine Hinweise auf ein betriebliches Fehlverhalten des Stellwerkspersonals. Der Fdl hatte die Zugfahrstraße mittels Nummernpult eingestellt und der Zugfahrt durch Fahrtstellung des Esig D540 zugestimmt. Aufgrund dessen wurden keine weiteren Untersuchungen durchgeführt.

#### 4.6 Untersuchung von Fahrzeugen

Bei dem Zug handelt es sich um einen ICE der Baureihe 402. Halter und EVU des Fahrzeugs ist die DB Fernverkehr AG. Der Triebzug (Tz) 229 wurde 1996 von der Arbeitsgemeinschaft Siemens/Adtranz ausgeliefert.

Länge [m]	Dienstmasse [t]	Vmax [km/h]	Nennleistung [kVA]	Anzahl der Fahrmotoren	Bremsbauart
205,52	455	280	5200	vier	KE-R-Mg(D) ep

Tabelle 2: Kenndaten ICE 2

Der Zug bestand am Tag des Ereignisses aus insgesamt einem TK, sechs MW und einem SW. Für die Fahrt von Düsseldorf Hbf nach Berlin Ostbahnhof fuhr der Zug mit dem TK voraus.

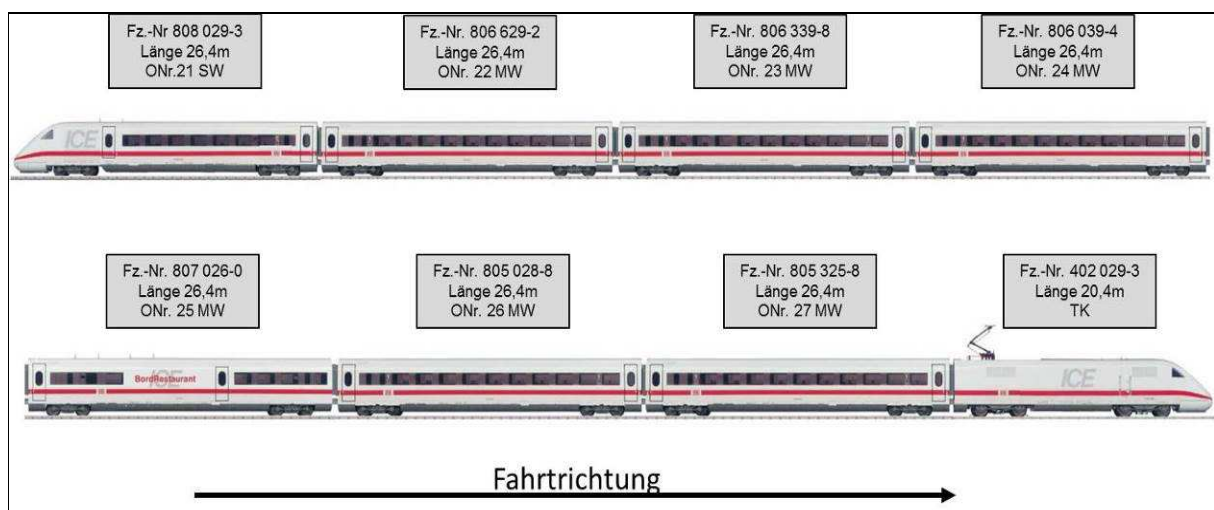


Abb. 32: Übersicht Tz 229, ICE 945

#### 4.6.1 Zustand des Tz 229 nach dem Ereignis

Nach der Entgleisung der letzten beiden Wagen des Tz 229 kam die Zugspitze ca. 300 m hinter der Entgleisungsstelle zum Halten. Während die ersten fünf Fahrzeuge augenscheinlich unversehrt waren, zeigten sich an MW 806 629-2 und SW 808 029-3 erhebliche Beschädigungen.



Abb. 33: Aufgleisung SW 808 029-3



Abb. 34: Übergang MW 806 629-2 zu SW 808 029-3



Abb. 35: entgleistes DG MW 806 629-2



Abb. 36: entgleistes DG 808 029-3

#### 4.6.2 Werkstattaufenthalt 24.–29.04.2017

Der Tz 229 befand sich in der Zeit vom 24. bis 29.04.2017 zu Arbeiten im Rahmen des Qualitätsprogrammes RESET im Instandhaltungswerk der DB Fernverkehr AG in Berlin-Rummelsburg. Nach vorliegenden Unterlagen wurden am Zug umfangreiche Instandsetzungsarbeiten durchgeführt, die auch einen Tausch der Triebdrehgestelle (TDG) am TK 402 029 beinhalteten. Arbeiten, die auf einen Mangel der Laufeigenschaften an den entgleisten Wagen hätten hindeuten können, wurden nicht durchgeführt.

Wegen des Tausches der TDG wurde eine Probefahrt durchgeführt, die ohne Beanstandung verlief.

Der Zug wurde am 01.05.2017 nach Düsseldorf Abstellbahnhof überführt. Am gleichen Tag wurde der Tz 229 als ICE 945 für die Fahrt von Düsseldorf Hbf nach Berlin Ostbahnhof eingesetzt.

#### **4.6.3 Zuguntersuchung im Werk Dortmund**

Am 02.05.2017 wurde der Zug am Ereignisort getrennt und bis auf die letzten drei Wagen in das Werk der DB Fernverkehr AG in Dortmund überführt. Nachdem die Aufgleisung der beschädigten Wagen am Ereignisort beendet war, wurden diese ebenfalls in das Werk Dortmund überführt.

#### **4.6.4 Berührungsgeometrie Rad/Schiene**

Am 03.05.2017 wurde von der DB Systemtechnik GmbH im Werk Dortmund die Abzeichnung der Radprofile durchgeführt. Es wurden die Maße  $S_d$ ,  $S_h$ ,  $q_R$  sowie  $a_R$  aufgenommen. Laut Berichtsersteller konnten keine Mängel festgestellt werden.

Bei der Auswertung der Spurkranzwinkel wurden jedoch teilweise Werte von deutlich über  $70^\circ$  ermittelt.

Die Aufnahme der Radprofile beinhaltete die Bestimmung der äquivalenten Konizität. Die äquivalente Konizität ist mitbestimmend für die Laufeigenschaften eines RS. Einflussgrößen sind die Geometrie der Räder und des Schienenkopfes.

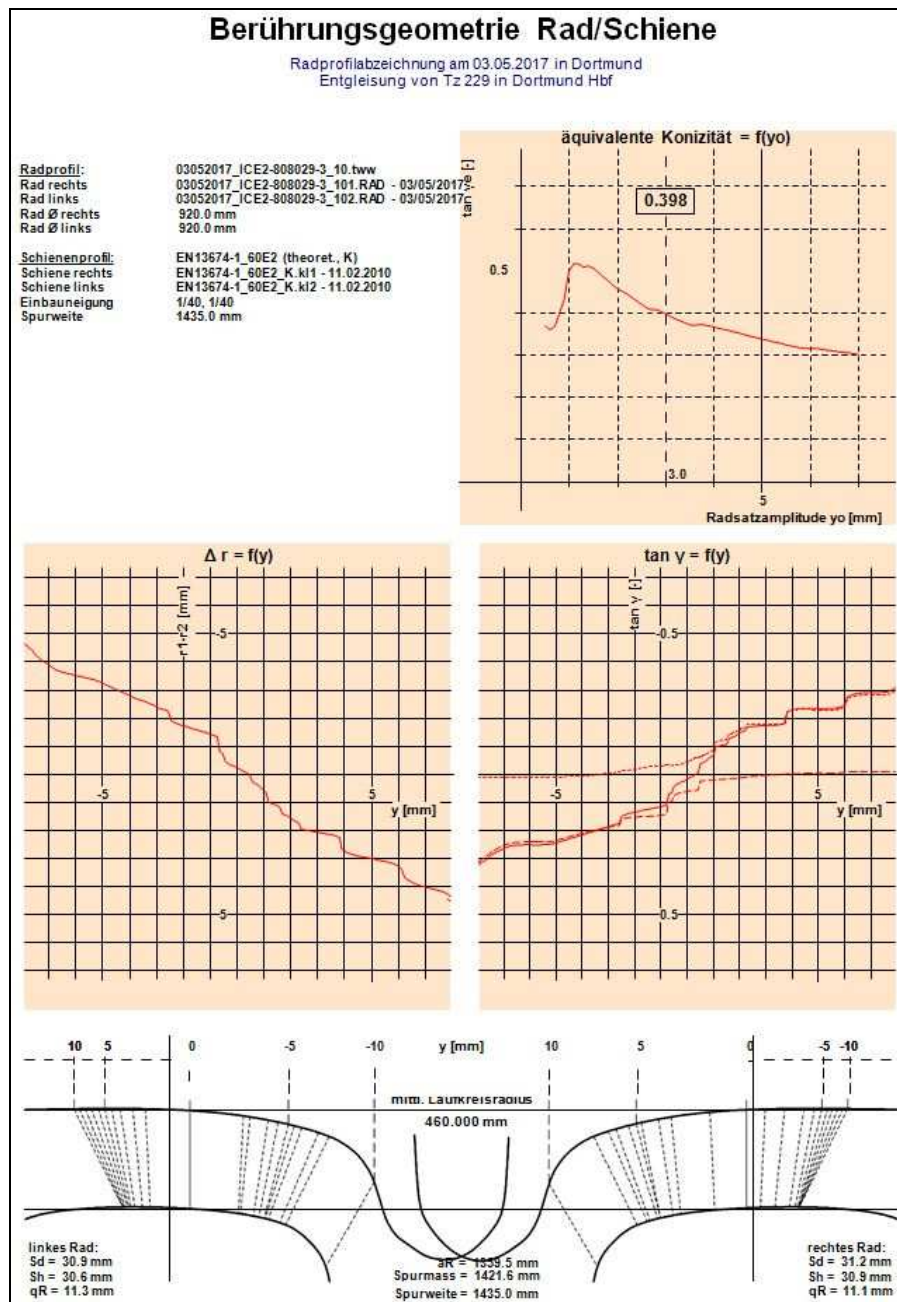


Abb. 37: Profilabzeichnung 808 029 Rs 1  
Quelle: DB Systemtechnik GmbH, bearbeitet durch BEU

#### 4.6.5 Beurteilung der Drehgestelle

Vom 12. bis 18.05.2017 erfolgte im Rahmen der Sachverhaltsermittlung die Demontage und visuelle Beurteilung der entgleisten DG sowie des vorlaufenden DG von MW 806 339-8. Bei den DG handelt es sich um Laufdrehgestelle vom Typ SGP 400. Als Radsatzführung der schraubengefederten Primärstufe ist eine Zapfenführung vorgesehen. Horizontale Kräfte aus



dem Rad-Schiene-Kontakt werden über Radsatzführungsbuchsen, die in einer Gleitlagerung geführt werden, auf den Drehgestellrahmen übertragen. Die Sekundärfederung ist als Luftfederung ausgeführt, die mit einer Gummi-Konus-Feder in Reihe geschaltet ist und bei Ausfall der Luftfeder gleichzeitig als Nottfederung fungiert. Zur Vermeidung instabilen Fahrzeuglaufs sind pro Drehgestellseite zwei parallel wirkende Schlingerdämpfer montiert. Die Drehgestellanlenkung erfolgt über eine Lemniskatenführung (Zug-/Druckstangen). Dabei werden die horizontalen Kräfte zwischen DG und Wagenkasten vom Drehzapfen auf ein daran angeschraubtes Jochgehäuse übertragen, das wiederum über zwei Lenker am Drehgestellrahmen befestigt ist.



Abb. 38: SGP 400

Die letzte Revision (IS 700) des Tz 229 mit einer Aufarbeitung der Drehgestelle (IS A70) erfolgte im April 2015. Seitdem hatte der Zug ca. 1.000.000 km zurückgelegt.

Folgende Bauteile wurden nach Demontage untersucht:

- Primärdämpfer
- Abhebesicherungen, Primärfederstufe, untere Hälften der Radsatzlagergehäuse
- Luftfederbälge samt Integralbehälter
- Zusatzfedersystem
- Querdämpfer
- Bremsen
- Radsatzführungsbuchsen



Abb. 39: Kennzeichnung aller Komponenten



Abb. 40: demontierte Primärfedern

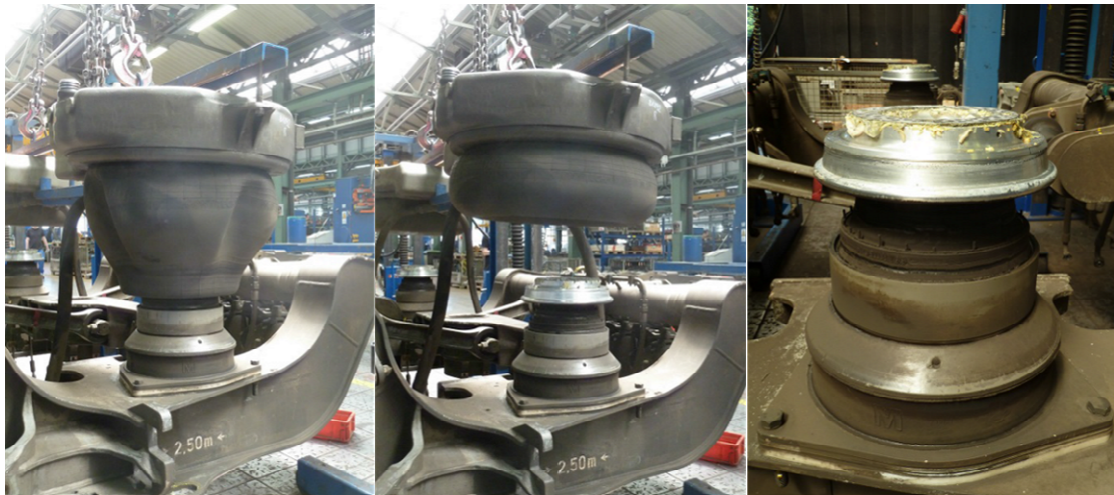


Abb. 41: Demontage der Luftfederbälge vom Zusatzfedersystem





Abb. 42: Zug-/Druckstangen



Abb. 43: Bremsbauteile

Ziel der visuellen Begutachtung der fünf Drehgestelle war es, anhand der vorliegenden Schäden zu beurteilen, ob diese für die Entgleisung ursächlich gewesen sein konnten oder es sich um Folgeschäden handelte.

Begutachtung der Drehgestelle und Komponenten durch die DB Systemtechnik GmbH, Minden (Westf).

Die Zusammenfassung des Berichtes der DB Systemtechnik GmbH im Auftrag der DB Fernverkehr GmbH zur Begutachtung der DG und Komponenten beinhaltet folgenden Tenor:

*„Es wurden an vier entgleisten und einem nicht entgleisten Drehgestell Untersuchungen durchgeführt, mit denen die fahrzeugseitige Ursache für die Entgleisung des ICE 2, Tz 229, am 01.05.2017 gesucht werden sollte. Dies beinhaltete die Beurteilung der abgezeichneten Radprofile, eine visuelle Begutachtung der Komponenten bei der Zerlegung der Drehgestelle und eine Bewertung der relevanten Drehgestell- und Wagenkastenmaße. Des Weiteren wurden die Federn und Dämpfer in Prüfmaschinen auf ihre Kennlinien untersucht, die Drehgestellrahmen vermessen und die Passungen der Radsatzführung bestimmt.*

*Bei den Untersuchungen der Drehgestelle und deren Komponenten wurden viele Beschädigungen vorgefunden, die aus der Entgleisung resultierten. Bei gebrochenen Komponenten wurde insbesondere auf Ermüdungsschäden geachtet, die bereits vor dem Unfall aufgetreten sein können. Solche Schäden wurden jedoch nicht gefunden.*

*Die Vermessung der relevanten Drehgestell- und Wagenkastenmaße der nicht entgleisten Wagen des Rumpfzugs ergab mehrere Abweichungen der Höhen- und Quermaße. Eine*



---

*Nachvermessung nach Korrektur des Beladungszustands führte zu einer Verbesserung der Werte. Trotzdem lagen einige Werte, insbesondere des Restaurantwagens 807 026-0, außerhalb der zulässigen Grenzmaße. Die nachfolgend gemessenen Radaufstandskräfte lagen jedoch innerhalb der zulässigen Abweichungen rechts/links von 5 %. Die Prüfung der Komponenten hatte das Ziel, Abweichungen in den Kennlinien festzustellen, die nicht durch Überlastung begründet werden können. Die Federn zeigten mit Ausnahme leichter Unterschreitungen der Federhöhen, die durch Setzung hervorgerufen wurden, keine Auffälligkeiten. Bei den Dämpfern gab es einige Totalausfälle durch Überlastung, die zum Teil nicht prüfbar waren. An zwei Dämpfern wurden deutlich erhöhte Dämpferkräfte vorgefunden. Die Vermessung der Drehgestellrahmen ergab, dass an zwei Rahmen größere Verformungen an den Langträgern von  $> 3$  mm in vertikaler Richtung und an den anderen Rahmen der entgleisten Drehgestelle geringere Deformationen vorlagen, die für eine Weiterverwendung gesondert betrachtet werden müssen. Die Passungen zwischen der Radsatzführungsbuchse und der Gleitführung lagen an allen Drehgestellen im zulässigen Bereich, so dass eine Ursache der Entgleisung in der Radsatzführung ausgeschlossen werden kann. Insgesamt lässt sich festhalten, dass keine für die Entgleisung ursächlichen Schäden an den untersuchten Drehgestellen ermittelt wurden.“*

#### **4.6.6 Zug-/Druckstangen**

Die letzten drei Wagen des Tz 229 wurden zu weiteren Untersuchungen in das Werk der DB Instandsetzung AG nach Krefeld-Oppum überführt. Zur Überführung wurden die beschädigten Wagen auf Hilfsdrehgestelle gesetzt. Da eine feste Verbindung, mit der man die DG samt Wagenkasten hätte anheben können, wegen der teilweise zerstörten Zug-/Druckstangen nicht mehr bestand, wurden diese ausgebaut und sichergestellt. Nach dem Einbau intakter Zug-/Druckstangen konnten die Wagen auf Hilfsdrehgestelle gehoben werden. Die beschädigten Zug-/Druckstangen wurden zur Erstellung einer werkstofftechnischen Untersuchung an die RWTH Aachen übergeben. Bei diesen Untersuchungen sollte ermittelt werden, ob die vorhandenen Brüche durch das Ereignis ausgelöste Gewaltbrüche waren, oder ob es sich dabei um Ermüdungsbrüche handelte. Außerdem wurde der verwendete Werkstoff auf seine grundsätzliche Eignung als Zug-/Druckstange getestet.



Abb. 44: Zug-/Druckstange gebrochen



Abb. 45: Zug-/Druckstange Profilquerschnitt

#### 4.6.7 Fahrtverlaufsauswertung

Der Tz 229 ist mit einem Zugsicherungssystem der Bauform LZB 80/CIR-ELKE, System PZB 90, mit elektronischer Fahrtenregistrierung ausgerüstet.

Der Zug ICE 945 fuhr planmäßig von Düsseldorf Hbf nach Berlin Ostbahnhof, demnach sollte der Halt in Dortmund Hbf um 18:46 Uhr erfolgen. Die Zugfahrt ICE 945 erfolgte mit dem TK 402 029 voraus. Am Datensteller waren die Bremsart 9 (schnellwirkend) und 200 Brems Hundertstel eingegeben. Die Zugfahrt wurde im zu untersuchenden Streckenabschnitt im PZB-Betrieb durchgeführt.

Bei der Auswertung der Daten wurden die aufgezeichneten Wegdaten zur besseren Veranschaulichung den realen Streckendaten angepasst. Als Bezugspunkt wurde die Beeinflussung durch einen 1000-Hz-Gleismagnet in km 162,210 gewählt.

Die Daten wurden ordnungsgemäß auf einer Datenspeicherkassette (DSK) aufgezeichnet, und die aufgezeichnete Uhrzeit stimmte annähernd mit der realen Uhrzeit überein.

Der ICE 945 näherte sich dem Bf Dortmund Hbf mit einer Geschwindigkeit von ca. 108 km/h. Um 18:45:12 Uhr (DSK-Zeit) wurde bei einer Geschwindigkeit von ca. 106 km/h eine 1000-Hz-Beeinflussung mit ordnungsgemäßer Bedienung der Wachsamkeitstaste durch den Tf registriert. Die Beeinflussung wurde durch einen 1000-Hz-Gleismagnet am Standort des Einfahrtvorsignals Vd540 wegen der vorsignalisierten Geschwindigkeitsreduzierung auf 80 km/h ausgelöst. Der Tf senkte daraufhin mittels Betriebsbremsung die Geschwindigkeit des Zuges auf ca. 79 km/h und behielt diese anschließend über ca. 400 m bei. Danach senkte der Tf in Anbetracht des zu erwartenden Verkehrshalts am Bahnsteig die Geschwindigkeit zunächst allmählich weiter.

Die DKW 36 a/b, ca. in km 163,7, wurde von der Zugspitze mit einer Geschwindigkeit von ca. 71 km/h befahren. Im weiteren Verlauf der Fahrt erhöhte der Tf die Bremskraft des Zuges wegen des bevorstehenden Halts. Um 18:46:50 Uhr (DSK-Zeit) wurde bei einer Geschwindigkeit von ca. 16 km/h eine rapide Druckabsenkung in der Hauptluftleitung des Zuges auf unter 2,2 bar registriert. Die Ursache für diese Druckabsenkung in der Hauptluftleitung war mit hoher Wahrscheinlichkeit die Notbremsbetätigung durch den Zugchef. Unmittelbar danach, um 18:46:51 Uhr (DSK-Zeit), kam der Zug zum Halten.

Die Entgleisung erfolgte, unter Berücksichtigung der Zuglänge, bei einer Geschwindigkeit von ca. 70 km/h.

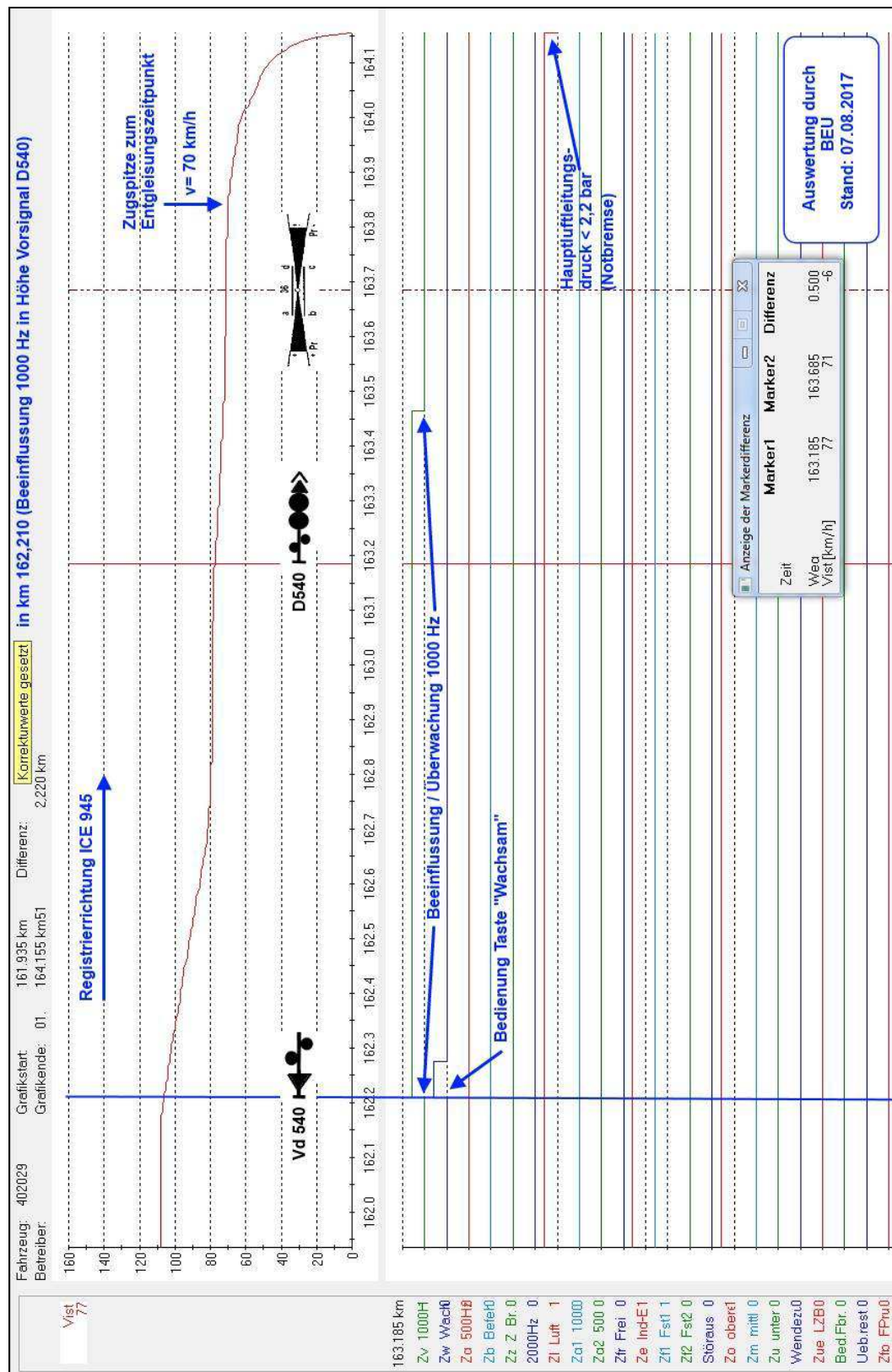


Abb. 46: grafische Darstellung der EFR-Daten

#### 4.7 Interpretation der Unfallspuren

Nachfolgend sind die Drehgestelle der letzten drei Wagen der Deutlichkeit halber entsprechend der Grafik mit den Buchstaben A–E gekennzeichnet.

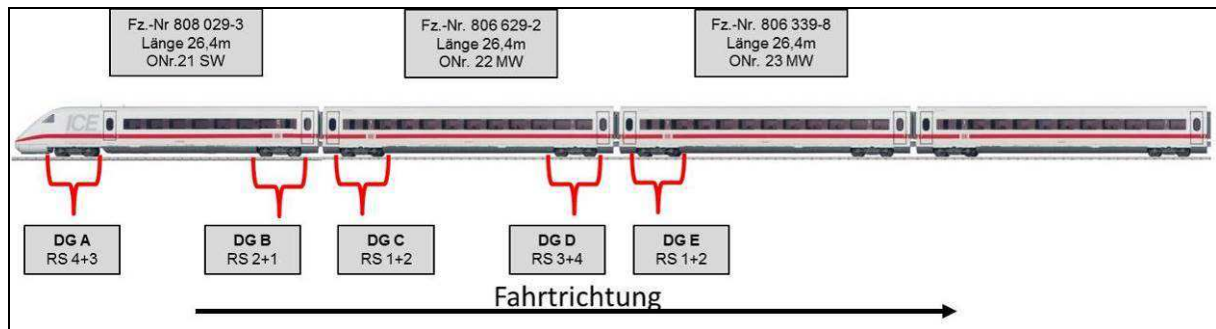


Abb. 47: Anordnung der DG A–E

Nach Auswertung der Spuren war erkennbar, dass es zur Entgleisung in der DKW 36 a/b gekommen war. Entsprechende Schleif- und Anfahrs Spuren waren an der linken und rechten Weichenzunge vorhanden. In der weiteren Folge fanden sich eine gebrochene Stütznagge sowie weitere Überlauf- und Anfahrs Spuren am Radlenker, der Knieschiene und weiteren Bauteilen.

Die Stellung der Weichenzunge nach dem Ereignis ließ darauf schließen, dass es während der Überfahrt des Zuges zu einer Veränderung der Weichenlage gekommen sein musste.

Wegen der sich überlagernden Spuren im Entgleisungsbereich konnte nicht zweifelsfrei rekonstruiert werden, welcher RS zuerst entgleiste. Sehr wahrscheinlich ist aber, dass es sich um das in Fahrtrichtung linke Rad von RS 4 des DG D handelte.



---

Rekonstruierter Entgleisungsvorgang in der DKW 36.

Die beiden grünen Pfeile entsprechen dem Sollfahrweg, die beiden roten Linien entsprechen dem Istfahrweg der letzten beiden Fahrzeuge.

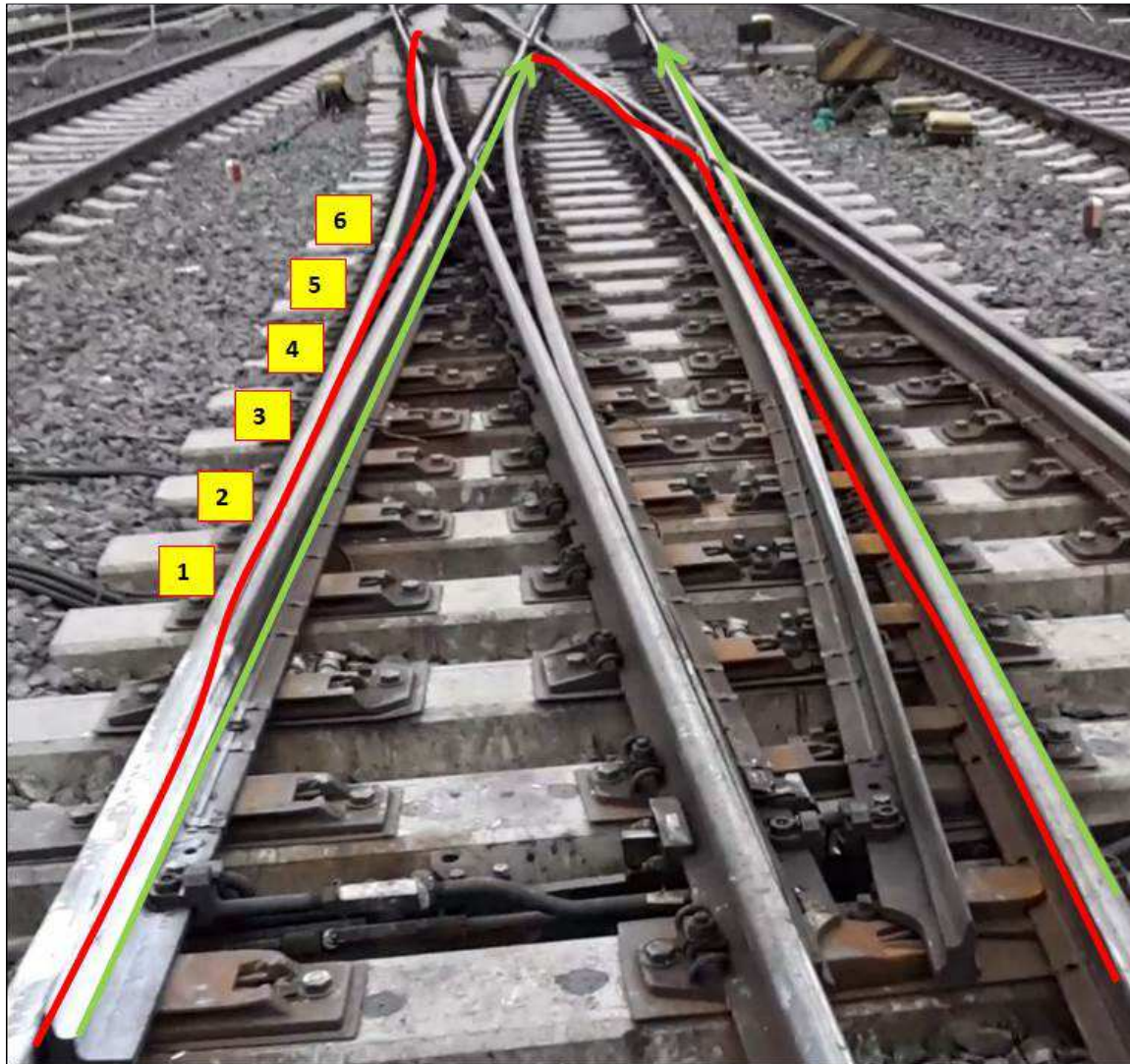


Abb. 48: Ablauf anhand von Entgleisungsspuren

Bei anliegender linker Weichenzunge sind in der Rille zwischen Backenschiene und Zunge abschnittsweise Fahrspuren eines entgleisten Rades erkennbar. Die nachfolgend dargestellten Anfahrs Spuren zwischen Backen- und Zungenschiene waren bei den ersten Untersuchungen im Gleis nicht zu erkennen. Erst die genaueren Untersuchungen in der Werkstatt unter geänderter Perspektive und besonderem Lichteinfall hoben die Spuren hervor. Diese sind auf Abb. 49 und 50 zu erkennen.

In Abb. 51 wurde mit Hilfe eines Rollwagens der vermutete Entgleisungsvorgang simuliert um die Entstehung der vorgefundenen Anfahrs Spuren nachzuvollziehen.

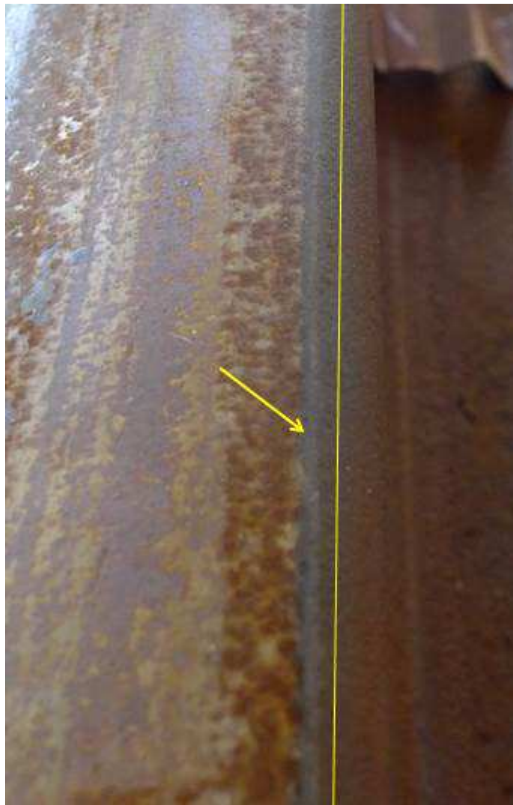
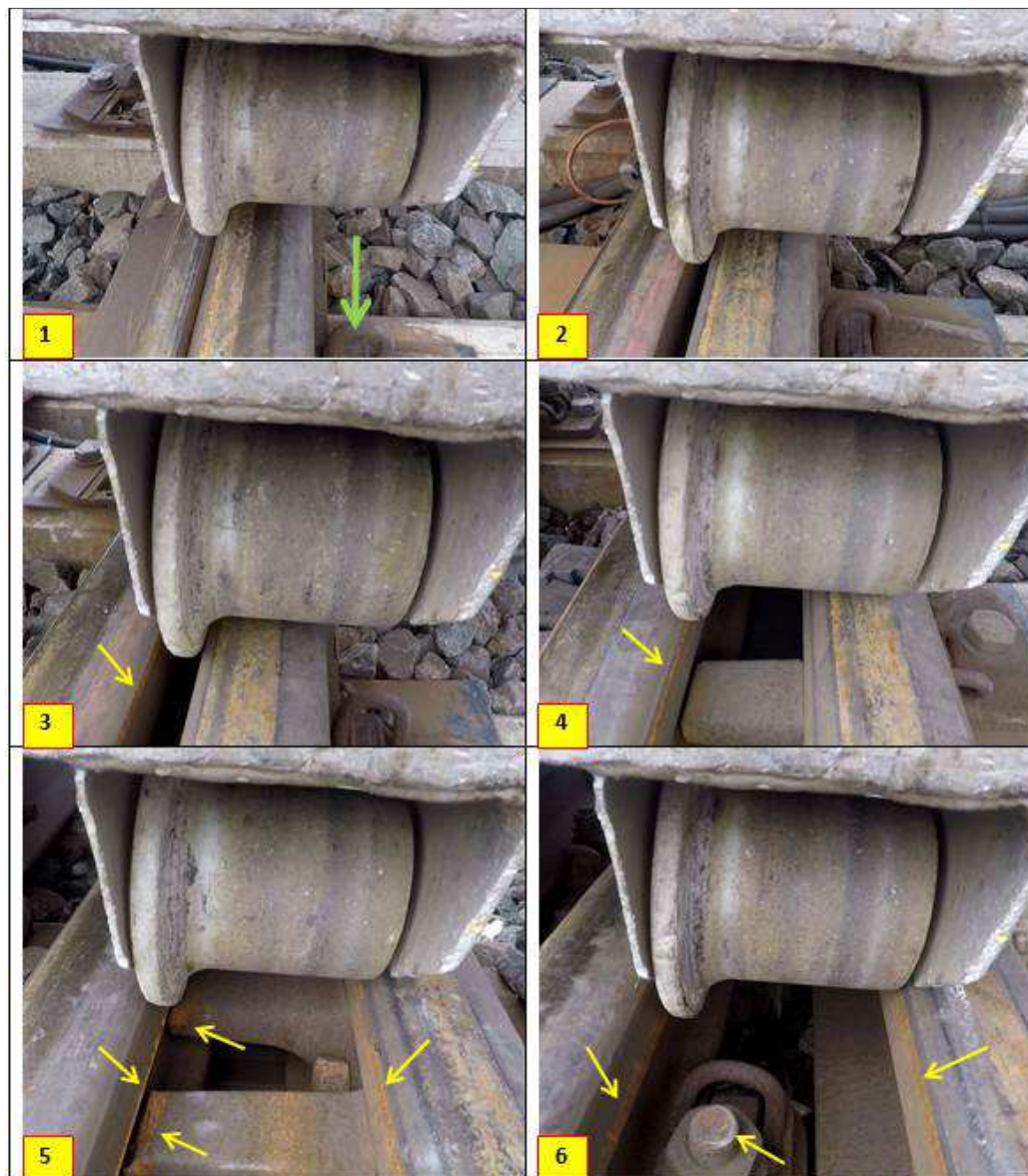


Abb. 49 seitliche Laufspur eines Spurkranzes an der linken Backenschiene (rechte Seite)



Abb. 50 Ende der Laufspur des Spurkranzes





Ablauf des Entgleisungsvorgangs an der linken Zunge mit einem Rollwagen. Rad entspricht nicht dem Originalrad des entgleisten ICE

Abb. 51: rekonstruierter Entgleisungsvorgang

Bild 1	Linkes Rad entgleiste und lief mit dem Spurkranz auf der Rille zwischen Zunge und Backenschiene.
Bild 2–4	Rille zwischen Zunge und Backenschiene weitete sich, Spurkranz rutschte dazwischen. Erste deutliche Anfahrspuren an der Rückseite der Zunge.
Bild 5 und 6	Das komplette Rad rutschte von der Backenschiene und fiel auf die Knaggen bzw. die Schienenbefestigung. Anfahrspuren an der Rückseite der Zunge und der Backenschiene erkennbar.

Tabelle 3: Erläuterungen zum rekonstruierten Entgleisungsvorgang

---

Weitere Entgleisungsspuren an der linken Zungenvorrichtung

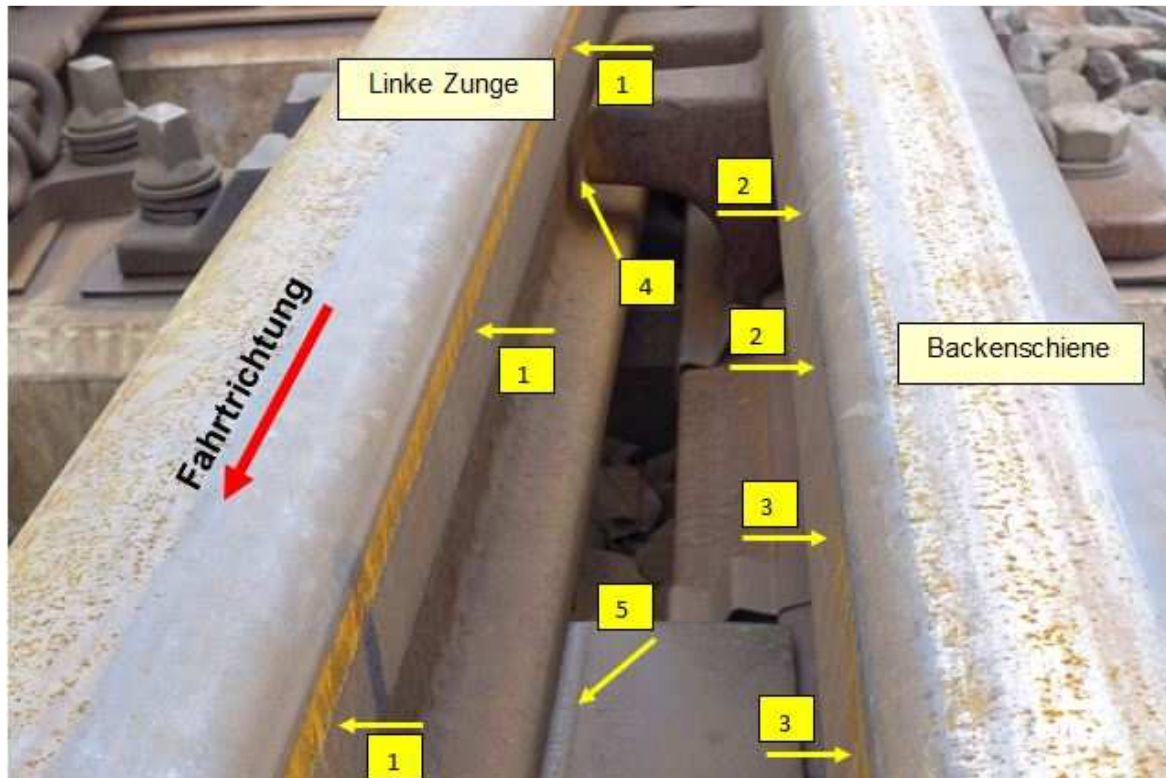


Abb. 52: Entgleisungsspuren im Bereich der Stützknaggen der linken Zunge

Am Zungenrücken (links) findet sich die Spur des Radkranzes (1) (Radinnenseite). Auf der gegenüberliegenden Seite wird die Spur der Radaußenseite (2), die im weiteren Verlauf abgleitet (3), erkennbar. An der Stützknagge (4) liegt die Zunge nicht an, erkennbar ist ein Spiel von etwa 10 mm. Unter Last wurde die Zunge seitlich an die Knagge gedrückt, was an der Reibfläche auf der Gleitstuhlplatte (5) deutlich erkennbar ist. Inwieweit sich bei der Befahrung das seitliche Verdrücken der Zunge an den Knaggen auf die Zungenspitze auswirkte, konnte nicht im Detail abgeschätzt werden. Durch das Biegen der Zunge veränderte sich jedoch auch deren Spannung, was sich wiederum auf die Lage an der Zungenspitze auswirken konnte. Dieser Einfluss war aufgrund des Abstandes von der Zungenspitze zu den Knaggen nur bei kurzen Folgeabständen der DG möglich. Die Ergebnisse der weiteren Untersuchungen ließen darauf schließen, dass RS 4 von DG D zuerst entgleiste. Das vorlaufende DG E könnte die Zungenlage somit anhand einer Biegung durch den kurzen Drehgestellabstand beeinflusst haben.

## **5 Auswertung und Schlussfolgerungen**

### **5.1 Oberbau**

#### **5.1.1 Bewertung der Gleisgeometrie**

Basis der Bewertung ist die von der BEU begleitete Gleisgeometriemessung mit dem MISS-GMTZ am 15.05.2017. Die Messergebnisse wichen leicht von denen der letzten Inspektion im Januar 2017 ab. Sowohl die beiden Fehler in der Längshöhe (LH) in km 163,653 (LH 18 mm) als auch der Fehler in der Verwindung (Vw) in km 163,678 (110 %) wurden bei der Messfahrt als SR<sub>100</sub> Überschreitungen eingestuft. Beide Gleislagefehler lagen vor der Entgleisungsstelle. Der Abstand zwischen beiden Fehlern betrug etwa 25 m. Die beiden Längshöhenfehler lagen an der Schweißung S54/UIC60, am Übergang Holzschwelle /Betonschwelle. Die Ursache des Verwindungsfehlers war ein Fehler der gegenseitigen Höhenlage an einem Isolierstoß.

Der Spurweitenfehler in km 163,582 liegt etwa 100 m vor der Entgleisungsstelle und stand in keinem Zusammenhang mit der Zugentgleisung in der DKW 36.

Bei der Pfeilhöhe waren rechts wie links Abweichungen zwischen 7 und 8 mm erkennbar, wobei SR<sub>100</sub> nicht überschritten wurde. Beim Gesamtsignal, welches eine Gleiszustandsbetrachtung aller Gleislagefehler in einem definierten Abschnitt darstellt, wurde SR<sub>100</sub> jedoch überschritten und somit eine unruhige Gleislage dokumentiert.

#### **5.1.2 Schlussfolgerungen Gleisgeometrie**

- Die vorgefundenen Gleislagefehler in der Längshöhe und Verwindung hatten sich seit der letzten Regelinspektion etwas verschlechtert, stellten nach den Bewertungsmaßstäben der Ril 821 aber nach wie vor keine betriebsgefährdenden Überschreitungen dar. Im Fall der Pfeilhöhe hatten sich die Werte verbessert. Da in der Zwischenzeit keine nachweisbare Instandsetzung stattfand, könnte die Differenz der Messergebnisse an den unterschiedlichen Messfahrzeugen, der Messrichtung und der Messgeschwindigkeit liegen. Die SR<sub>100</sub> Mängel wurden nach der letzten Inspektion bewertet und zur Beseitigung für Juli 2017 angemeldet.
- Die vorgefundene, nach Ril 821 zulässige, aber unruhige Gleislage ist zeitnah instand zu setzen.
- Es ist zu vermuten, dass es während der Bauarbeiten im Frühjahr 2014 durch einen Montagefehler beim Verspannen zu dem Richtungsfehler im Bereich des linken Radlen-



kers kam. Dieser Gleislagefehler war für sich betrachtet nicht sehr ausgeprägt und überschritt bei den folgenden Gleisgeometriemessungen  $SR_{100}$  nicht. Trotz der sensiblen Lage, unmittelbar am Weichenanfang, wurde dieser Fehler offensichtlich vom Instandhaltungspersonal vernachlässigt.

- Die im Anhang beigefügten Simulationsergebnisse der DB Systemtechnik GmbH belegen, dass dieser zunächst unkritische Richtungsfehler die Qualität des Anfahrens an der linken Weichenzunge wesentlich beeinflusste. Nach der Erneuerung, der durch die Entgleisung beschädigten DKW 36 zeigten erneute Messungen und Simulationen weiterhin Auffälligkeiten beim Anlaufen der Räder an der Weichenzunge. Die Intensität war hierbei allerdings viel geringer und allein auf die Trassierungsfolge ohne Übergangsbogen zurückzuführen.
- Aufgrund der Trassierungsfolge befanden sich die Drehgestelle beim Erreichen des Radlenkers noch im Bogenlauf und hatten sich noch nicht wieder geradegestellt. Die Gleislagefehler am Radlenker bewirkten einen zusätzlichen Impuls auf die DG, in dessen Folge insbesondere das erste Rad eines DG unter einem höheren Anfahrwinkel auf die nachfolgende Weichenzunge traf und Gratbildung sowie Materialverformung entstehen ließ.

Eine Änderung des Anlaufwinkels im Bereich der Zungenspitze wurde durch die vorhandene Gleisgeometrie und den gestörten Radlenkereinlauf beeinflusst.

### **5.1.3 Weicheninspektion gemäß Ril 821 „Oberbau inspizieren“**

Die Inspektion soll von qualifizierten Funktionsträgern gemäß Tabelle 1 der Ril 821.2005 durchgeführt werden. Alle Ergebnisse sind durch den Alv zu bewerten. Eine Bewertung der Spurführungsmaße und die augenscheinliche Begutachtung des materiellen Zustandes der Weiche sind durch den Alv bzw. den Teamleiter Fahrbahn vier Wochen nach dem Termin der Inspektion durchzuführen. Die letzte Inspektion der Weiche ergab keinen Befund an der verformten Zungenspitze. Der Einbau der Weiche erfolgte am 04.08.2014. Der Alv hätte 24 Monate nach Einbau der Weiche, also im August 2016, eine augenscheinliche Begutachtung der DKW 36 vornehmen müssen. Gemäß Inspektionsauftrag NI 01 wurden an den Teamleiter Fahrbahn und den Alv für einige Weichen, u. a. DKW 36, in Dortmund Hbf auch Aufträge zur Begutachtung im Zeitraum vom 01.05. bis 30.06.2016 herausgegeben. Der BEU liegen jedoch nur die Ergebnisse der am 06.07.2016 abgeschlossenen Begutachtungen durch den Teamleiter vor. Die Ergebnisse der Alv-Begutachtung, die u. a. auch die DKW 36 beinhalten, konnten nicht vorgelegt werden.

Voraussetzung für eine umfassende augenscheinliche Begutachtung ist die vorherige Reini-

gung der Zunge. Ob die Zunge bei der Inspektion gereinigt wurde, kann nicht nachvollzogen werden. Am Tag der Zugentgleisung wurde die Zunge extrem stark von Spurkranzschmierfett verunreinigt vorgefunden. Verformungen und Gratbildung waren in diesem Zustand augenscheinlich nicht erkennbar.

Der Inhalt der Regelinspektion von Weichen ist nach dem für die jeweilige Inspektionsform gültigen Prüfblatt einschließlich der augenscheinlichen Beurteilung des materiellen und geometrischen Zustandes entsprechend der Checkliste definiert. In Kapitel 6 der Ril 821.2005 werden die zu inspizierenden Prüfgrößen und Maßstäbe vorgegeben. Die Checklisten sind Anhänge des Weichenprüfblattes und geben u. a. die Prüfung der Berührgeometrie von Zungen, insbesondere die der Berührfläche Rad/Schiene und des Materialzustandes vor. Bei der Prüfung des Materialzustandes werden die aufgeführten Punkte der jeweiligen Checkliste beurteilt. Hierbei sollen u. a. Abnutzung, Eindrückung und Gratbildung an der Zunge beurteilt werden.

Unter Einhaltung der Vorgaben aus Ril 821.2005 hätten die zur Entgleisung führenden Verschleißmängel an der Zungenspitze durch das Inspektionspersonal erkannt werden müssen.

Da in den der BEU vorliegenden Inspektionsnachweisen allerdings keinerlei Hinweise auf Verschleiß in Form von Gratbildung und Materialverdrückung an der Zungenspitze der DKW 36 hinterlegt sind, ist davon auszugehen, dass die Mängel entweder nicht aufgefallen waren oder ignoriert wurden.

Mögliche Ursachen hierfür können sein:

- nicht ausreichend qualifiziertes Inspektions- und Überwachungspersonal,
- mangelhafte Reinigung der Zunge – anhaftendes Spurkranzschmierfett wurde bei der Inspektion nicht vollständig entfernt, sodass die Verformung unentdeckt blieb,
- nicht auskömmliche Zeitwerte für eine umfassende, den Vorgaben der Ril 821.2005 entsprechende Inspektion.

Einer Klärung bedarf auch die fehlende Alv-Begutachtung zum NI-01-Auftrag im Juni 2016. Hier stellt sich die Frage, ob der Alv seiner Verpflichtung zur augenscheinlichen Kontrolle der DKW 36 nachgekommen ist.

#### 5.1.4 Bericht zur Mehrkörpersimulation

Auszug aus dem Bericht zur Mehrkörpersimulation der DB Systemtechnik GmbH, Minden:

*„Die Weichenzunge des befahrenen Stranges wies im Bereich des Zungenanfanges für den geraden Fahrweg untypische, starke Materialverquetschungen mit Gratbildung auf. Aufkletterspuren wurden an der Weiche nicht festgestellt. Zur Simulation des Fahrzeuglaufs und Ermittlung der Rad-Schiene-Kräfte wurde ein Modell erstellt und Berechnungen mit den Parametern der entgleisten Wagen und der Strecke zum Zeitpunkt des Unfalls durchgeführt.*

*Die Ergebnisse der Simulation zeigten:*

- ein lokales Anlaufen des jeweils linken Rades des vorlaufenden RS im vorlaufenden Drehgestell an die Weichenzunge, das mit den realen Verschleißspuren an der Zunge übereinstimmt,*
- auffällig hohe dynamische Radführungskräfte für die Befahrung im geraden Strang mit bis zu 55 kN (gefiltert) und 72 kN (ungefiltert) im Bereich des Anlaufens,*
- beim Anlaufen des Rades einen Kontaktpunktsprung am Radprofil, der oberhalb der Spurkranzflanke auftritt, wodurch sich der Kontaktwinkel am Rad verringert,*
- beim lokalen Anlaufen eine Radanhebung bis 2,5 mm, welche wesentlich durch die starre Modellierung der Weichenzunge bestimmt wird.*

*Darauf aufbauend wurden Vergleichsrechnungen mit Parametervariationen mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:*

- Die Trassierung des Zulaufes zur Weiche bestimmt wesentlich das Anlaufen an der Zunge,*
- die erhöhten Kräfte beim Anlaufen werden maßgeblich durch den gemessenen Richtungsfehler kurz vor der Weichenzunge zum Zeitpunkt des Unfalls erzeugt und*
- mit der Verringerung des Richtungsfehlers nach der Instandsetzung der Weiche reduzierten sich die Kräfte beim Anlaufen deutlich. Diese Reduktion der Kräfte wurde durch Messungen mit dem ICE S bei der Fahrt über den instandgesetzten Fahrweg des Unfallzuges bestätigt.*

*Eine vollständige Entgleisung konnte in der Simulation nicht abgebildet werden, was auf Basis der Datenlage und Messungenauigkeiten auch unrealistisch zu erwarten wäre. Allerdings ist durch die Parametervariation und dem Abgleich der Ergebnisse aus der Messung mit*

---

*dem ICE S nachgewiesen worden, dass der Richtungsfehler im Zulauf auf die Weichenzunge einen maßgeblichen Einfluss auf das Anlaufen und Entgleisungsvermögen besaß.“*

Letztendlich ist festzustellen, dass mit den Eingangsparametern, dem Modell sowie dem Simulationsprogramm zwar auf dem aktuellen Stand gerechnet wurde, trotzdem aber noch Unschärfen auftraten, da eine tatsächliche Entgleisung nicht simuliert werden konnte. Die Ergebnisse der Simulation zeigten jedoch Ansätze und Trends auf, die die Entgleisungsursache transparenter darstellen.

### **5.1.5 Bericht zur Schadensuntersuchung der Zungenvorrichtung**

Zusammenfassung zur werkstofftechnischen Untersuchung der Zungenvorrichtung der DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser:

*„Im Ergebnis der vollständigen werkstofftechnischen Schadensuntersuchung an der Zungenvorrichtung wurden potentielle Entgleisungsspuren nur innerhalb der ersten fünf Meter der Zungenschiene festgestellt.*

*Die metallographische Untersuchung des verquetschten Zungenanfangs ergab, dass das Mikrogefüge der Fahrkante im oberen Drittel nach oben und in den unteren zwei Dritteln nach unten verformt war. Die plastische Deformation des oberflächennahen Gefüges an der Fahrflanke der Zungenschiene lässt auf ein Anfahren in der oberen Hälfte der Fahrflanke schließen, was die Ergebnisse der Simulationsrechnung bestätigt und untermauert.*

*Gemäß den technischen Zeichnungen sowie den Vorgaben in der Weichenskizze ist für die Zunge eine Materialgüte R260 vorzusehen. Der verwendete Werkstoff der verformten Zungenschiene entsprach am Zungenanfang und im Vollmaterial der Güte R260 und war nach den geltenden Lieferbedingungen nicht zu beanstanden.“*

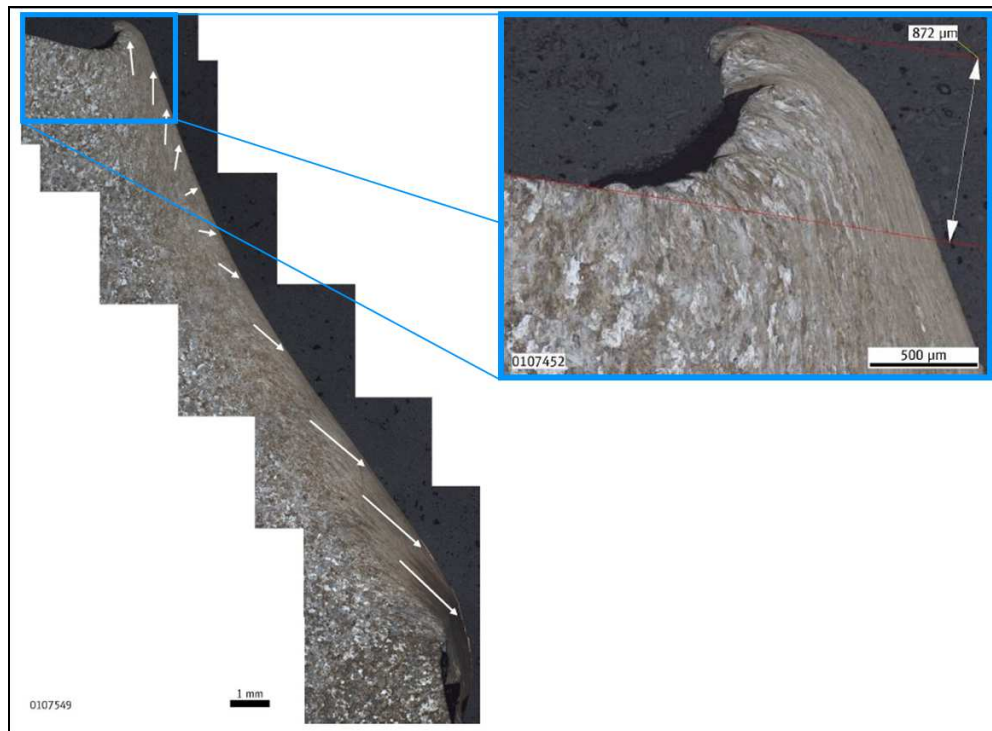


Abb. 53: Darstellung bei Microschliff 500  
Quelle: DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser

### 5.1.6 Zusammenfassung aus dem Bericht der Fa. SIMTES KG

Zur fachlichen Begleitung und unabhängigen Beurteilung der umfangreichen Untersuchungen und Simulationen der DB Systemtechnik GmbH wurde von der BEU ein externer Sachverständiger der Fa. SIMTES KG beauftragt.

Aus dem hierzu vorliegenden Bericht geht hervor, dass die Modellierung des Simulationsmodells dem Stand der Technik entspricht und die Modellierungsgenauigkeit hinsichtlich der vermuteten Entgleisungsursache durch Aufklettern eines Rades an der Weichenzunge und der detaillierten Darstellung der Rad-Schiene-Kräfte ausreichend gewählt wurde. Unbekannte Parameter wurden plausibel angenommen bzw. abgeschätzt. Die durchgeführten Variantenrechnungen wurden als plausibel und die Auswahl als schlüssig bewertet. Unter Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse ergibt sich für den Sachverständigen eine relativ eindeutige Kausalität zwischen Trassierung, Gleislage, Reibparametern, Verschleiß/Verformung, Kontaktgeometrie und der Entgleisung.

Als wahrscheinliche Ursache wird das Aufklettern des in Fahrtrichtung linken Rades (RS 4) des führenden DG (DG D) des vorletzten Wagens 806 629-2 an der Weichenzunge aufgrund



eines vergrößerten Anlaufwinkels in Verbindung mit einer ungewöhnlichen Materialverformung an der Weichenzunge angenommen.

### 5.1.7 Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungsergebnisse

Aufgrund der ungünstigen, aber nach Regelwerk zulässigen Trassierung kam es in Verbindung mit ebenfalls noch zulässigen Gleislagefehlern zum permanent harten Anfahren der linken Zunge der DKW 36. Die Zunge mit der verwendeten Schienengüte R260 begann sich untypisch zu verformen.

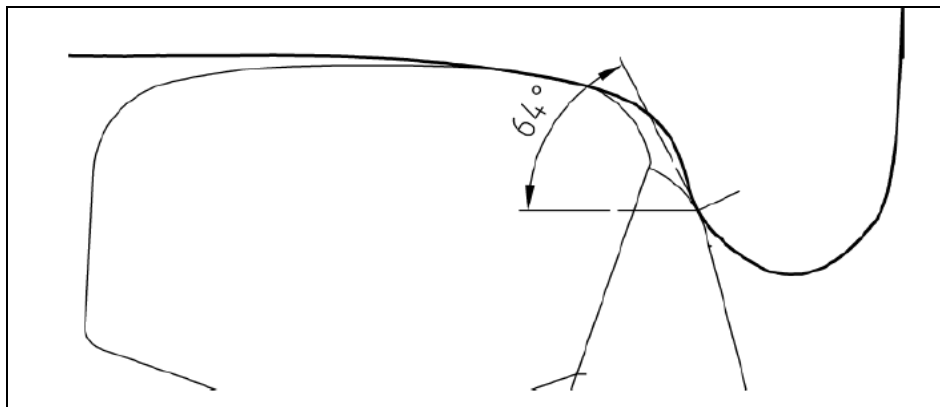


Abb. 54: Kontaktpunkt neues Radprofil / neue Zunge, ca. 250 mm nach Zungenanfang  
Quelle: DB Netz AG

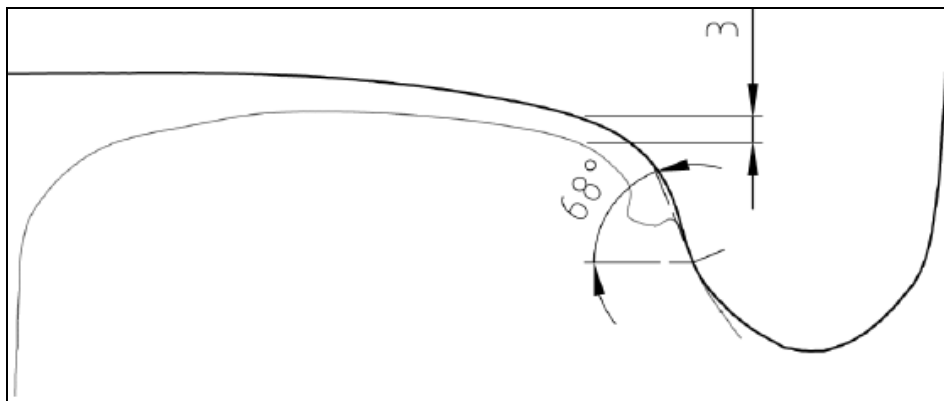


Abb. 55: Kontaktpunkt neues Radprofil / verformte Zunge, ca. 250 mm nach Zungenanfang  
Quelle: DB Netz AG

Durch das ständige punktuell steilere Anfahren der Radkränze nahm die Verformung an der Zunge nach und nach den Umriss des Spurkranzes an.



Abb. 56: Nahaufnahme I, Verformung der Weichenzunge  
Quelle: DB Systemtechnik, Minden



Abb. 57: Nahaufnahme II, Verquetschungen ähnlich des Spurkranzprofils  
Quelle: DB Systemtechnik, Minden



Abb. 58: Nahaufnahme III, Größe der Verformung  
Quelle: DB Systemtechnik, Minden

Geht man von den Simulationsergebnissen aus, bei denen das Rad an der Verformungsstelle durch den Anfahrpuls einen Radanhub von ca. 2,5 mm erfuhr, veränderte sich die Kontaktfläche Rad/Schiene quasi zu einer Einpunktberührung im Bereich der Verformungsstelle. Aufgrund des Richtungsfehlers wirkten bei diesem kurzzeitigen punktuellen Ereignis lokal hohe Radführungskräfte, was zu den beschriebenen Materialverschiebungen und einer veränderten Berührgeometrie führte. Der herabgesetzte Reibfaktor der geschmierten Zunge hemmte hierbei das klassische Aufklettern, konnte aber ein Aufgleiten oder Anheben des Rades unter dem Einfluss des Anfahrpulses aus dem Anfahrwinkel fördern.

Der neutrale Punkt für die Verformung lag nach den Untersuchungsergebnissen von DB Systemtechnik Kirchmöser ca. 4 mm unterhalb der Zungenoberkante. Das Material verschob sich von diesem Punkt ausgehend nach oben bzw. unten. Das Anlaufen des Rades erfolgte in der oberen Hälfte. Plausibel wurde dieser Anlaufpunkt dadurch, dass sich das Rad durch den Anfahrimpuls leicht anhob bzw. sich die Zunge durch Hohllage leicht absenkte. Dadurch veränderten sich die Berührflächen Rad/Schiene. In welchem zusätzlichen Maß sich die Zungenlage bei Befahrung durch Nichtanliegen an den Stütznaggen veränderte, kann nicht abgeschätzt werden. Ausgehend von dem neutralen Verformungspunkt 4 mm unterhalb der Zungenoberkante ist plausibel, dass die Zunge nicht von allen Spurkränzen gleichmäßig angefahren wurde und auch Krafteinträge durch Anlaufen über und unterhalb von 4 mm möglich waren. Bei der vorgefundenen Spurenlage war die Ursache allerdings nicht auf ein klassisches Aufklettern des Rades zu reduzieren, da die Bedingungen hierfür nicht vorlagen und auch keine Aufkletterspuren erkennbar waren.

Der eigentliche Entgleisungsvorgang ereignete sich im Bereich der Verformungsstelle spurlos und offensichtlich spontan.

Die BEU ist daher der Auffassung, dass es sich eher um das „Anheben“ eines Rades handelte. Durch harmonisierte Kontaktflächen zwischen Zunge und Spurkranz, dem großen Anfahrwinkel, dem harten Anfahren des steilen Radkranzes und einer kurzzeitigen Achsentlastung war es möglich, dass es durch den Anfahrimpuls zu einem Anheben des linken Rades kam. In unterschiedlichen Kombinationen sind somit Szenarien denkbar, die eine Entgleisung herbeiführen konnten. Das entgleiste Rad fuhr anschließend in der Rille zwischen Backenschiene und anliegender linker Zunge weiter.

Auf Abb. 59 ist der Zustand Backenschiene/Zunge/Spurkranz 250 mm hinter der Zungenspitze dargestellt. Die Lage der Weichenzunge wurde im unbelasteten Zustand gescannt und auch so dargestellt. Sowohl eventuelle Verformungen der Weichenzunge aufgrund der Dynamik bei der Überfahrt als auch ein vermutetes Absenken der Zungenspitze sowie die Auswirkungen des Knaggenspiels sind nicht dargestellt. Weiterhin ist zu beachten, dass das Rad auf Abb. 59 parallel zur Weichenzunge steht. Der aus der Simulation ermittelte Anfahrwinkel des Rades durch die Schrägstellung des DG betrug ca. 1°. Im Verformungsbereich der Weichenzunge wurden alle 50 mm Querprofile erstellt und diese Ergebnisse wiederum in die Simulation eingebunden. Da aufgrund der groben Rasterung der Querprofile nicht genau bekannt war, an welchem Punkt das Rad auf die Zunge im verformten Bereich traf, konnte auch keine exakte Aussage über den tatsächlichen Anlaufwinkel des Rades erfolgen. Dieser könnte sich je nach Anfahrstelle im

Verformungsbereich auch noch weiter erhöhen. Je steiler der Anlaufwinkel und der Kontaktwinkel waren, desto ungünstiger wirkten auch die dynamischen auftretenden Kraftspitzen.

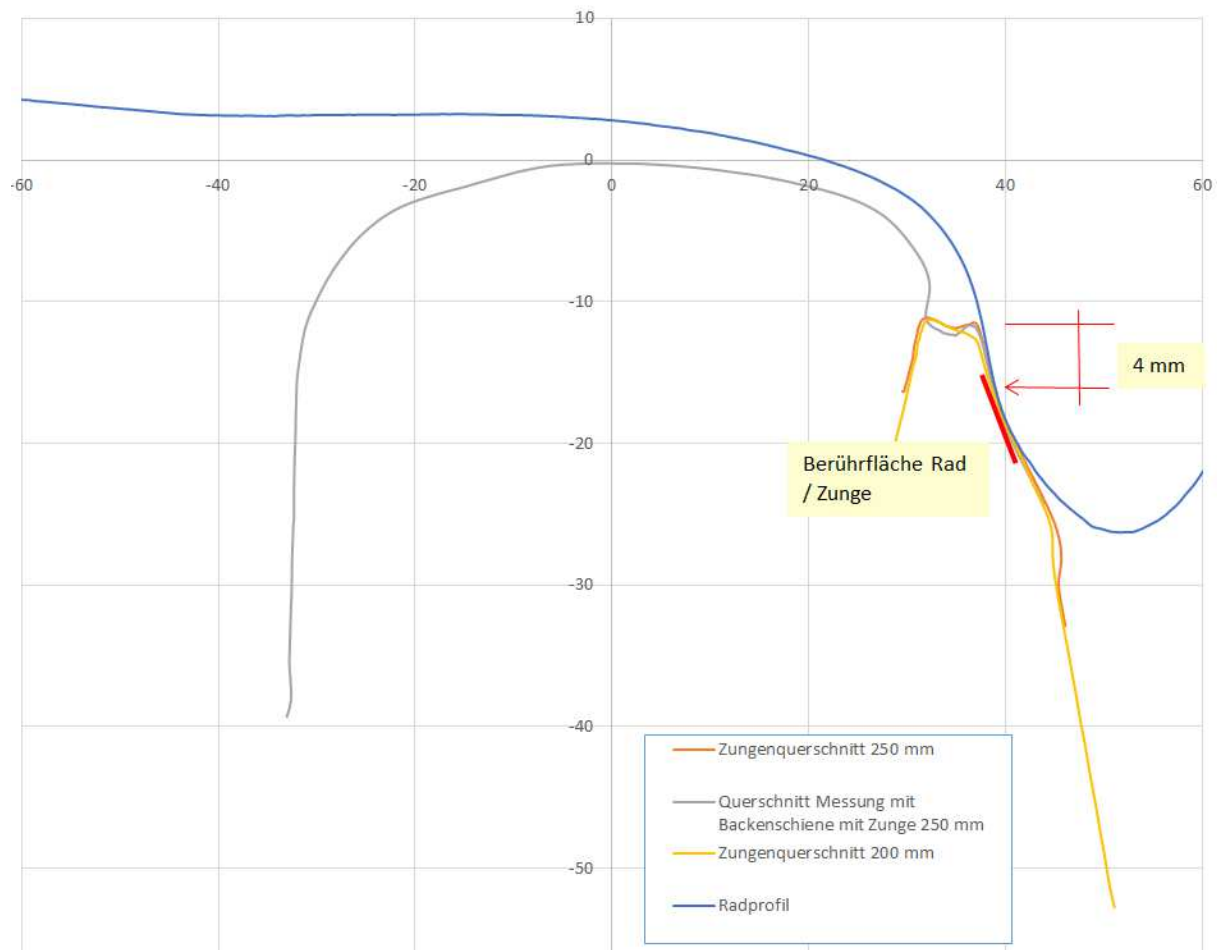


Abb. 59: Zustandsskizze Backenschiene/Zunge/Spurkranz

Quelle: DB Systemtechnik GmbH, bearbeitet durch BEU

Die Kontaktpunkte der beiden betrachteten Anlaufwinkel von 1 und 1,5° liegen im oberen Bereich der Spurkranzflanke. Je größer der Anlaufwinkel, desto weiter verlagert sich der Kontaktpunkt nach vorn. Aufgrund des Anlaufwinkels kommt es zu einer Vorverlagerung des Kontaktpunktes von ca. 23 mm bei 1° und 30 mm bei 1,5°. Betrachtet man weiterhin den Bereich am Radprofil, bei dem der Spurkranzwinkel eine kritische Neigung ab ca. 40° aufweist und legt diesen in das Profil der Verformung der Zunge, so besteht die Möglichkeit, dass an dieser Stelle ein Kontakt des Spurkranzes an der Zunge erfolgen konnte und sich das Rad dadurch anhob und entgleiste. Die DB Systemtechnik Minden führte diesbezüglich weitere Untersuchungen zu den Kontaktpunkten Rad/Schiene durch. Bezogen auf die Kontaktbedingungen lagen die Kontaktwinkel bei ca. 65° bis ca. 71° und wurden nicht als kritisch

bewertet. Anzumerken ist hierbei jedoch, dass bei allen ermittelten Werten von einer starren Zunge ausgegangen wird.

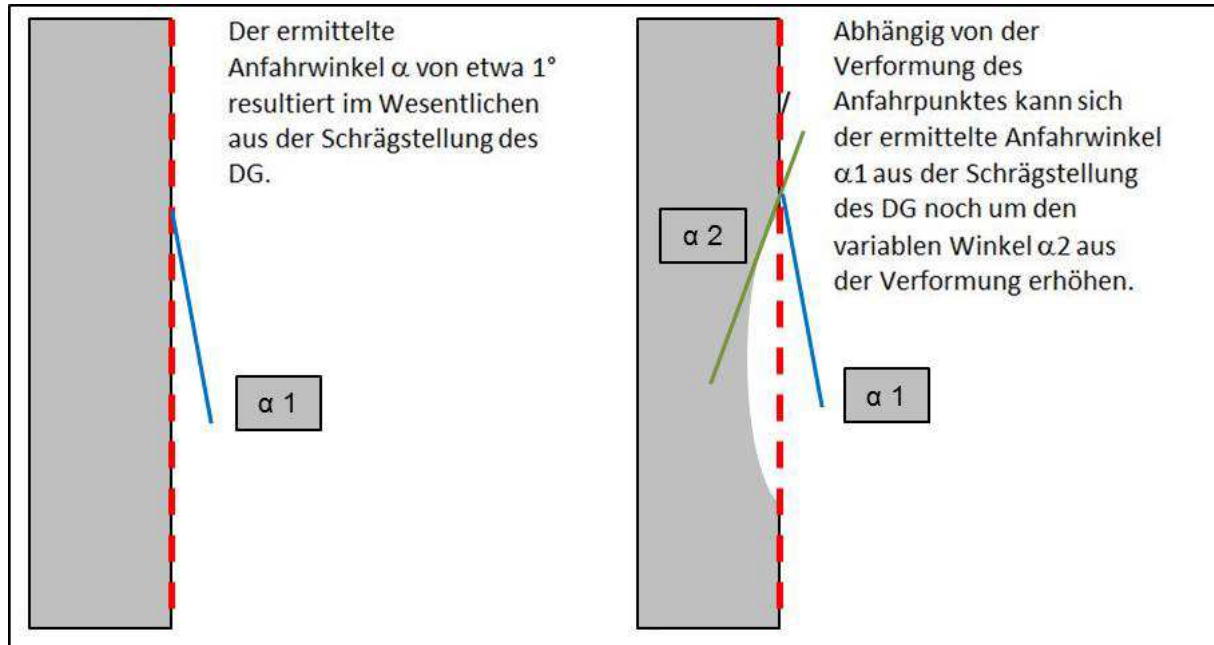


Abb. 60: schem. Darstellung einer Weichenzunge und die durch veränderten Anfahrwinkel eines Spurkanzes erzeugte Materialverformung

## Geometrische Betrachtung

*1,5° Anlaufwinkel*

Ansicht in Fahrtrichtung

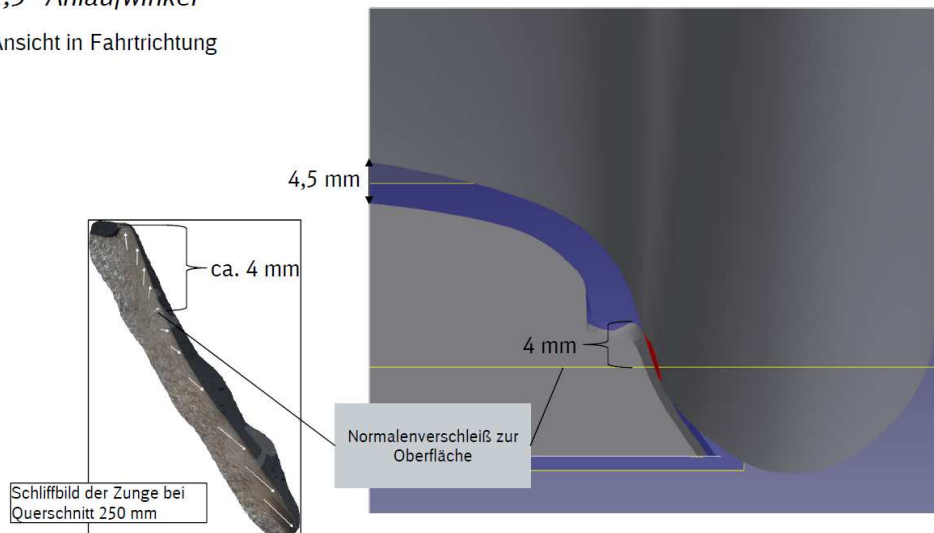


Abb. 61: Anlaufwinkel in Fahrtrichtung  
Quelle: Bericht DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser



---

## Geometrische Betrachtung

### *1,5° Anlaufwinkel*

Ansicht quer zur Fahrtrichtung auf Radrücken

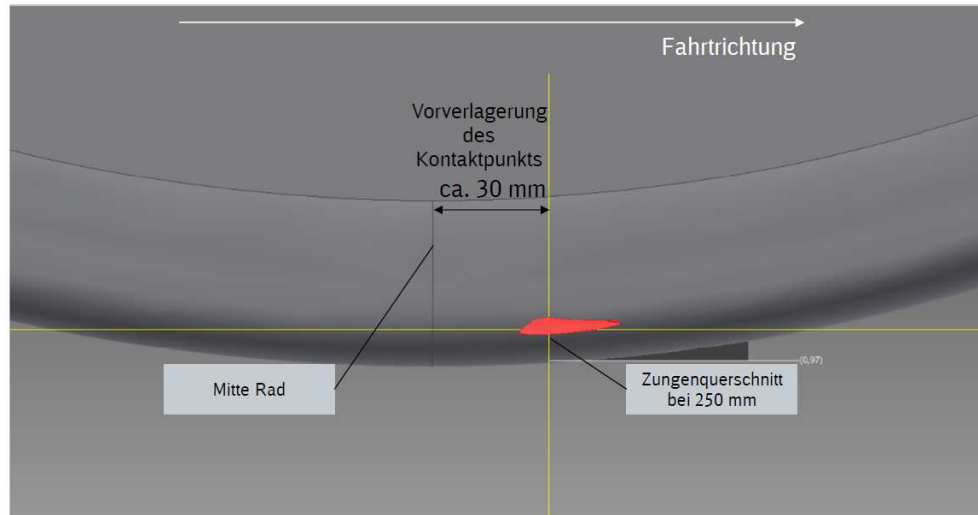


Abb. 62: Anlaufwinkel quer zur Fahrtrichtung

Quelle: Bericht DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser

Als maßgebende Ursachen der Zugentgleisung sind die gestörte Gleislage im Einfahrbereich der DKW 36, dass daraus resultierende dynamische harte Anfahren an die linke Weichenzunge und die sich ausbildende punktuelle Verformung an der linken Zunge im gerade befahrenen Fahrweg a/c zu nennen. Entstehen konnte diese punktuelle Verformung, weil das Instandhaltungspersonal zwar termingerecht inspizierte, den Verschleißzustand an der linken Zunge jedoch falsch einschätzte oder nicht erkannte. Bei vollumfänglicher Einhaltung der Vorgaben der entsprechenden Ril hätten die diversen Mängel erkannt werden können. Dies trifft sowohl auf das inspizierende als auch auf das überwachende Personal zu. Die vorgefundene Materialverformung und die anderen Mängel entstanden sicher nicht spontan – die in diesem Bericht aufgeführten, beschriebenen Mängel konnten sich über einen längeren Zeitraum entwickeln, ohne dass eine vollständige Befundung oder Instandsetzung erfolgte.

## 5.2 Leit- und Sicherungstechnik

### 5.2.1 Auffahrmeldung am 22.04.2017

Die Untersuchung der Ursache der Auffahrmeldung vom 22.04.2017 der DKW 36 a/b war bis auf eine lose Befestigung des Weichenkastens ohne Befund.

Der feste Sitz des Weichenkastens ist notwendig, da es sonst zu Schwierigkeiten beim vollständigen Einrasten des Prüferhakens an der Riegelstange kommen kann. Die zur Arretierung des Prüferhakens vorhandene Nut ist dabei jedoch nur wenig größer als der Prüferhaken selbst.

Es ist möglich, dass die Auffahrmeldung durch unbeabsichtigte Bewegungen der Prüferstange ausgelöst wurde. Ursachen hierfür können sein, dass die Zungenrollvorrichtungen in ihrer Funktion eingeschränkt war oder die Prüfer- und Schieberstange nicht mit anliegender Zunge an den Knaggen eingestellt wurden. Hierdurch wäre es bei der Überfahrt zu einem ständigen Wechsel zwischen An- und Abliegen der Zunge im Bereich der Knaggen gekommen, was sich dynamisch auf die Zungenspitze und somit auch auf die Komponenten des Weichenantriebes übertragen hätte.

Nach vollständigem Anziehen der Befestigungsschrauben des Weichenkastens wurden keine weiteren Mängel festgestellt.

### **5.2.2 Auffahrmeldung am Ereignistag**

Eine weitere Möglichkeit für das Auslösen der Auffahrmeldung beim Fdl kann aber auch aus den Zusammenhängen des zuerst entgleisten RS abgeleitet werden.

Nach dem Anheben des linken Rades an der Zunge lief es in der Rille zwischen Backenschiene und anliegender linker Zunge weiter, bis der RS im weiteren Fahrtverlauf kurz vor der Flügelschiene von den Backenschienen abglitt und durch den Fehllauf der Räder beide Zungen zwängte. Die hier entscheidende rechte abliegende Zunge erfuhr dabei eine Zwängung nach links. Durch das danach folgende Anfahren der Flügelschiene, sprang das rechte Rad hoch und entlastete die rechte Zunge schlagartig. Die Zunge schnellte wieder in die eigentliche Lage zurück, wobei sie durch die plötzliche Entlastungsdynamik über die Normallage hinaus weiter nach rechts zurückschnellte und diese Dynamik auf die Zungenspitze übertrug. Dieser Impuls auf die Zunge bewirkte kurzzeitig deren Richtungsänderung, wie sie durch einen normalen Auffahrvorgang bei stumpfer Befahrung entsteht (hierbei wird der Verschluss der linken anliegenden Zunge durch die Bewegung der abliegenden rechten Zunge aufgezo- gen und es kann unter dem Zug trotz spitzer Befahrung zum klassischen Auffahren der Weiche kommen). Die vorstehend genannten Mängel an der Weiche hätten diese Möglichkeit begünstigen können.

Ob die Störung vom 22.04.2017 bereits im Zusammenhang mit der späteren Entgleisung stand, kann nicht abschließend beurteilt werden, da vom Infrastrukturbetreiber keine detaillierteren Untersuchungen zur Ursache der Auffahrmeldung veranlasst wurden.

Am Ereignistag kam es zu umfangreichen Untersuchungen am Weichenkasten und Weichenantrieb. Während festgestellt wurde, dass der Weichenkasten nicht vollständig befestigt war, blieb die Funktionsprüfung des Antriebes ohne Befund. Die verbogene Riegelstange des Klinkenverschlusses ist als mögliche Folge des Ereignisses zu bewerten.

### **5.3 Betriebliche Handlungen**

Die betrieblichen Handlungen der beteiligten Betriebspersonale, sowohl des EIU als auch des EVU, hatten keinen ursächlichen Einfluss auf den Eintritt des Ereignisses.

Gleichwohl ist anzumerken, dass bei der Überprüfung des Störungsdruckers auffiel, dass es pro zählpflichtiger Handlung einige Male zu Doppelungen der ausgegebenen Nummern kam. Damit war die eindeutige Zuordnung der jeweiligen Handlung nicht mehr gegeben. Hinzu kam, dass die pro zählpflichtiger Handlung vorgeschriebenen Eintragungen auf dem Ausdruck des Störungsdruckers nur rudimentär durchgeführt wurden. Auch dieser Umstand verhinderte eine lückenlose Nachverfolgung einzelner zählpflichtiger Handlungen.

Etwaige Einträge im „Arbeits- und Störungsbuch“ fehlten ebenso wie die Dokumentation zählpflichtiger Handlungen bei gestörtem Störungsdrucker im „Nachweis der Zählwerke“. Der Mangel stand aber nicht im direkten Zusammenhang mit dem Ereignis.

### **5.4 Fahrzeuge**

#### **5.4.1 Untersuchungen der Fahrzeugelemente Tz 229**

Nach Abschluss umfangreicher Untersuchungen am gesamten Zug Tz 229 wurden weder Mängel noch Abweichungen von Sollmaßen in einem Umfang festgestellt, der ursächlich für das Ereignis hätte sein können. Auffällig war allerdings, dass einige Fahrzeuge, u. a. die entgleisten Wagen, Spurkranzflankenwinkel von über 70° aufwiesen.

#### **5.4.2 Ergebniszusammenfassung Untersuchung der Zug-/Druckstangen**

Die Ergebnisse der Untersuchungen der RWTH Aachen sind nachfolgend zusammengefasst.

*„Die chemische Analyse der Probe von Bruchstück 1a liegt innerhalb der genormten Zusammensetzung von G-AlSi7Mg (3.2371). Die Härte aller drei Anlenkstangen liegt bei 89-95 HBW 5/250 und erfüllt somit die Anforderung nach DIN 1725 Teil 2. Bei der rasterelektronischen [sic!] Untersuchung der Bruchflächen konnte nur der Gewaltbruch festgestellt werden. Demnach sind die Stangen nicht auf Grund einer schwingenden Belastung, sondern wegen einer einmaligen gewaltsamen Überbeanspruchung gebrochen. Da der Werkstoff zahlreiche*

*kleine Ungängen aufweist und wegen seines hohen Si-Gehaltes nicht duktil sein kann, sind die plastischen Verformungen relativ gering.“*

### 5.4.3 Radprofile

Die Vermessung der Radprofile ergab laut Gutachter keinen Befund. Gleichwohl waren erhöhte Werte der äquivalenten Konizität an den letzten beiden Fahrzeugen auffällig.

Laut Bericht der DB Systemtechnik GmbH zur Untersuchung der Drehgestelle und deren Komponenten ergab die berührgeometrische Auswertung, dass die nach DIN EN 15302 [5] berechneten äquivalenten Konizitäten in Paarung mit einer Schiene 60E2 (Spurweite 1435 mm, Einbauneigung 1:40) bei einer Querverschiebung von 3 mm in einem Bereich von  $0,05 < \tan \gamma < 0,40$  liegen. Gemäß TSI Infrastruktur liegt der Betriebsgrenzwert der äquivalenten Konizität (für die Zwecke der gemeinsamen Untersuchung) für den Geschwindigkeitsbereich  $60 \text{ km/h} < v \leq 120 \text{ km/h}$  bei 0,40.

Die TSI für das Teilsystem Infrastruktur regelt in Abschnitt 4.2.4.5 den Umgang mit der äquivalenten Konizität. In Absatz (2) ist definiert, dass bei Weichen und Kreuzungen eine Bewertung der äquivalenten Konizität nicht erforderlich ist. Unter Abschnitt 4.2.11.2 ist geregelt, wie die äquivalente Konizität im Betrieb zu betrachten ist. Hiernach ermitteln bei einem instabilen Fahrverhalten sowohl EVU als auch EIU die Ursache gemeinsam.

Bei den Untersuchungen wurde kein instabiles Fahrverhalten des ICE 945 im Bereich der Entgleisungsstelle festgestellt.

Der Parameter äquivalente Konizität wurde laut gutachterlichem Bericht bei der Entgleisungsgeschwindigkeit von etwa 70 km/h hinsichtlich instabilem Fahrzeugverhalten nicht als relevant eingestuft und hatte keinen Einfluss auf den Entgleisungsvorgang.

Bei weitergehenden Auswertungen der DB Systemtechnik Minden wurde festgestellt, dass der Spurkranzflankenwinkel an den entgleisten Wagen, aber auch bei anderen Wagen des Zuges, über 70° aufwies. Der steilste Spurkranzflankenwinkel  $\gamma$  am Radprofil 12 des nicht entgleisten Wagens 806.3 lag bei 77°. Beim nachlaufenden, vermutlich zuerst entgleisten Wagen 806.6 betrug der Spurkranzflankenwinkel  $\gamma$  ca. 74°.

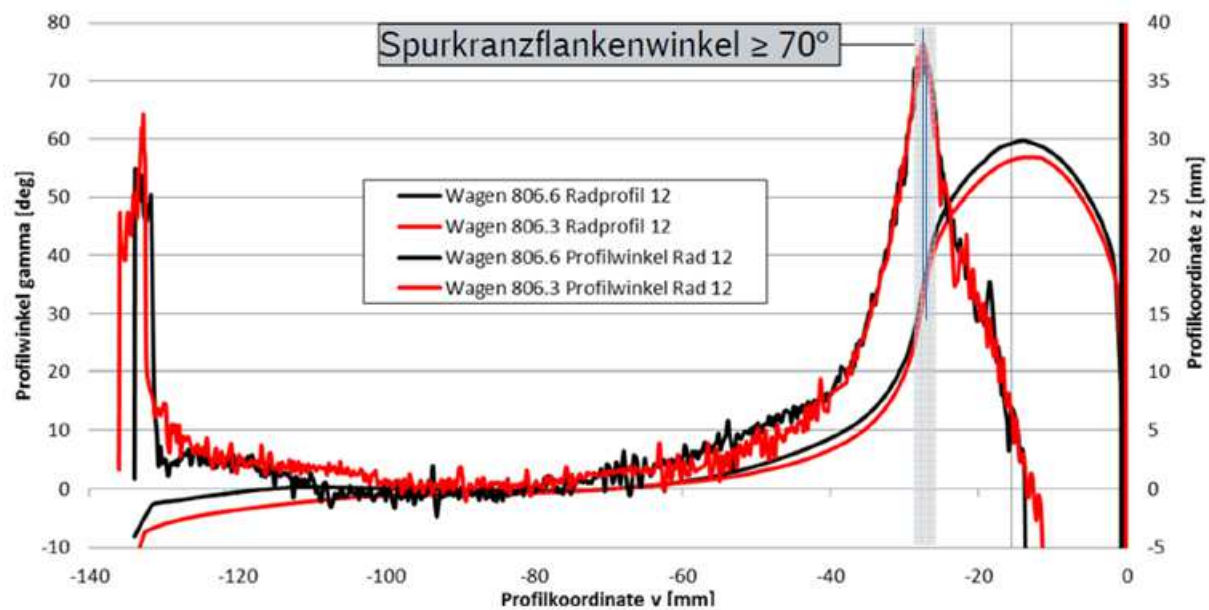


Abb. 63: Messblatt

Beide Werte sind deutlich größer als  $70^\circ$  und somit als steile Spurkranzflankenwinkel einzustufen. Für den Spurkranzflankenwinkel als Einzelwert sind keine Grenzwerte hinterlegt. Die EBO gibt mit dem  $q_R$ -Maß jedoch einen Wert für die Flankensteilheit der Spurkränze vor. Der Grenzwert von  $q_R$  liegt bei 6,5 und darf nicht unterschritten werden. Die bei der Untersuchung gemessenen  $q_R$ -Maße lagen mit 9,8 bis 11,3 aber deutlich darüber.

Der Spurkranzflankenwinkel verändert sich mit zunehmendem Verschleiß. Während neuprofilierte Räder über einen optimierten flacheren Spurkranzflankenwinkel verfügen, wird der Spurkranzflankenwinkel mit zunehmendem Seitenverschleiß steiler. Hier setzt nun das Aufkletterkriterium von Nadal an. Bei einem Spurkranzflankenwinkel von  $70^\circ$  und einem Spurkranzreibfaktor  $\mu = 0,36$  ergibt sich ein Gleichgewicht der abhebenden und niederhaltenden Kraftkomponenten beim Verhältnis  $F_H / F_V = 1,2$ , was im Betrieb nicht überschritten werden sollte. Nach Nadal bewirken steilere Spurkranzflankenwinkel als die von  $70^\circ$  größere dynamische Kraftspitzen. Flachere Spurkranzflankenwinkel bewirken dagegen größere abhebende Kräfte. Der herabgesetzte Reibfaktor der stark mit Schmierfett behafteten Zunge hemmte in vorliegendem Fall das Aufklettern. Der Einfluss des Anfahrimpulses aus dem größeren Anfahrwinkel konnte durch Veränderungen der Kontaktgeometrie und der Verlagerung des Kontaktpunktes an der verformten Stelle der Zunge jedoch ein „Aufgleiten“ oder „Anheben“ des Rades bewirken.



## **6 Bisher getroffene Maßnahmen**

Aufgrund der Ergebnisse der DB Systemtechnik GmbH wurden ca. 160 Kreuzungsweichen mit Trassierungsparametern in der eigenen Infrastruktur ermittelt, die mit denen der DKW 36 Dortmund Hbf vergleichbar sind. Durch eine technische Mitteilung (TM 1-2018-10129-I.NPF 1 gültig vom 10.04.18) wurden die regionalen Organisationseinheiten beauftragt, diese Weichen bis zum 31.07.2018 in den geraden Zungen visuell auf Seitenverschleiß zu inspizieren und die Inspektionsergebnisse der Zentrale DB Netz AG zu melden.

Maßnahmen aus den bisher gesammelten Erkenntnissen sind der BEU nicht bekannt.

Parallel zur Simulation wurden von der DB Netz AG weitere Weichen im Bf Dortmund hinsichtlich des Zungenverschleißes und ähnlicher Schadbilder wie bei DKW 36 a untersucht. Im Ergebnis der Untersuchung befand die DB Netz AG, dass der vorgefundene Verschleiß an der linken Zunge der DKW 36 a nicht als ungewöhnlich einzustufen sei.

Diese Meinung wird von der BEU so nicht mitgetragen. Die vorgestellten Ergebnisse lieferten ausschließlich Weichenzungen, welche einen für Bogenfahrten typischen Verschleiß aufwiesen.

Die bei einer Geradeausfahrt in DKW 36 vorgefundene punktuelle Verformung wies keine der dargestellten Weichen auf.

### **6.1 Fazit aus dem Rückäußerungsverfahren**

Im Rahmen eines Rückäußerungsverfahrens wurde den beteiligten Eisenbahnen und dem EBA die Gelegenheit gegeben, ihre Auffassungen und Standpunkte zu der Untersuchung zum Ausdruck zu bringen.

Die DB Netz AG bemängelt in ihrer Rückäußerung, dass die Methoden der Untersuchungen und Simulationen der DB Systemtechnik zur Ursache der ICE-Entgleisung nicht in allen Punkten dem aktuellen Regelwerk entsprächen und die abgeleiteten Erkenntnisse aus Sicht der DB Netz AG keine klare Ursache für die Entgleisung erklären könnten. Aufgrund der regelmäßigen Informationsaustausche im Rahmen der Unfalluntersuchung und den Inhalten der Rückäußerung wird deutlich, dass die DB Netz AG im Gegensatz zur BEU und der DB Systemtechnik von grundsätzlich verschiedenen Beurteilungsbasen für die Bewertung der Entgleisung ausgeht. Die DB Netz AG bewertet das Entgleisungsrisiko auf Basis von Normen und Richtlinien. Diese können aber nicht alle auftretenden Konstellationen und Fälle für eine Entgleisung berücksichtigen, sondern entstanden aufgrund von Betriebserfahrungen, Messungen und theoretischen Untersuchungen. Trotzdem ist nicht ausgeschlossen,

dass es immer wieder zu unvorhergesehenen Ereignissen bzw. Entgleisungen kommen kann. Das bedeutet, dass trotz Einhaltung aller Normgrenzen Entgleisungen auftreten können, deren Ursachen nicht auf Basis der Normen erklärbar sind. Um die Ursachen der Entgleisung zu ermitteln, müssen die Grenzen oder die Bewertungsgrößen der Normen bzw. Basis daher zwangsläufig erweitert werden, um (neue) Wirkmechanismen zu erarbeiten, mit denen eine wahrscheinliche Entgleisungsursache ermittelt werden kann. Ziel der Simulationsrechnungen der DB Systemtechnik war es, die Entgleisungsursache zu ermitteln. Die Bewertung nach den akzeptierten Bewertungsgrößen ergab keine Auffälligkeiten, somit ist es notwendig, weitere Bewertungsgrößen zu verwenden. Aus den Simulationsrechnungen ergab sich, dass durch das Auftreten des Richtungsfehlers und das nachfolgende Anlaufen ein mögliches, untypisches Verschleißbild an der Weichenzunge entstehen konnte. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten, beeinflusst durch die Trassierung, den Richtungsfehler und den geringen Abstand zwischen Radlenker und der Weichenzunge, ist von einer impulsartig wirkenden Kraftspitze an der Zunge auszugehen. Das Ergebnis der Simulationsrechnungen zeigte deutlich, dass eine gemeinsame Betrachtung des Richtungsfehlers und der Verschleißbildung an der Weichenzunge für eine Beurteilung des Entgleisungsmechanismus notwendig ist. Diese Erkenntnis findet sich derzeit in keiner Norm und keinem Regelwerk wieder.

Die DB Netz AG ist als Infrastrukturbetreiber gemäß § 4 AEG verpflichtet, ihre Eisenbahninfrastruktur sicher zu bauen und in betriebssicherem Zustand zu halten. Hierzu zählt auch, die Ursache von gefährlichen Ereignissen wie Zugentgleisungen zu ermitteln. Unabhängig davon, ob sich die BEU im Einzelfall einschaltet, müssen die an gefährlichen Ereignissen beteiligten Unternehmen diese untersuchen, auswerten und entsprechende Korrektur- und Vorbeugemaßnahmen einleiten. Trotz mehrmaliger Nachfrage hat es die DB Netz AG bisher versäumt, eigene Erkenntnisse zur Unfallursache plausibel darzustellen. Zum Abschluss des Untersuchungsberichts ist somit festzustellen, dass die DB Netz AG als Infrastrukturbetreiber entgegen der vorgenannten Untersuchungspflicht keine Ursache zur Entgleisung des ICE benannt hat und Sicherheitsempfehlungen begründet sind.

## 7 Sicherheitsempfehlungen

Gemäß § 6 Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung (EUV) und Art. 26 Abs.2 der Richtlinie (EU) 2016/798 ergehen nachfolgende Sicherheitsempfehlungen:

lfd. Nr.	Sicherheitsempfehlung	betrifft Unternehmen
12/2018	<p>Unter konsequenter Anwendung des vorhandenen Regelwerks hätte die Verformung an der Zunge bei der Inspektion entdeckt werden können. Verschleiß und Verformung an der Weichenzunge sollen gemäß Ril 821.2005 durch materielle Zustandsprüfungen anhand einer Checkliste untersucht werden. Die allgemeine Praxis zeigt allerdings, dass die Inhalte dieser Checkliste bei der Inspektion nicht immer in vollem Umfang beachtet werden.</p> <p>Es wird empfohlen, relevante Punkte der Checkliste, die die Beurteilung der Zunge betreffen, auf den Status einer verbindlichen, in allen Prüfpunkten nachvollziehbaren Prüfliste anzuheben und die Prüfergebnisse elektronisch dokumentieren zu lassen.</p>	DB Netz AG
13/2018	<p>Dem Alv fehlt in der Ril eine konkrete Vorgabe, Verformungen oder ähnliche Mängel an der Zunge fachgerecht zu bewerten. Mit den zur Verfügung stehenden Prüflehren ist dies nicht überall möglich. Dem Alv und dem Inspektionspersonal bleibt allein die optische Wahrnehmung für die Beurteilung und Einstufung des Mangels in „Gut“ oder „Schlecht“.</p> <p>Deshalb wird empfohlen, detailliertere Vorgaben zu definieren, wie Verformungen an Weichenzungen fachgerecht zu messen und die daraus resultierenden Ergebnisse zu bewerten sind.</p> <p>Moderne Prüfverfahren, z. B. mit Laserscan, können den sensiblen Anlaufbereich der Weichenzunge ganzflächig erfassen und durch definierte Grenzwerte, analog der SR Systematik, beurteilen. Dem Alv ermöglicht dieser transparente und nachvollziehbare Soll-/Ist-Abgleich eine objektive Bewertung des aktuellen Abnutzungsvorrats, und es lassen sich daraus auch</p>	DB Netz AG

---

	Trends und Prognosen ableiten, die eine bessere Lenkung der Instandsetzung ermöglichen und somit die Sicherheit erhöhen.	
14/2018	Die durchgeführten Simulationen von DB Systemtechnik lieferten entscheidende Hinweise zur Ursache der Entgleisung. Der eigentliche Entgleisungsvorgang und die dabei wirkenden Mechanismen konnten jedoch nicht vollständig aufgeklärt werden. Da das EIU bisher keine Entgleisungsursache identifizieren konnte, wird empfohlen, weitere wissenschaftliche Untersuchungen zur Ursachenfindung durchzuführen. Hierbei sollten neben der Trassierung und der Gleislage auch die Auswirkungen durch Veränderungen bei der Berührgeometrie von Rad und Schiene an der Zunge unter Einwirkung impulsartiger Kraftspitzen aus dem Eisenbahnbetrieb besonders betrachtet werden, um Grenzwerte für Verschleiß und Verformung an der Zunge festzulegen.	DB Netz AG



# Bericht

## Unfall Dortmund Mehrkörpersimulation ICE2

Dokument: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810\_V02  
Datum: 15.05.2018

Fachabteilung: Prüfungen Festigkeit



Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Bericht beschriebenen Sachverhalte. Dieser Bericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung des im Bericht genannten Auftragnehmers



<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1    Angaben zum Auftrag</b>	<b>7</b>
<b>2    Beschreibung des Untersuchungssachverhalts</b>	<b>7</b>
<b>3    Simulationsmodell</b>	<b>10</b>
3.1 - Wagenkasten	10
3.2 - Drehgestellmodell	11
3.3 - Radsatz und Radprofile	13
3.4    Strecke und Schienenprofile	14
<b>4    Varianten</b>	<b>20</b>
<b>5    Ergebnisse</b>	<b>22</b>
5.1 - Ergebnisse Variante 0 Ausgangszustand für die vergleichende Bewertung	22
5.2 - Ergebnisse Variante 14 (ohne Richtungsfehler) und 20 (50 % erhöhter Richtungsfehler)	30
5.3 - Vergleich Simulation Messung für die instandgesetzte Weiche (Variante 25)	31
5.4    Ergebnisse weiterer Varianten	32
<b>6    Zusammenfassung</b>	<b>35</b>
<b>7    Unterschriften</b>	<b>36</b>

**Änderungsindex**

Nr.	Beschreibung / Änderung	Datum	Bearbeiter
1	Erstausgabe	20.02.2018	████████
2	Redaktionelle Änderungen	18.04.2018	████████

**Verzeichnis der Anlagen**

Anlage 1: Daten zum Simulationsmodell  
Anlage 2: Simulationsergebnisse

**Verzeichnis der Abkürzungen**

DKW	Doppelkreuzungsweiche
STW	Steuerwagen
MW	Mittelwagen
STW	Steuerwagen
SOK	Schienenoberkante
TZ	technische Zeichnung
TS	technische Spezifikation
s	Neigungskoeffizient
WE	Wagenende
TK	Triebkopf
SQ	Summe der Radaufstandskräfte am Radsatz
Q	Radaufstandskraft
Tz	Triebzug
Y	Radführungskraft
SP	Schwerpunkt
BEU	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
v	Geschwindigkeit in Fahrtrichtung

**Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis**

- [1] Beschreibung Entgleisungsvorgang V1.2, Stand 07.09.2017
- [2] Entgleisung ICE 945 in Dortmund Hbf am 01.05.2017: Untersuchung der Infrastruktur; [REDACTED] (DB Netz I.NVS-W), Duisburg Stand 03.07.2017
- [3] Notiz: Besichtigung der Weiche 36 Bf Dortmund Hbf (DKW 54-190-1:9 b); [REDACTED] (DB Netz I.NPF 111(W)) ; Berlin 05.05.2017
- [4] Foliensatz: Unfall Dortmund Zusammenfassung der Begehung am 05.05.2017; [REDACTED] (DB Systemtechnik I.T-IVP23); Minden 08.05.2017
- [5] Modelldatensatz: SGP-400 / ICE 2 – Steuerwagen, [REDACTED] (Siemens SGP Verkehrstechnik GmbH); Graz
- [6] TZ: FTE406.0.02.022.502 Primärschichtfeder komplett
- [7] Maschinendynamik; [REDACTED]; Berlin 2007
- [8] TS: Luftfeder ICE3, [REDACTED] (Siemens SGP Verkehrstechnik GmbH); 07.05.1997
- [9] TZ: FTE406.0.04.006.900 Luftfedersystem 7050.N.10 P07
- [10] TZ: FTE805.0.04.006.006 Luftfeder 7050.N.10 P01 m
- [11] TZ: FTE805.0.04.006.001 Luftfeder 7050.N.10 P01 s
- [12] DIN EN 14363:2016 Versuche und Simulation für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Fahrverhalten und stationäre Versuche
- [13] Prüfprotokoll Radaufstandskräfte für ICE1 und ICE2 Wagen Nr. 806629-2, Nürnberg 13.04.2015
- [14] Nachweisdokument: Messprotokoll Schienenwaage 808.0, Nürnberg 10.09.2009
- [15] Prüfprotokoll Radaufstandskräfte für ICE1 und ICE2 Wagen Nr. 806339-8, Nürnberg 13.04.2015
- [16] Tabelle: ICE229\_806629\_808029 (Auszug aus SAP); [REDACTED]; Minden 05.05.2017
- [17] Anlage 1.1 Gutachterliche Bewertung im Fachgebiet Fahrtechnik: Untersuchung der Radprofile der Einzelwagen des entgleisten Tz 229 (ICE229), [REDACTED] (I.T-IVP22), Minden
- [18] FWP 805.0.04.000.007 „Messprotokoll Wagenkasten aufgesetzt ICE 2“ Bl. 3; [REDACTED] (Werk Berlin), Berlin 11.04.2017
- [19] Messprotokolle der Schlingerdämpferkennlinien; Krefeld 23.05.2017
- [20] TZ: low 54.20.3001 Bearbeitung der Radlenker
- [21] TZ: low 54.30.0022 Anordnung Fahrschiene mit Radlenker
- [22] Präsentation: Aktueller Stand MKS zum Unfall Dortmund V01, [REDACTED], Minden 21.07.2017
- [23] Präsentation: ICE-Entgleisung im Bf. Dortmund: Ergebnisse der Messfahrt des ICE-S vom 25.08.2017, [REDACTED] (I.NPF 111), München 04.10.2017
- [24] Präsentation: Aktueller Stand MKS zum Unfall Dortmund V01, [REDACTED], Minden 22.06.2017

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sollfahrweg a -c Weiche 36 (Blick in Fahrtrichtung mit Sollfahrweg (roter Pfeil)) ...	8 -
Abbildung 2: Erste Entgleisungsspuren bis zum mittigen Radlenker [4].....	8 -
Abbildung 3: Verschleißspuren linke Zunge Weiche 36.....	9 -
Abbildung 4: Simulationsmodell .....	10 -
Abbildung 5: Einbindung der Beladung.....	10 -
Abbildung 6: Drehgestellmodell SGP400.....	11 -
Abbildung 7: Anbindung Radsatz Drehgestellrahmen.....	12 -
Abbildung 8: Eingebundene Trassierung auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017 .....	15 -
Abbildung 9: Eingebundene Gleislage auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017.....	15 -
Abbildung 10: Gleislage im Zungenbereich auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017 .....	16 -
Abbildung 11: Vergleich der Gleislage vor (rote Linie) und nach (schwarze Linie NEU) der - Instandsetzung .....	16 -
Abbildung 12: Zustand der Weichenzunge kurz nach dem Unfall .....	17 -
Abbildung 13: Messung des Profils der anliegenden Zunge mit Backenschiene vor der - Instandhaltung; oben: Messbereich der Profilmessung, unten: Zungen-Backenschienen- Profile 150 mm beginnend hinter dem Weichenzungenanfang .....	18 -
Abbildung 14: Zungen-Backenschienen-Profil 250 mm nach Zungenanfang.....	19 -
Abbildung 15: Vergleich der Profile vor und nach (NEU) der Instandsetzung .....	19 -
Abbildung 16: Radlenker im Herzstückbereich vor der Weichenzunge .....	20 -
Abbildung 17: Radführungskräfte Rad 12 und 32 (Variante 0) am STW und MW .....	23 -
Abbildung 18: Radsatzquerverschiebung der beiden vorlaufenden Radsätze der entgleisten - Wagen .....	24 -
Abbildung 19: Ausdrehwinkel der Drehgestelle am MW 806.6 (Variante 0) im Vollbogen vor der - Weiche.....	25 -
Abbildung 20: Ausdrehwinkel der Drehgestelle am MW 806.6 (Variante 0) kurz vor der - Weichenzunge.....	26 -
Abbildung 21: Kontaktpunktlage Rad 12 (Variante 0) am STW und MW .....	27 -
Abbildung 22: oben: Radanhebung Rad 12 32 (Variante 0) am STW und MW; unten: Zeitpunkt - der max. Radanhebung.....	28 -
Abbildung 23: Anlaufwinkel Rad 12 32 (Variante 0) am STW und MW .....	29 -
Abbildung 24: Radführungskraft Rad 12 32 (Variante 14) MW 806.6.....	30 -
Abbildung 25: Vergleich Simulation (Rad 12 MW 806.6) und Messung (Rad 12 am MW 1 [23] ) - für die Radführungskraft.....	31 -

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Gesamtmasse der Fahrzeuge.....	10 -
Tabelle 2: Massenschwerpunkt der Wagenkästen.....	11 -
Tabelle 3: Steifigkeiten Radsatzführung .....	12 -
Tabelle 4: Quersteifigkeiten der Luftfeder.....	13 -
Tabelle 5: Eingebundene Masseneigenschaften (Nennzustand) der Radsätze an den - entgleisten Wagen .....	13 -
Tabelle 6: äquivalente Konizitäten der gemessene Radprofile gepaart mit theo. Schienenprofil - 60E2-Profil [17].....	14 -
Tabelle 7: Varianten der Simulationsrechnung.....	21 -



## 1 Angaben zum Auftrag

Aufgabenstellung: -

Am 01.05.2017 um 18:46 Uhr entgleisten die letzten beiden Wagen des ICE-A 945 (Düsseldorf - Hbf - Berlin-Gesundbrunnen) bei der Einfahrt in den Bf Dortmund Hbf mit vier Drehgestellen. - Eine eindeutige Unfallursache konnte nicht festgestellt werden, daher wurde die DB Systemtechnik damit beauftragt mittels Simulationsrechnungen den Unfallhergang zu untersuchen. -

## 2 Beschreibung des Untersuchungssachverhalts

Der ICE 945 fuhr über die Strecke 2158 aus Richtung Bochum mit dem Ziel Gleis 8 in den Bahnhof Dortmund ein. Auf Höhe der ersten Entgleisungsspuren lag die Fahrzeuggeschwindigkeit bei ca. 71 km/h, zulässig wären maximal 80 km/h bei der Einfahrt nach Gleis 8 [1]. Die ersten Entgleisungsspuren fanden sich in der Weiche 36 DKW54-190-1:9-WITEC im Zungenbereich a/b. Planmäßig hätte der Zug die Weiche 36 über den Fahrweg a - c befahren sollen (Abbildung 1). Aus dem Verlauf der Entgleisungsspuren kann geschlossen werden, dass der erste entgleiste Radsatz mit dem linken Rad in den abzweigenden Fahrweg Richtung d fuhr und das rechte Rad planmäßig in Richtung c. In der Folge fehlte durch das Auseinanderlaufen der Schienen in den Fahrweg nach c und d die Radführungskraft an beiden Rädern. Das rechte Rad lief daraufhin zwischen Backenschiene und Zunge und drückte sich mit seinem Spurkranz zwischen die Zunge und Zungenstütze [3]; zu erkennen an den Spuren der Radlaufläche auf den Stützen (Abbildung 2 Bild 1 rechts). Auf fast gleicher Höhe finden sich Spuren der Radinnenseite des linken Rades an der linken Zunge (Abbildung 2 Bild 1 links). Im weiteren Verlauf überrollt das rechte Rad die letzte Zungenstütze vor dem mittleren rechten Radlenker (Abbildung 2 Bild 2 rechts), bevor es frontal gegen den Radlenker läuft (Abbildung 2 Bild 3 rechts). Auf Höhe des Anlaufens am Radlenker überrollte das linke Rad mit dem Spurkranz einen Schraubenkopf zur Schienenbefestigung (Abbildung 2 Bild 2 links).



Abbildung 1: Sollfahrweg a - c Weiche 36 (Blick in Fahrtrichtung mit Sollfahrweg (roter Pfeil))

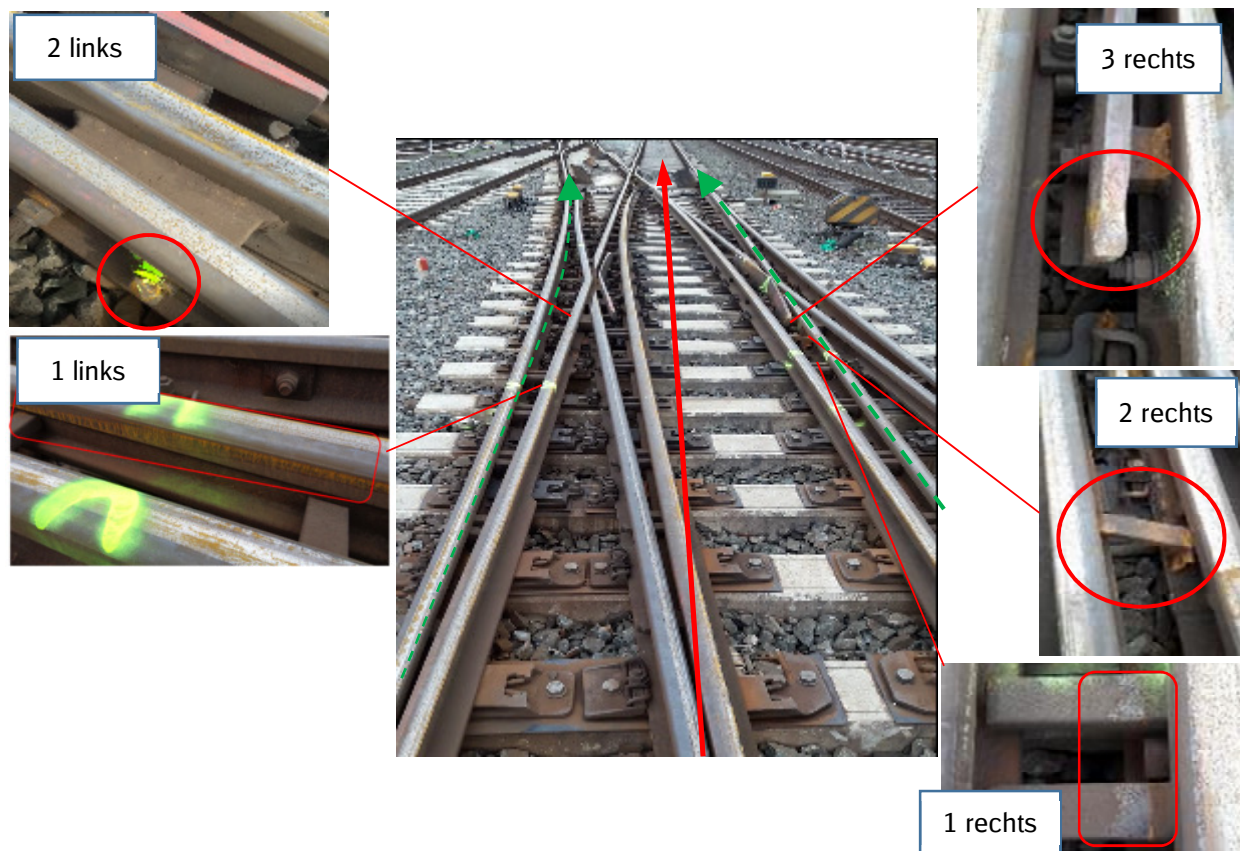


Abbildung 2: Erste Entgleisungsspuren bis zum mittigen Radlenker [4]

Der kausale Zusammenhang der ersten Entgleisungspuren zeigt, dass die beiden Räder des Radsatz in unterschiedlichen Richtungen c und d gelaufen sind, obwohl beide in Richtung c hätten laufen sollen. Ein Befahren des linken Rades in den abzweigenden Fahrweg d hätte durch das Anliegen der linken Zunge an der Backenschiene verhindert werden müssen. Das der Fahrweg dennoch befahren wurde, kann auf zwei Möglichkeiten zurückgeführt werden:

1. Unzeitige Weichenverstellung während der Wagen über die Zunge fuhr
2. linkes Rad klettert auf und überrollt die Zunge

Zu 1: Nach Auswertung der Stellwerkaufzeichnungen ist eine Verstellung während der Überfahrt unwahrscheinlich. Dass die linke Weichenzunge nach dem Unfall abliegend war, ist eine Folge des Unfalls [2].

Zu 2: Es wurden keine direkten Aufkletterspuren an der Weichenzunge gefunden, allerdings war das Verschleißbild für die Befahrung im geraden Strang untypisch. Im Bereich des Zungenanfangs ist ein Anlaufen des Spurkranzes an der Zunge zu erkennen, verstärkt im Bereich ca. 250 mm nach Zungenanfang (Abbildung 3). Die nach Ril 821.2005A3 vorgeschriebene Prüfung mit Lehre 2 ergab keine unzulässige Abweichung [3].



Abbildung 3: Verschleißspuren linke Zunge Weiche 36

In Hinblick für einen wahrscheinlichen Ausschluss einer unzeitigen Weichenverstellung und dem auffälligen Verschleißbild an der Zunge wurde die DB Systemtechnik damit beauftragt mittels der Mehrkörpersimulation (MKS) das Anlaufen an der Zunge näher zu untersuchen.



### 3 Simulationsmodell

Das Simulationsmodell wurde mit der Software SIMPACK in der Version 2017 aufgebaut. In der Simulation sind insgesamt drei Wagen des ICE 945 abgebildet. Dies sind die beiden letzten entgleisten Wagen 806.6 (MW), 808.0 (STW) und der drittletzte nicht entgleiste Wagen 806.3 (MW) (Abbildung 4).

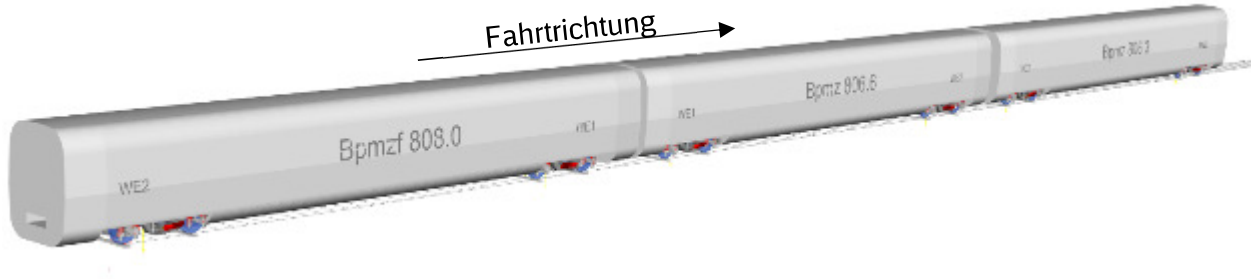


Abbildung 4: Simulationsmodell

Basierend auf einem bereits bestehenden Modell für den Steuerwagen aus der Seitenwindberechnung [5] ist das Modell für diese Untersuchung erweitert worden; unter anderem wurden die Massen entsprechend der Messprotokolle [13][14][15] angepasst.

	MW	STW
Gesamtmasse	47 t	53 t

Tabelle 1: Gesamtmasse der Fahrzeuge

#### 3.1 Wagenkasten

Die Ergebnisse der Radaufstandskräfte für den Mittelwagen 806.6 und 806.3 [13] [15] zeigen unterschiedliche Werte für die Radaufstandskräfte pro Drehgestell. Der Abgleich der Radaufstandskräfte ergibt eine Verschiebung von 650 mm in Richtung WE1 (Anlage 1.2). Beim entgleisten Unfallwagen 806.6 ist das WE1 nachlaufend gewesen. Der STW 808.0 zeigt keine entscheidenden Unterschiede in den Radaufstandskräften der beiden Drehgestelle [14].

Zur Anzahl der Fahrgäste und Gepäck zum Zeitpunkt des Unfalls lagen keine Daten vor, so dass die Beladungsmasse bei beiden Unfallwagen mit 5 t angenommen wurde.

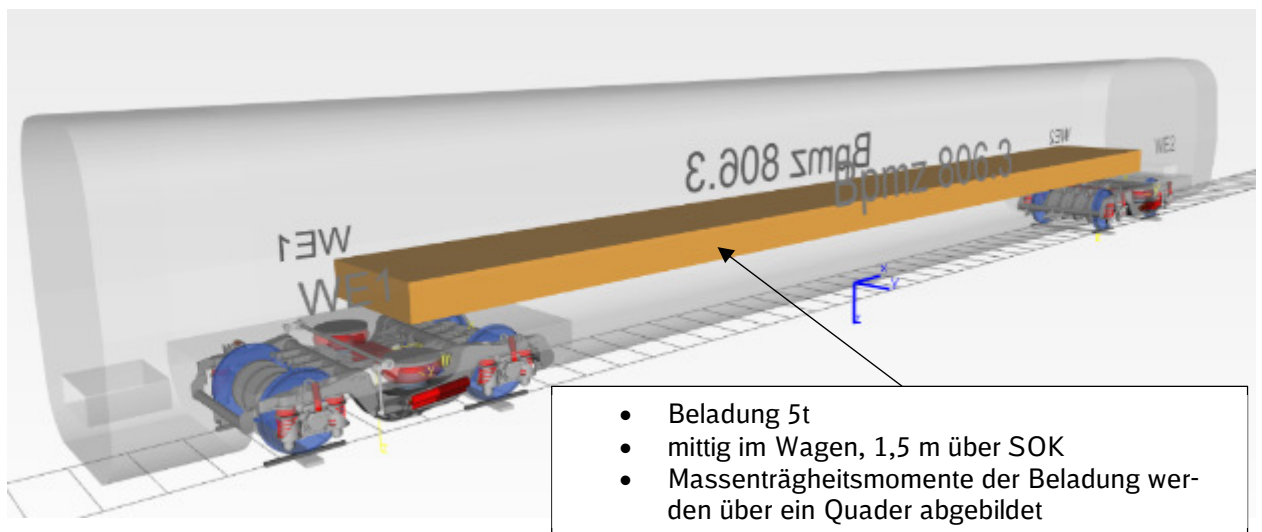


Abbildung 5: Einbindung der Beladung

Wagen	Beladungszustand	Schwerpunktlage ausgehend von Wagenmitte und SOK		
		x	y	z
MW	leer	-650 mm	0 mm	-1.772 m
	beladen	-570 mm	0 mm	-1.736 m
STW	leer	0 mm	0 mm	1.772 m
	beladen	0 mm	0 mm	-1.739 m

Tabelle 2: Massenschwerpunkt der Wagenkästen

Die Schwerpunktlagen in z beruhen auf Annahmen auf Basis von Erfahrungswerten. Eine Verschiebung des Schwerpunktes in Querrichtung y ist bei beiden Unfallwagen im Leerzustand auf Basis von [13] [14] nicht zu erkennen. Um den Einfluss einer Querverschiebung zu untersuchen, wurde eine Variante gerechnet mit einer Querverschiebung des Schwerpunkts, der eine Abweichung der Radaufstandskräfte pro Radsatz von 5% <sup>1</sup> bewirkt (Anlage 1.2).

### 3.2 Drehgestellmodell

Das Modell basiert auf den Werten aus [5] und wurde für die Unfallsimulation dahingehend angepasst, das Anlaufen an der Zunge exakter abzubilden. Es wurden die folgenden Änderungen vorgenommen:

- Detaillierte Darstellung der Anbindung Radsatz zu Drehgestell
- verbesserte Darstellung des Wankverhaltens
  - Luftfedern erweitert um eine 2-Punkt Niveauregulierung
  - Anpassung der Massen
  - Modellierung der Wankstütze über Pendel und Torsionsstab
- Einbindung von CAD-Geometrien zur Abbildung der Massenträgheitsmomente
- Einbindung der gemessenen Schlingerdämpferkennlinien [19]

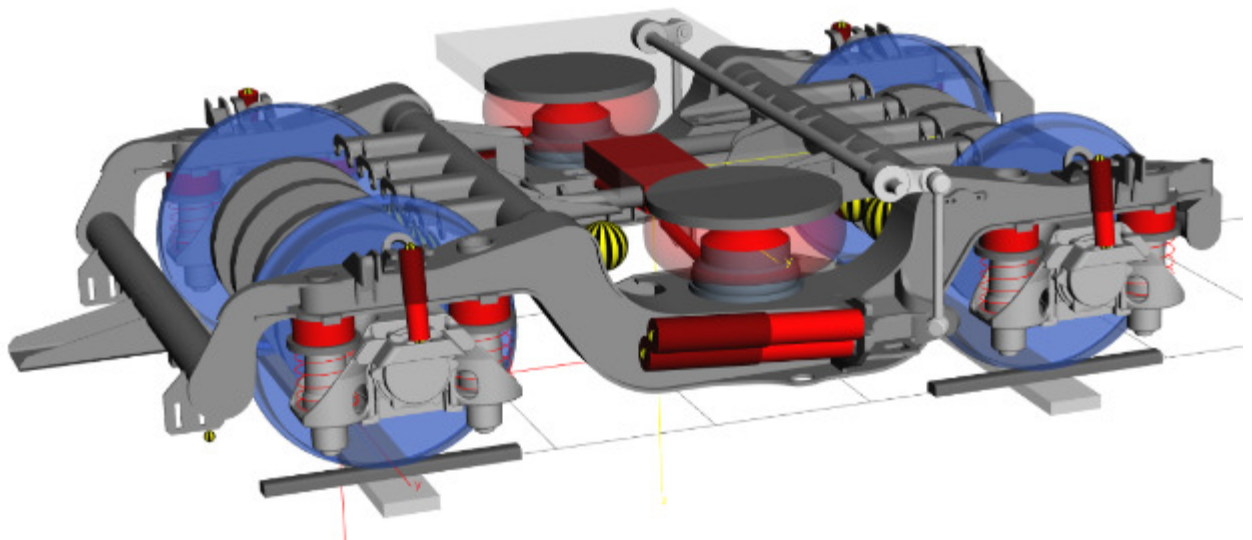


Abbildung 6: Drehgestellmodell SGP400

Der höhere Detaillierungsgrad in der Verbindung zwischen Radsatzlagergehäuse und Drehgestellrahmen, bestehend aus Primärfeder und Führungsbuchse, berücksichtigt die richtungsab-

<sup>1</sup> Grenzmaß für die Instandhaltung Ril 900.0020



hängigen nichtlinearen Steifigkeiten der Führungsbuchse und die linearen Steifigkeiten der primären Schraubenfeder. Darüber hinaus sind die Steifigkeiten der Schichtfeder, wirkend zwischen Primärfeder und Drehgestellrahmen, im Modell berücksichtigt.

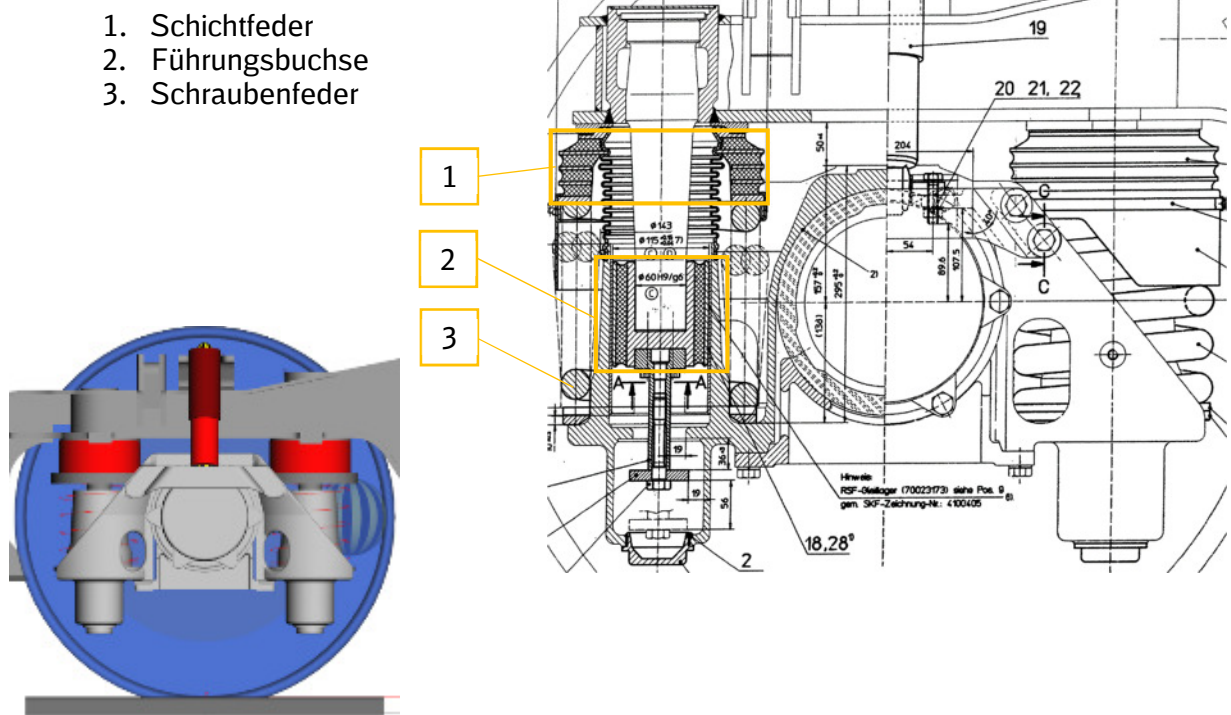


Abbildung 7: Anbindung Radsatz Drehgestellrahmen

Die Gesamtsteifigkeit zwischen Radsatzlagergehäuse und Drehgestellrahmen wird im Wesentlichen durch die Führungsbuchse definiert. Zum Vergleich sind in der Tabelle 3 die Steifigkeiten der Führungsbuchse, den Werten der Radsatzführungsbuchse des ICE 3 SGP 500 gegenübergestellt. Das Spiel zwischen Radsatzführungsbuchse und Radsatzlagergehäuse wurde im Vergleich zum ursprünglichen Modell vernachlässigt. Einzelheiten zur Modellierung mit Quellenangaben sind in Anlage 1.3 aufgeführt.

	ICE 2 SGP 400 neu	ICE 3 SGP 500
$C_x$ (längs)	<sup>2</sup> 48 000 000 N/m	<sup>3</sup> 45 000 000 N/m
$C_y$ (quer)	<sup>2</sup> 12 000 000 N/m	<sup>3</sup> 12 500 000 N/m

Tabelle 3: Steifigkeiten Radsatzführung

Um etwaige Einflüsse von Seiten des Wankverhaltens des Fahrzeugs exakter zu berücksichtigen wurde das Modell in der Luftfeder um eine 2 Punkt – Niveauregulierung erweitert bei der beide Federn untereinander verbunden sind. Ein an das System angeschlossener Kompressor bewirkt, dass der Abstand des Wagenkastens zum Drehgestell unabhängig von der Beladung immer gleich ist. Die Verbindung der beiden Luftfedern sorgt dafür, dass beim Wanken des Wagenkastens lediglich Dämpfungskräfte wirken, erzeugt durch die Verlagerung des Luftvolumens zwischen den Federn.

Das eingebundene Luftfedermodell basiert auf einem validierten Modell der Luftfeder des SGP500 – Drehgestells (ICE 3) die nahezu baugleich ist mit des SGP 400 [8][9][10][11]. Die das Ausdrehen des Drehgestells beeinflussende Quersteifigkeit ist im Leerzustand:

<sup>2</sup> Summe aus beiden Radsatzführungsbuchsen

<sup>3</sup> Spezifikation für Radsatzführungsbuchse ICE 3; [Redacted]; Revision 3 11/1997

Wagen	Leerlast	Quersteifigkeit
MW	80kN (WE2) / 91 kN (WE1)	105 kN/mm / 114 kN/mm
STW	93 kN	115 kN/mm

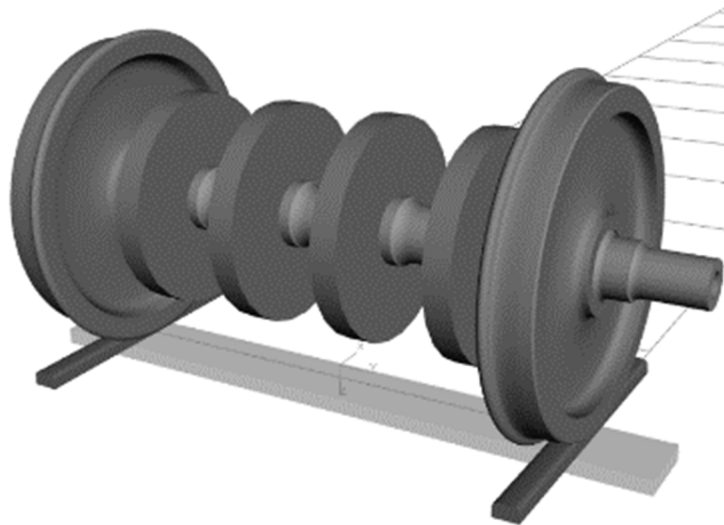
Tabelle 4: Quersteifigkeiten der Luftfeder

Zur Überprüfung der vorgenommenen Änderungen wurde das Modell hinsichtlich der Höhenlagen von Drehgestellrahmen, Wagenkasten und Abstand zwischen Wagenkasten und Drehgestell überprüft. Die in Anlage 1.4 aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass die Vorgaben aus den TZ für Höhenlagen und dem Abstand Drehgestell zu Wagenkasten eingehalten werden. Die Plausibilisierung des Wankverhaltens des Fahrzeugs, charakterisiert durch Neigekoeffizient und Wankfrequenz, ergab realistische Werte (Anlage 1.5). Messdaten für einen Abgleich standen nicht zur Verfügung.

Nach dem Unfall wurden einzelne Drehgestellkomponenten der beiden Unfallwagen in Krefeld vermessen. Aus diesen Daten wurden die Schlingerdämpferkennlinien [19], bis auf zwei Dämpfer<sup>4</sup> des nachlaufenden Drehgestells, des STW 808.0 in das Modell eingebunden. Die Messung zeigte bei einem Schlingerdämpfer am vorlaufenden Drehgestell des MW 806.6 eine auffällige Kennlinie (Anlage 1.9).

### 3.3 Radsatz und Radprofile

An den beiden entgleisten Wagen waren unterschiedlichen Radsatztypen der BA 227 (STW808.0) und BA 417 (MW806.6) verbaut [16], die sich in der Radform unterscheiden, allerdings nur geringfügig in Bezug auf die Massen und die Massenverteilung. Im Simulationsmodell sind die Masseneigenschaften für den Nennzustands aus Tabelle 5 eingebunden.



Masseneigenschaften	Radsatz	
	BA227 (STW 808.0)	BA417 (MW 806.6)
m	1449 kg	1451 kg
<sup>5</sup> J <sub>xx</sub>	595 kgm <sup>2</sup>	588 kgm <sup>2</sup>
<sup>5</sup> J <sub>yy</sub>	117 kgm <sup>2</sup>	116 kgm <sup>2</sup>
<sup>5</sup> J <sub>zz</sub>	595 kgm <sup>2</sup>	588 kgm <sup>2</sup>

Tabelle 5: Eingebundene Masseneigenschaften (Nennzustand) der Radsätze an den entgleisten Wagen

<sup>4</sup> Die Dämpfer waren zerstört, daher wurde für diese Dämpfer die Nennkennlinie angenommen.

<sup>5</sup> Werte aus SIMPACK berechnet auf Basis von CAD-Körpern mit Neudurchmesser der Räder

Die Radprofile aller Wagen des Tz 229 wurden nach dem Unfall abgezeichnet und ausgewertet [17]. Aus der Auswertung der äquivalenten Konizität geht hervor, dass diese an den beiden entgleisten Fahrzeugen im Mittel über alle Radsätze am höchsten war.

Wagen	← Fahrtrichtung			
	Radsatz 1	Radsatz 2	Radsatz 3	Radsatz 4
TK 402 029 - 3	0,055	0,052	0,076	0,066
MW 805 325 - 8	0,047	0,057	0,05	0,066
MW 805 028 - 8	0,279	0,262	0,157	0,209
Bordr. 807 026 - 0	0,061	0,055	0,076	0,137
MW 806 039 - 4	0,092	0,068	0,110	0,128
MW 806 339 - 8	0,084	0,093	0,096	0,096
MW 806 629 - 2	0,278	0,357	0,284	0,285
STW 808 029 - 3	0,398	0,259	0,215	0,244

Tabelle 6: äquivalente Konizitäten der gemessene Radprofile gepaart mit theo. Schienenprofil 60E2-Profil [17]

Bei allen drei in der Simulation abgebildeten Wagen wurden die jeweils gemessenen Radprofile - eingebunden zusammen mit dem gemessenen Raddurchmesser aus [18]. -

Die sich aus den Profilen der Räder, gepaart mit einem theoretischen 60E2-Profil, ergebende - Kontaktgeometrie in SIMPACK ist in Anlage 1.6 dargestellt. -

Für die Vergleichsvarianten 9 und 19 (siehe Tabelle 7) wurden Neuprofile - (S1002/h28/e31,5/6,7%) mit einem Spurmaß von 1423 mm verwendet. -

### 3.4 Strecke und Schienenprofile

Für die Simulation wurden streckenseitig die folgenden Daten eingebunden:

- Trassierungs- und Gleislagedaten aus der Railab-Messung vor (15.05.2017) und nach (25.08.2017) der Instandsetzung
- Backenschienen- und Zungenprofil vor (05.05.2017) und nach (07.07.2017) der Instandsetzung

Das Simulationsmodell startet ca. 800 m vor der Weichenzunge im geraden ungestörten Gleis. Zu Beginn fährt der Zug ca. 650 m durch einen Rechtsbogen der dann in einen Linksbogen mit ca. 100 m Länge übergeht. Dieser endet dann ohne Übergangsbogen ca. 12 m vor der Weichenzunge (Abbildung 8).

Die gemessene Gleislage kurz nach dem Unfall und vor der Instandhaltung zeigte keine Überschreitung der Grenzwerte nach Ril 821 an der Unfallstelle. In einem Abstand ca. 35 m vor der Weiche sind im Linksbogen Längshöhenfehler mit einem Maximum von 17 mm zu erkennen, die allerdings zu keiner Entgleisung 35 m später führen können (Abbildung 9). Im Bereich kurz vor der Weichenzunge, tritt auf Höhe des Radlenkers eine Richtungsfehler auf, bei dem sich im Maximum die linke Schiene in Fahrtrichtung um ca. 9 mm und die rechte Schiene um ca. 8mm nach links krümmt (Abbildung 10).

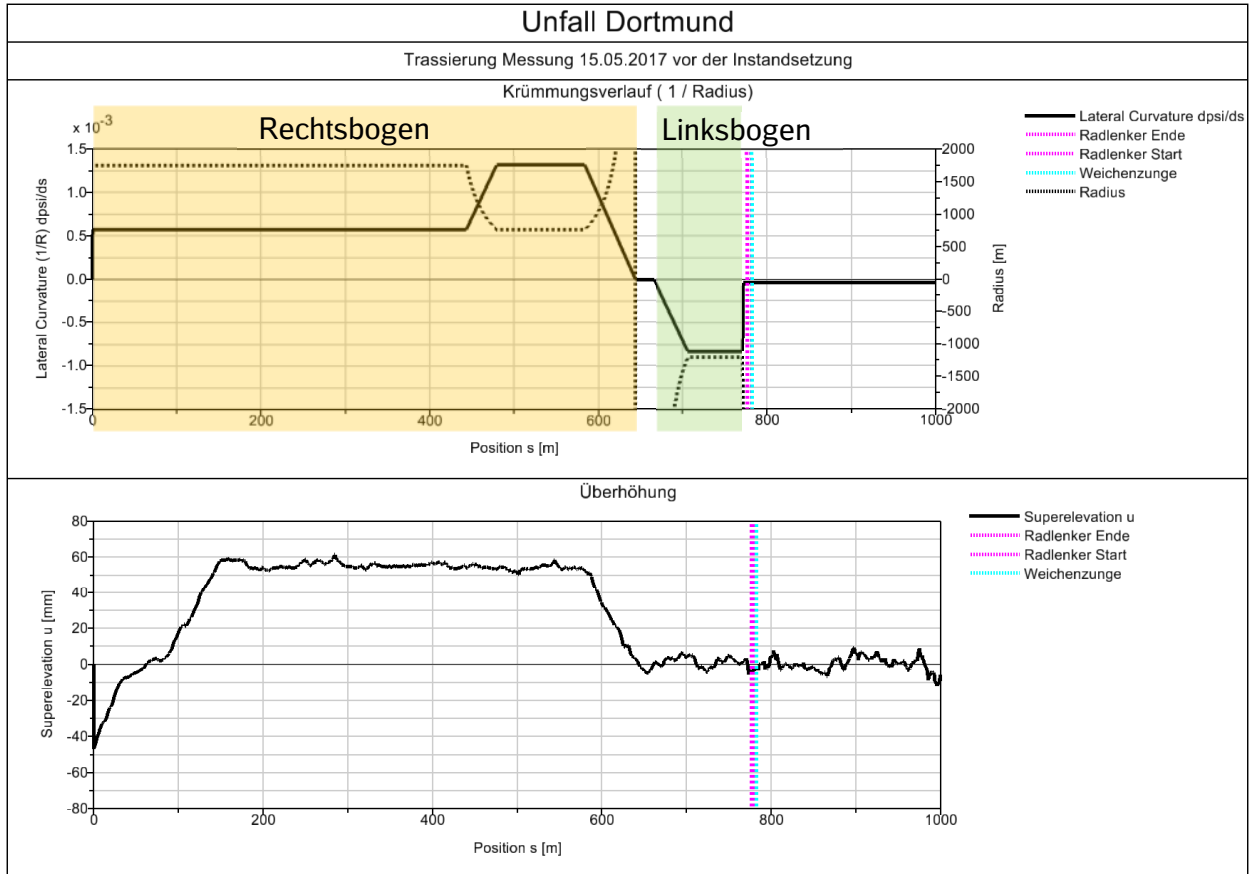


Abbildung 8: Eingebundene Trassierung auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017

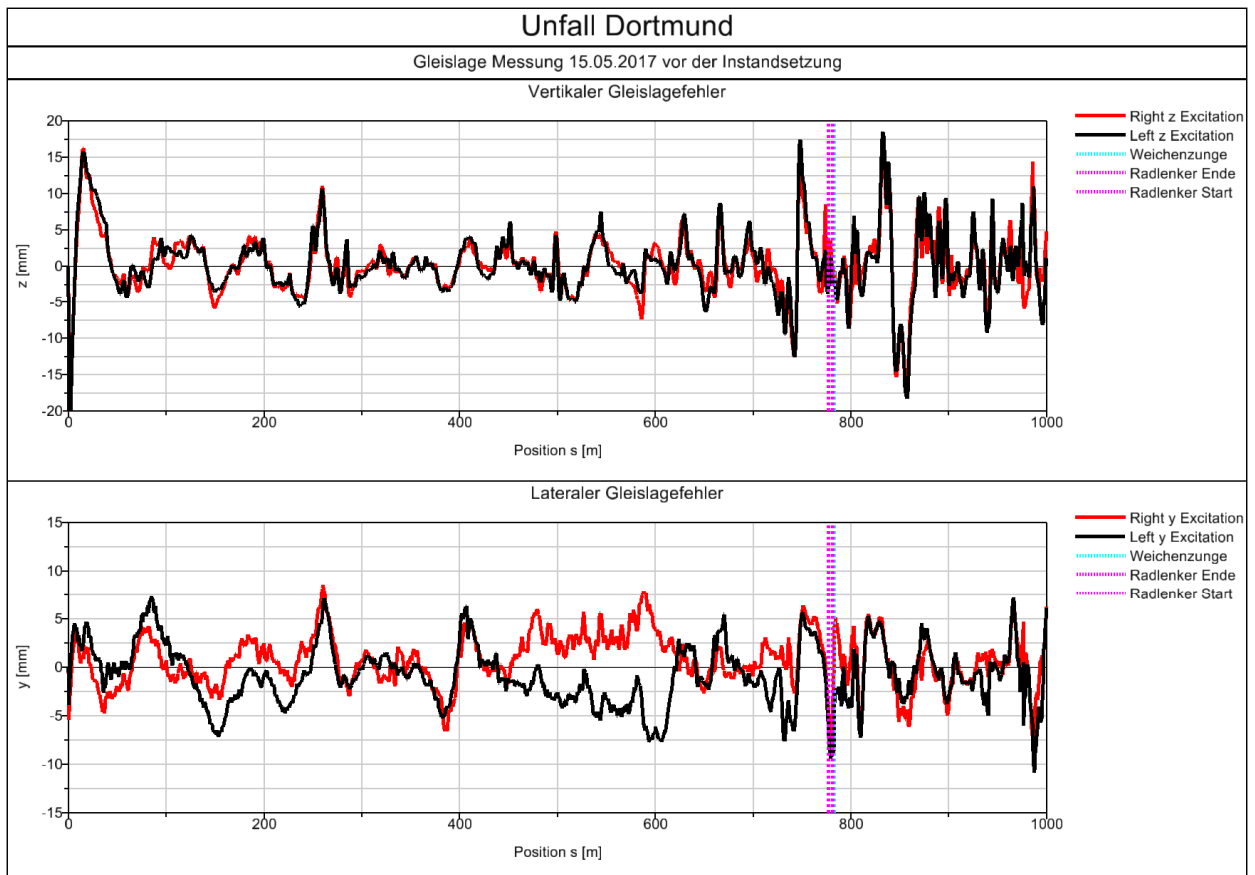


Abbildung 9: Eingebundene Gleislage auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017

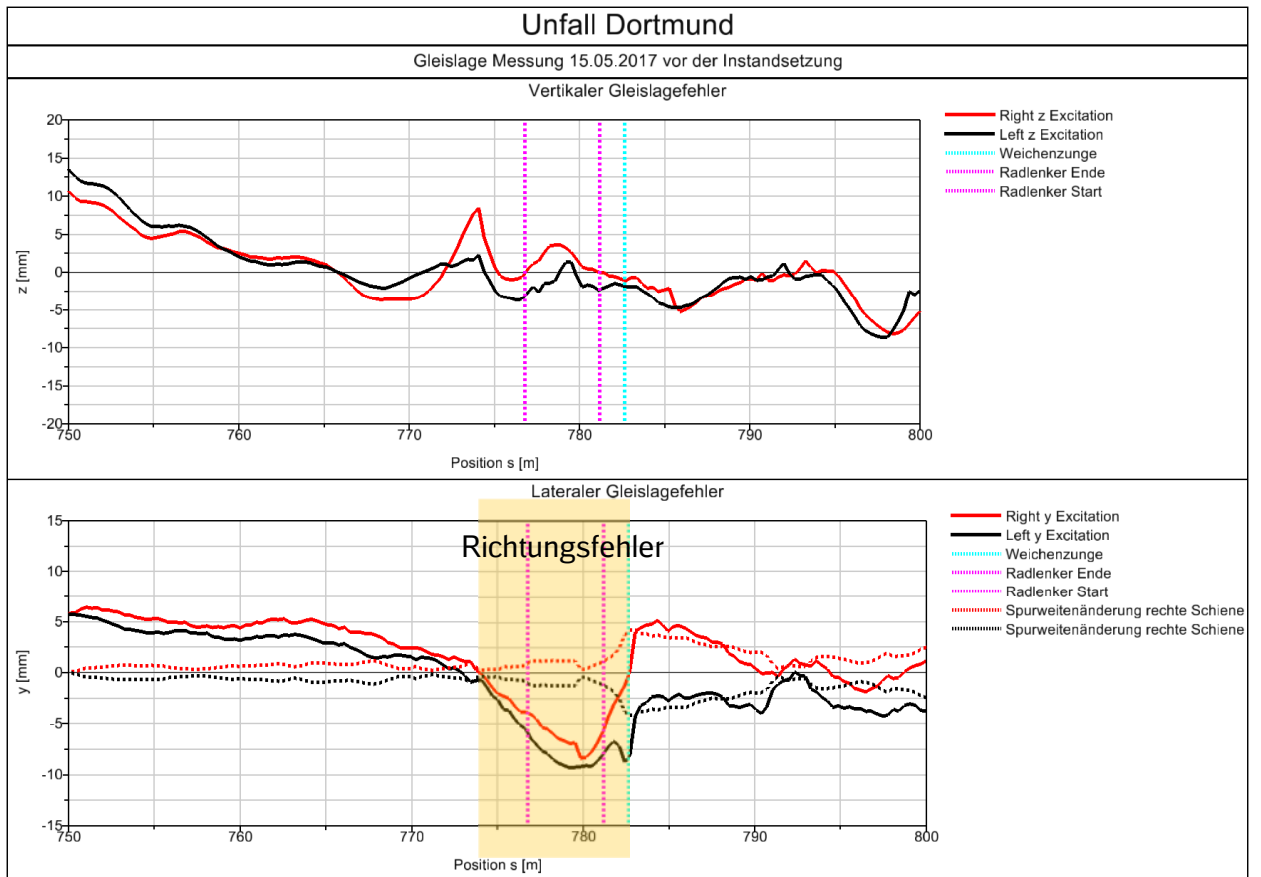


Abbildung 10: Gleislage im Zungenbereich auf Basis der Railab-Messung vom 15.05.2017

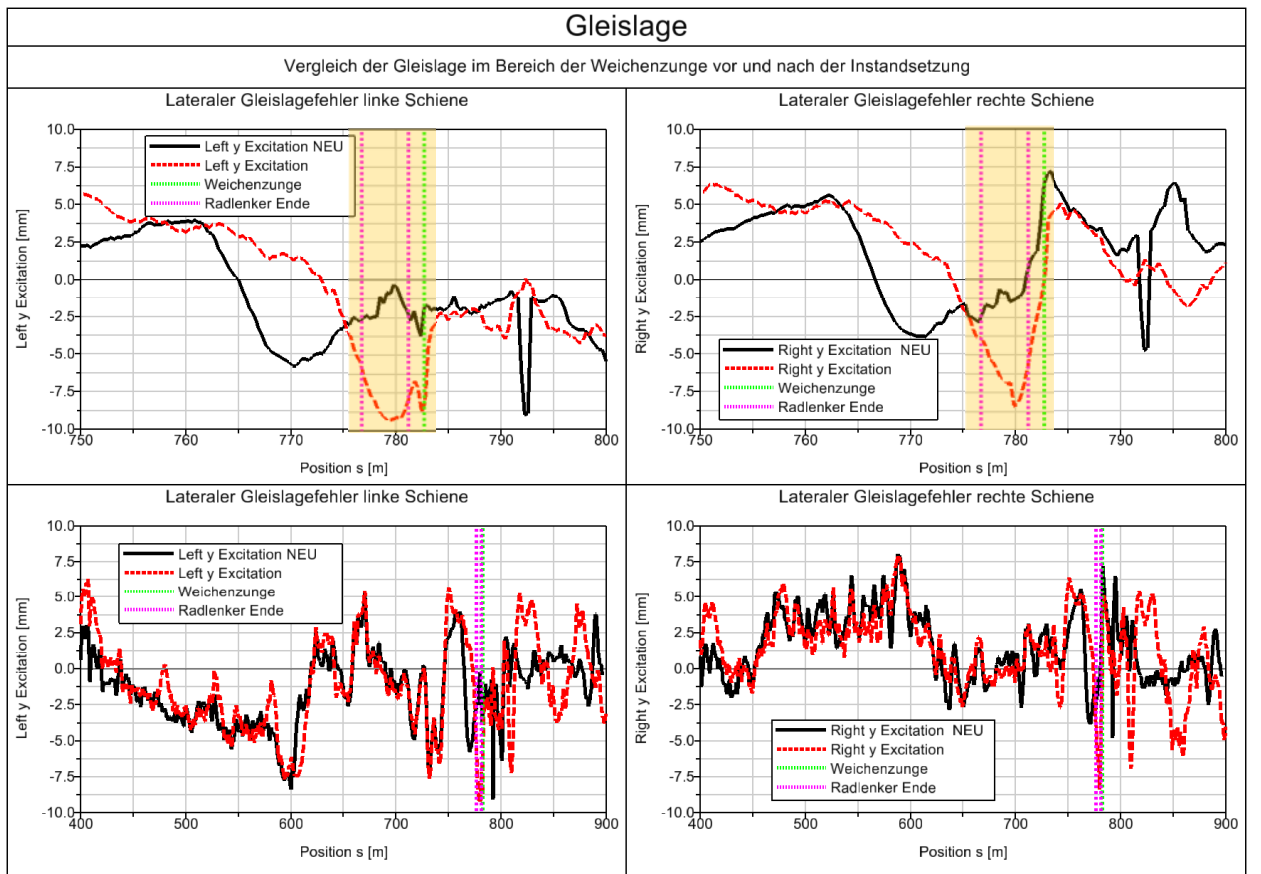


Abbildung 11: Vergleich der Gleislage vor (rote Linie) und nach (schwarze Linie NEU) der Instandsetzung



Ein Vergleich der Gleislage vor und nach der Instandhaltung zeigt eine deutliche Verringerung des Richtungsfehlers nach der Instandhaltung (Abbildung 11).

Zum Zeitpunkt des Unfalls war die Schiene nass, der Bereich der Weichenzunge war zudem geschmiert (Abbildung 12 <sup>6</sup>). Da die Zunge nicht aktiv geschmiert wird, handelt es sich wahrscheinlich um Fett von der Spurkranzschmierung der Räder. Für die Simulation wurde auf Basis dieser Randbedingungen ein Reibwert für eine nasse Schiene von 0,25 für beide Schienen angenommen und im Bereich der Weichenzunge ein Wert für eine geschmierte Zunge von 0,15.



Abbildung 12: Zustand der Weichenzunge kurz nach dem Unfall

---

<sup>6</sup> Quelle: Bild aufgenommen von der Bundespolizei am 01.05.2017 in Dortmund, Bilddatei zur Verfügung gestellt von [REDACTED] (BEU)

Um das eigentliche Anlaufen an der Zunge abzubilden, ist es zwingend nötig neben den realen Radprofilen auch das Profil der anliegenden Zunge mit Backenschiene im Bereich des Anlaufens abzubilden. Dazu wurden, beginnend vor der Weichenzunge über eine Länge von 1,2 m, die Profile der anliegenden Zunge mit Backenschiene gemessen. Insgesamt 21 Querschnitte der Zunge mit Backenschiene sind im Simulationsmodell jeweils für eine Messung vor und nach der Instandsetzung eingebunden. Der visuelle Eindruck des Zungenverschleiß (Abbildung 3) zeigt sich auch in den Profilmessungen (Abbildung 13). Im Querschnitt 250 mm nach Zungenanfang ist der Verschleiß am deutlichsten zu erkennen (Abbildung 14).

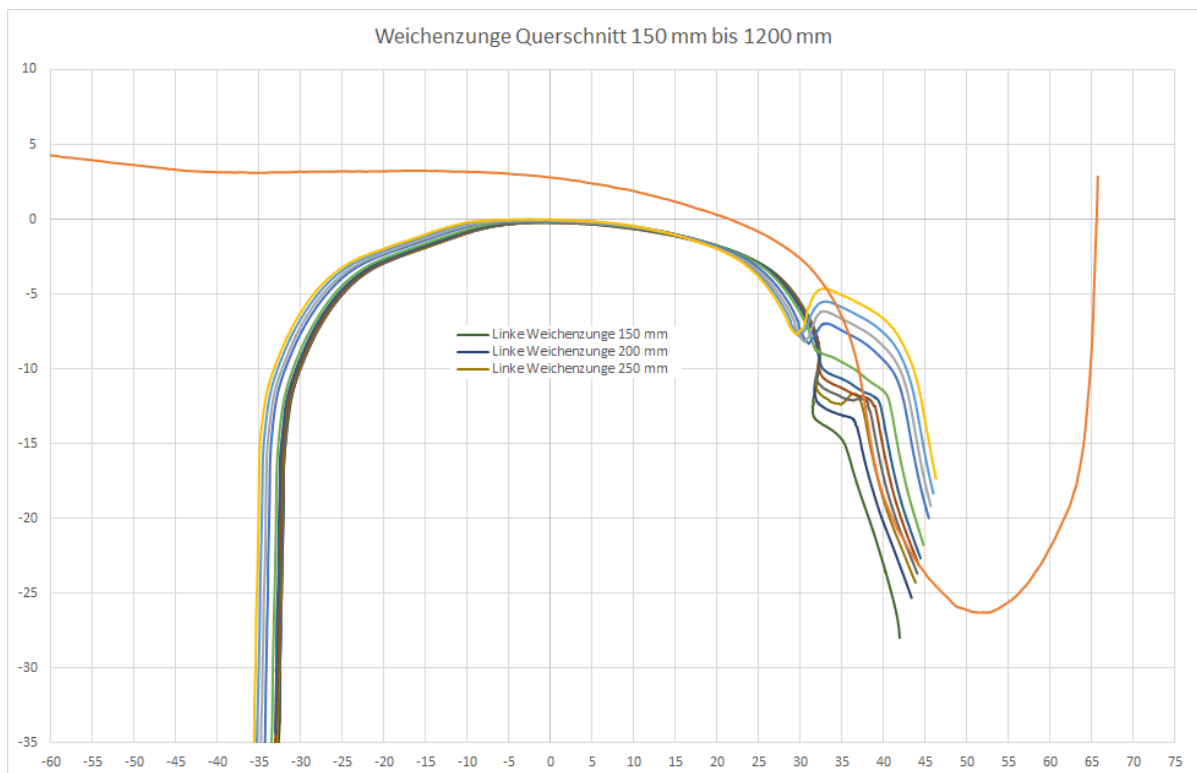


Abbildung 13: Messung des Profils der anliegenden Zunge mit Backenschiene vor der Instandhaltung; oben: Messbereich der Profilmessung, unten: Zungen-Backenschienen-Profile 150 mm beginnend hinter dem Weichenzungenanfang

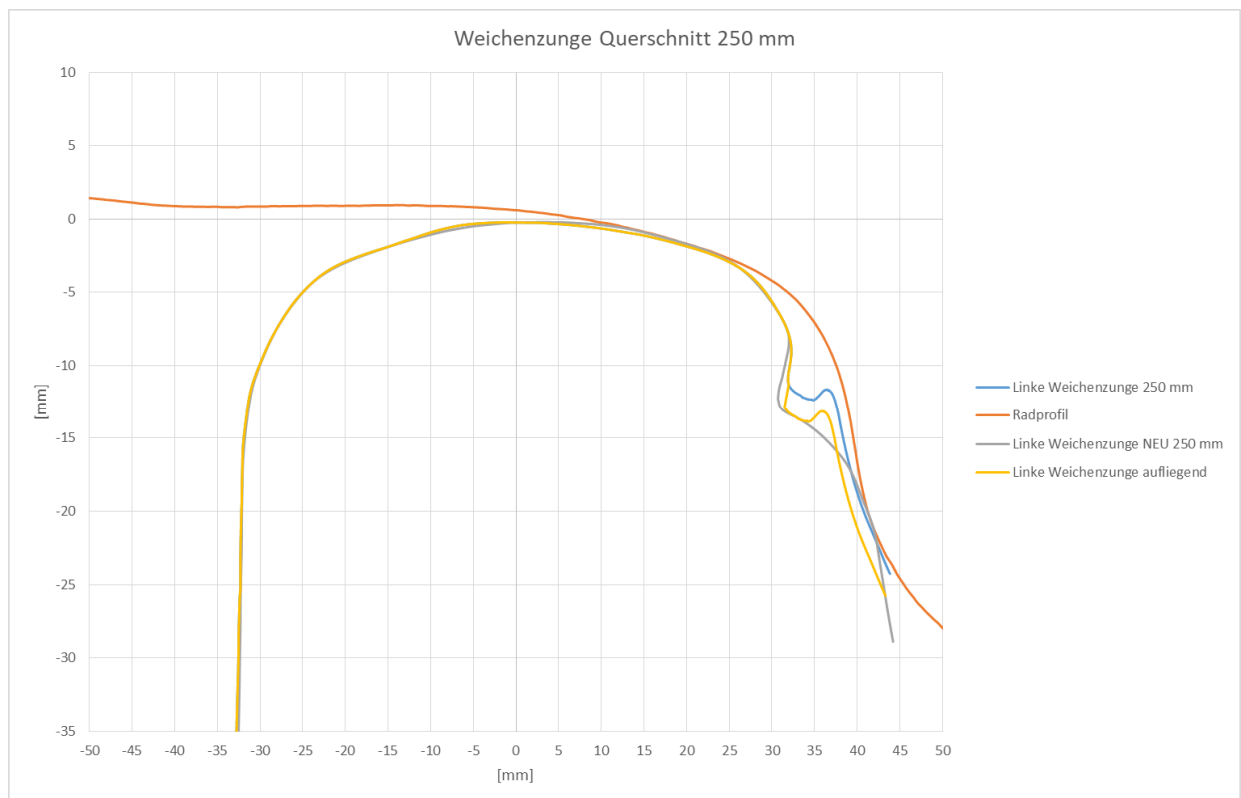
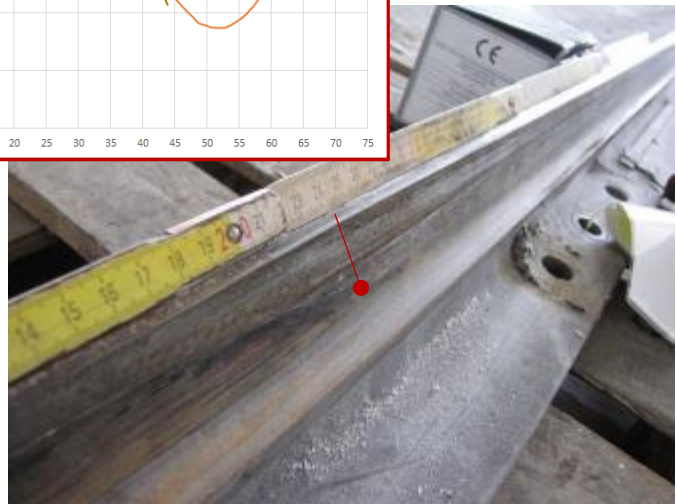
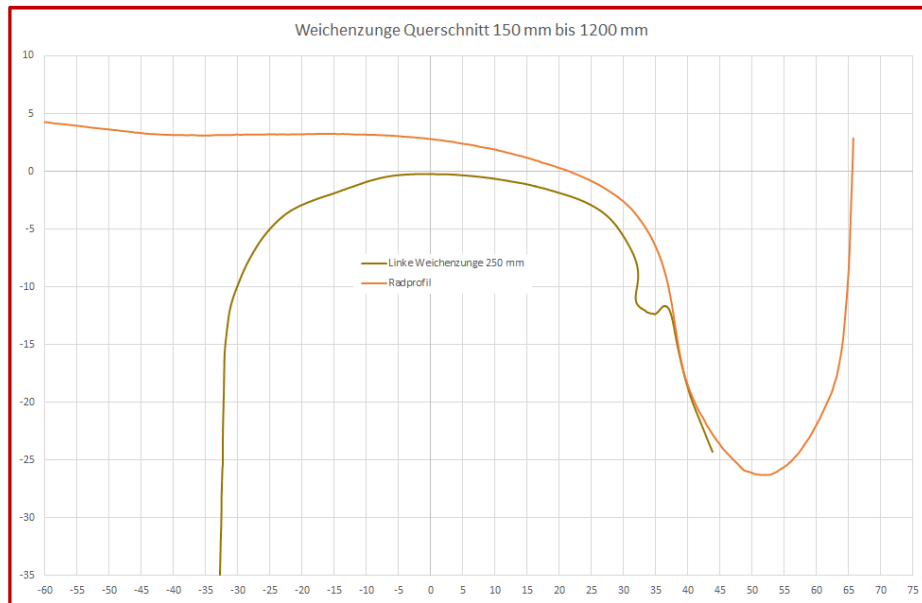


Abbildung 15: Vergleich der Profile vor und nach (NEU) der Instandsetzung

An dieser Stelle ist die Verquetschung in Form einer Gratbildung des Materials im Vergleich zu den anderen gemessenen Profilquerschnitten am größten. In der Abbildung 15 sind beide Querschnitte bei 250 mm vor und nach der Instandsetzung gegenübergestellt. In der Anlage 1.7 sind weitere Gegenüberstellungen von Profilen aufgeführt. Auffällig ist dabei, dass die Profile der neuen und alten Zungenprofile in der Höhe abweichen, hervorgerufen durch ein Nichtaufliegen der Zunge auf den Gleitstücken bei der alten Weiche. Für den Querschnitt mit dem maximalen Verschleiß 250 mm nach Zungenanfang ist in Abbildung 15 zusätzlich die aufliegende Zunge mit einem vertikalen Versatz von 1,5 mm dargestellt.

Im Abstand von ca. 1,2 m vor dem Beginn der Weichenzunge endet der Radlenker. Dieser übernimmt, im Bereich des Herzstückes die Spurführung. Daher kann es hier zu einem Anlaufen der Radrückens an den Randlenker kommen, wodurch in der Folge der Zulauf bzw. Anlaufen an der Zunge beeinflusst wird.

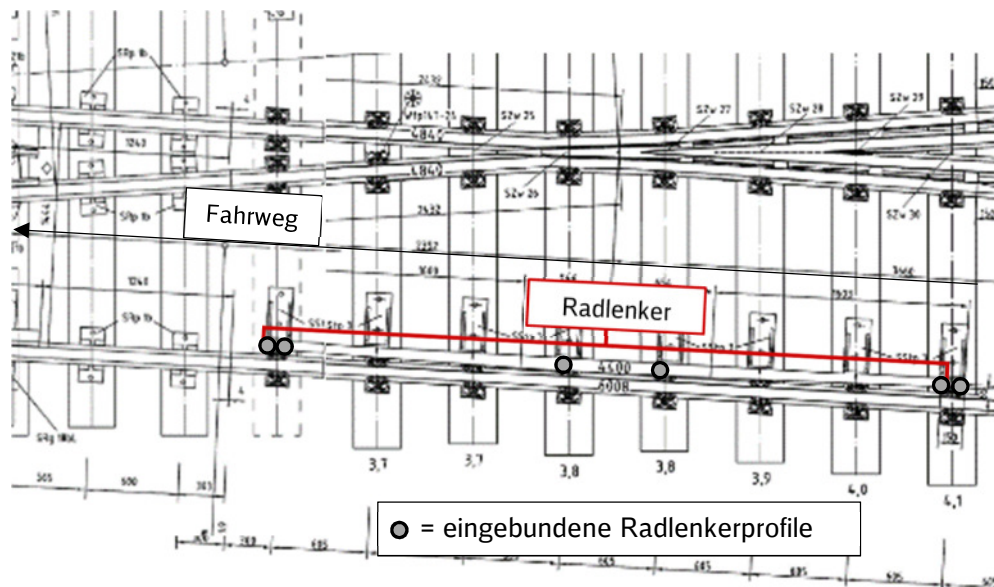


Abbildung 16: Radlenker im Herzstückbereich vor der Weichenzunge

Der Radlenker wurde über insgesamt 6 Querschnitte basierend auf [20] und dem theoretischen Schienenprofils des S54 eingebunden. Die Profilmessung des Radlenkers zeigte keinen nennenswerten Verschleiß [22], daher wurde von einem unverschlissenen Radlenker mit Nennabstand zur Schiene ausgegangen [21]. Auf die Einbindung der Herzstückprofile ist bisher verzichtet worden, stattdessen wurde im Weichenbereich durchgehend ein Verschleißprofil S54 aus den jeweiligen Messungen vor und nach der Instandhaltung eingebunden.

Zur Methodik der Einbindung der Profile sei angemerkt, dass die Simulationssoftware zwischen den Querschnitten der Profile interpoliert, wodurch es für genauere Abbildung zwingend notwendig ist, ausreichend viele Profile, insbesondere im Vorfeld des Radlenkers und zwischen dem Radlenker und der Weichenzunge einzubinden. Für diese Übergänge wurden jeweils ca. 30 Profile eingebunden.

#### 4 Varianten

In Abstimmung mit dem BEU, DB Fernverkehr, DB Netz und DB Systemtechnik wurden verschiedene Varianten berechnet und ausgewertet (Tabelle 7). Die rot markierten Varianten wurden im Verlaufe des Simulationsprozesses aufgrund der Erkenntnisse aus den anderen Varianten oder neuerer Informationen hinfällig. Für die orange markierten Varianten gilt, dass diese vorerst zurück gestellt wurden.

gerechnet	Fahrzeugparameter																				Streckenparameter									
	Variante	Radprofil		Beladung	Schwerpunktlage lateral sek. gefe. Masse	Geschwindigkeit	Schlingerdämpfer	Längsmithnahme	Schienenprofile Weiche	Gleislage	Abstand Zunge Backenschiene	Übergangsbogen	Reibwert																	
		gemessen	neu																											
														5 t	3 t															
ja	0	x		x	x	x			x	x																				
ja	1	x			x	x	x		x	x																				
ja	2	x			x		x		x	x																				
nein	3	x	x	x	x				x	x																				
ja	4	x		x		x			x	x																				
ja	5	x	x	x	x	x				x	x																			
ja	6	x		x	x	x	x			x																				
nein	7	x		x		x				x																				
nein	8	x		x		x				x																				
ja	9		x	x		x	x			x	x																			
ja	10	x		x		x	x			x	x																			
ja	11	x		x		x	x			x	x																			
nein	12	x		x		x	x			x	x																			
nein	13	x		x		x	x			x	x																			
ja	14	x		x		x	x			x	x																			
ja	15	x		x		x	x			x	x																			
ja	16	x		x		x	x			x	x																			
ja	17	x		x		x	x			x	x																			
nein	18		x	x		x	x			x	x																			
ja	19		x	x		x	x			x	x																			
ja	20	x		x		x	x			x	x																			
ja	21	x		x		x	x			x	x																			
nein	22	x		x		x	x			x	x																			
ja	23	x		x		x	x			x	x																			
nein	24	x		x		x	x			x	x																			
ja	25	x		x		x	x			x	x																			
ja	26	x		x		x	x			x	x																			

<

Tabelle 7: Varianten der Simulationsrechnung



## 5 Ergebnisse

Für eine Bewertung der Ergebnisse wurde jede Variante mit der Variante 0 verglichen. Bei der Variante 0 ist ein Zustand Fahrzeug/Fahrweg bei der Entgleisung gemäß Datenlage angenommen worden. In Kapitel 0 sind die Details, wie dieser Zustand definiert ist, aufgeführt. Um die sensitiven Größen, die das Anlaufen beeinflussen, zu bestimmen, ist pro Variante eine Größe verändert worden. Anschließend wurden die Ergebnisse verglichen und bzgl. des Einflusses der veränderten Größe bewertet.

Nachfolgend werden die Varianten im Detail mit den entscheidenden Ergebnissen erläutert (Kapitel 5.1 bis 0). Die Ergebnisse der restlichen Varianten sind im Kapitel 0 kurz beschrieben und in Anlage 2 aufgeführt. Der Schwerpunkt der Auswertung lag bei allen Varianten auf dem zuerst entgleisten Mittelwagen 806.6. Lediglich für die Variante 0 ist zusätzlich der STW 808.0 mit ausgewertet worden.

### 5.1 Ergebnisse Variante 0 Ausgangszustand für die vergleichende Bewertung

Vorab sei angemerkt, dass die Ergebnisse gezeigt haben, dass eine Bewertung in Hinblick auf die Entgleisungssicherheit mit den üblichen Grenzwerten nach [12] für den Entgleisungskoeffizient nicht möglich ist. Nach [12] werden Abschnitte in denen der Spurkranz an der Schiene anläuft, die kleiner als 2 m sind, entsprechend gefiltert. Beim kurzzeitigen Spurkranzanlaufen, wie das Verschleißbild der Zunge zeigt (Abbildung 3), ist die Strecke jedoch deutlich kürzer. Daher wurden im Wesentlichen die Radführungskräfte betrachtet, welche entsprechend [12] mit einem 20 Hz Tiefpassfilter gefiltert werden.

#### Radführungskraft

Die Auswertungen der Ergebnisse zeigen für beiden Wagen, dass bei der Einfahrt in die Weiche nur das linke Rad 12 des ersten vorlaufenden Radsatz an der Weichenzunge anläuft (Abbildung 17 oben). Das linke Rad 32 des vorlaufenden Radsatzes am nachlaufenden Drehgestell berührt den Radlenker (Abbildung 17 unten) läuft aber nicht an der Zunge an.

Der Bereich des Anlaufens erstreckt sich bei beiden Wagen über ca. 600 mm. Quantitativ betrachtet sind die Werte am Mittelwagen 806.6 höher mit maximal 72 kN. Am Steuerwagen 808.0 liegt der Maximalwert beim Anlaufen bei 50 kN. Die maximalen Radführungskräfte treten bei beiden Wagen ca. 250 mm bis 300 mm nach Beginn der Weichenzunge auf, was sich mit den Verschleißspuren an der Zunge deckt.

Aufgrund der nicht aufliegenden Zunge bei der Weiche zum Zeitpunkt des Unfalls, sind quantitative Aussage auf Basis der Simulation nicht zweifelsfrei möglich, da Abweichungen von wenigen Millimetern in der gemessenen Spurweite einen erheblichen Einfluss auf die Radführungskräfte haben. Das Nichtaufliegen der Zunge kann bewirken, dass

1. - der Messpunkt 14 mm unterhalb von Schienenoberkante sich verschiebt und sich damit die Spurweite von belasteter zu unbelasteter Zunge ändert und
2. - der Kontaktpunkt sich ändert aufgrund der elastischen Verformung der Zunge.

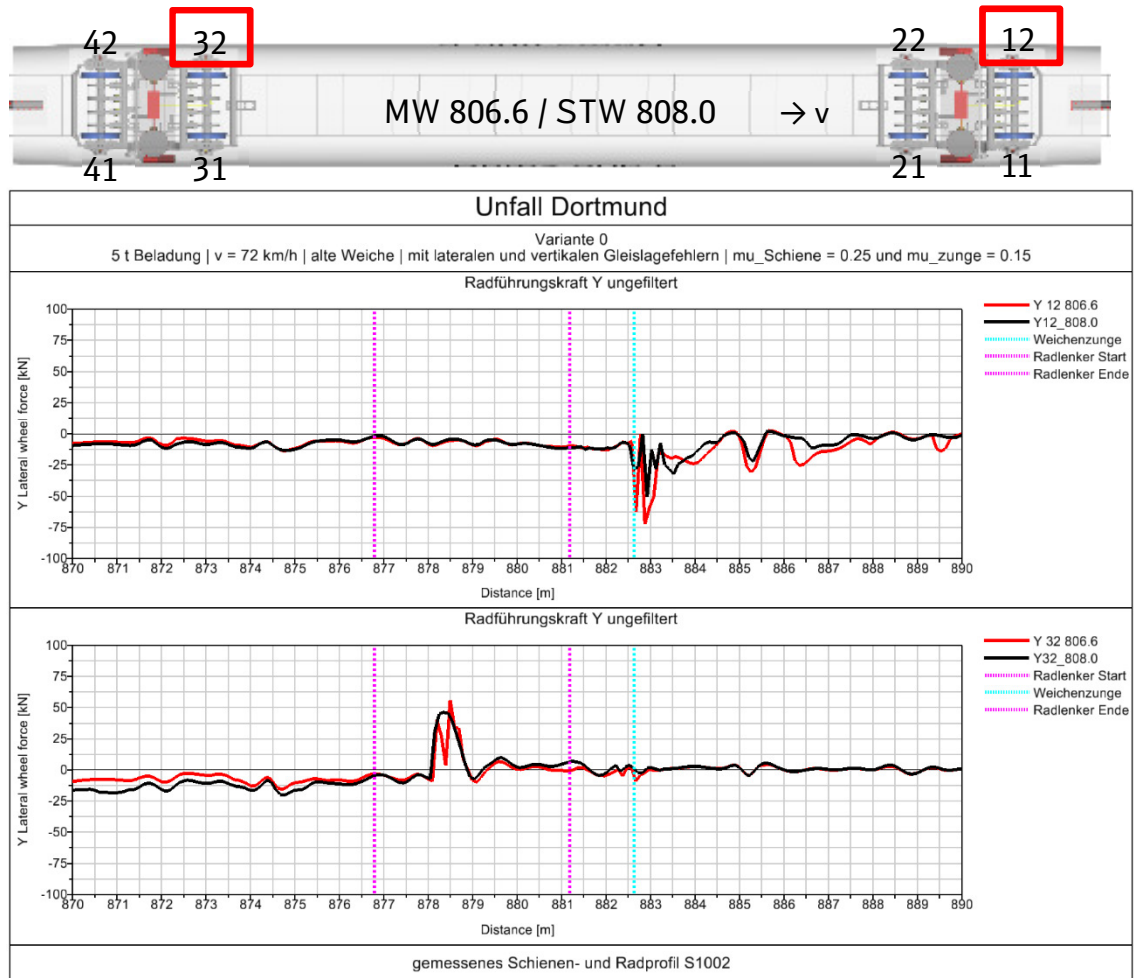


Abbildung 17: Radführungskräfte Rad 12 und 32 (Variante 0) am STW und MW

### Radsatzquerverschiebung

Die Radsatzquerverschiebung beschreibt die Querverschiebung des Radsatzes ausgehend von der Gleismitte.

Am Verlauf der Radsatzquerverschiebung ist zu erkennen, dass die Radsätze mit einer Querverschiebung, aufgrund des Linksbogens, querverschoben in den geraden Strang vor der Weiche einfahren (Abbildung 18 Punkt 1). Nach Verlassen des Bogens führt der erste Radsatz, der vorlaufende Radsatz des vorlaufenden Drehgestells, eine Wendebewegung aus und läuft auf die Zunge zu, bis diese berührt wird (Abbildung 18 Punkt 3).

Der vorlaufende Radsatz 3 des nachlaufenden Drehgestells verweilt nach Verlassen des Bogens im querverschoben Zustand bis der Radsatz den Radlenker berührt (Abbildung 18 Punkt 2) und anschließend in Richtung der Zunge läuft (Abbildung 18 Punkt 3). Die höhere Querverschiebung des Radsatzes 1 gegenüber dem Radsatz 3 beim Zulauf an die Zunge (Abbildung 18 Punkt 3) erklärt das Anlaufen des Rad 12 und das Nichtanlaufen des Rades 32 im Bereich des Zungenanfangs.

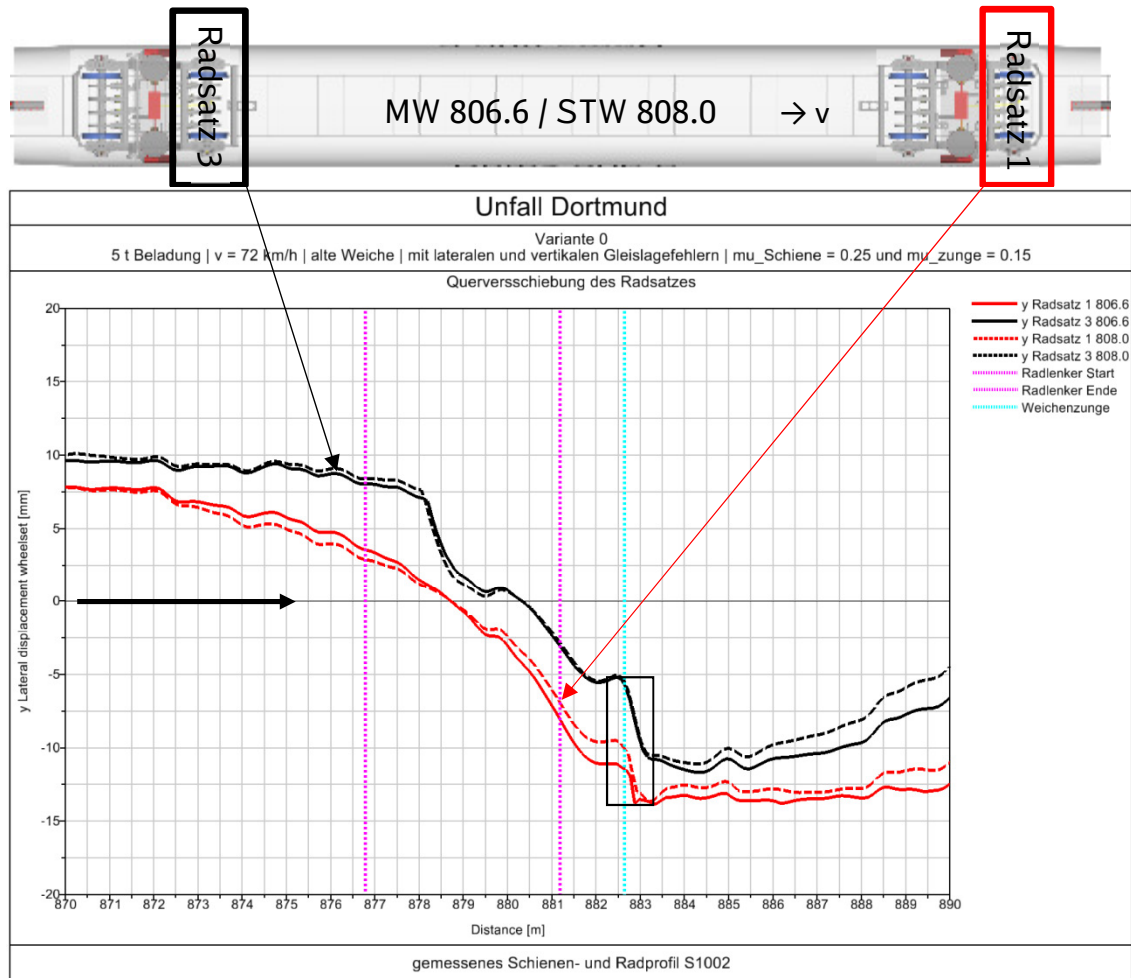
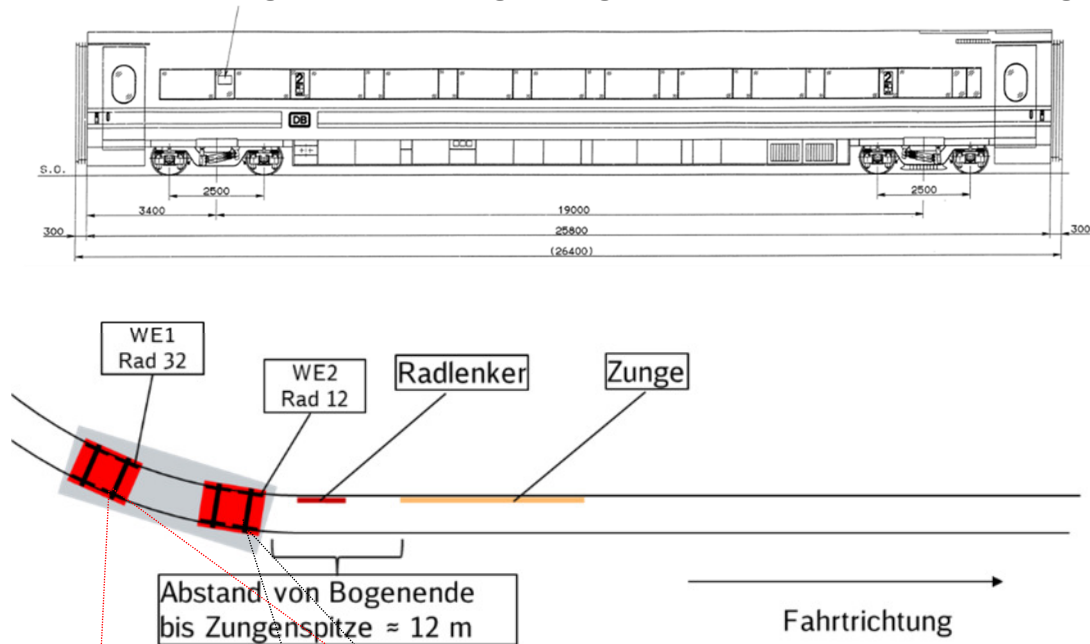


Abbildung 18: Radsatzquerverschiebung der beiden vorlaufenden Radsätze der entgleisten Wagen

Warum der Radsatz 1 nach Verlassen des Linksbogens auf die Zunge zuläuft und der Radsatz 3 wegläuft, ist in einer Restausdrehung der Drehgestelle bei Verlassen des Linksbogens begründet. Nach Verlassen des Linksbogens verhindern die Schlingerdämpferkräfte eine sofortige Geradestellung der Drehgestelle indem die Schlingerdämpfer ein Widerstandsmoment erzeugen, welches der Bewegung der Drehgestelle entgegen wirkt. Nach dem Verlassen des Bogens reichen die 12 m Gerade bis zur Weichenzunge nicht aus, damit sich die Drehgestelle wieder gerade stellen und die Radsätze wieder mittig im Gleis laufen. Es kommt somit zu einem trassierungsbedingten Anlaufen des Radsatzes 1.

Die Abbildung 19 zeigt beide Drehgestelle im Vollbogen vor der Weiche im ausgedrehten Zustand. Nach Verlassen des Bogens versucht das vorlaufende Drehgestell am WE2 sich wieder gerade zu stellen, zu erkennen an dem abnehmenden Ausdrehwinkel (schwarze Kurve). In Folge dieser Restausdrehung, mit der das Drehgestell in die Weiche fährt, orientieren sich die Radsätze nicht direkt in Gleismitte sondern laufen am vorlaufenden Drehgestell auf die Zunge zu. Am nachlaufenden Drehgestell WE2 zeigt sich ein umgekehrtes Verhalten. Das Drehgestell ist im Vollbogen im Vergleich zum vorlaufenden Drehgestell entgegengesetzt gedreht (Abbildung 20). Dadurch laufen die Radsätze nicht wie beim vorlaufenden Drehgestell auf die Zunge zu, sondern entgegengesetzt in Richtung des Radlenkers.

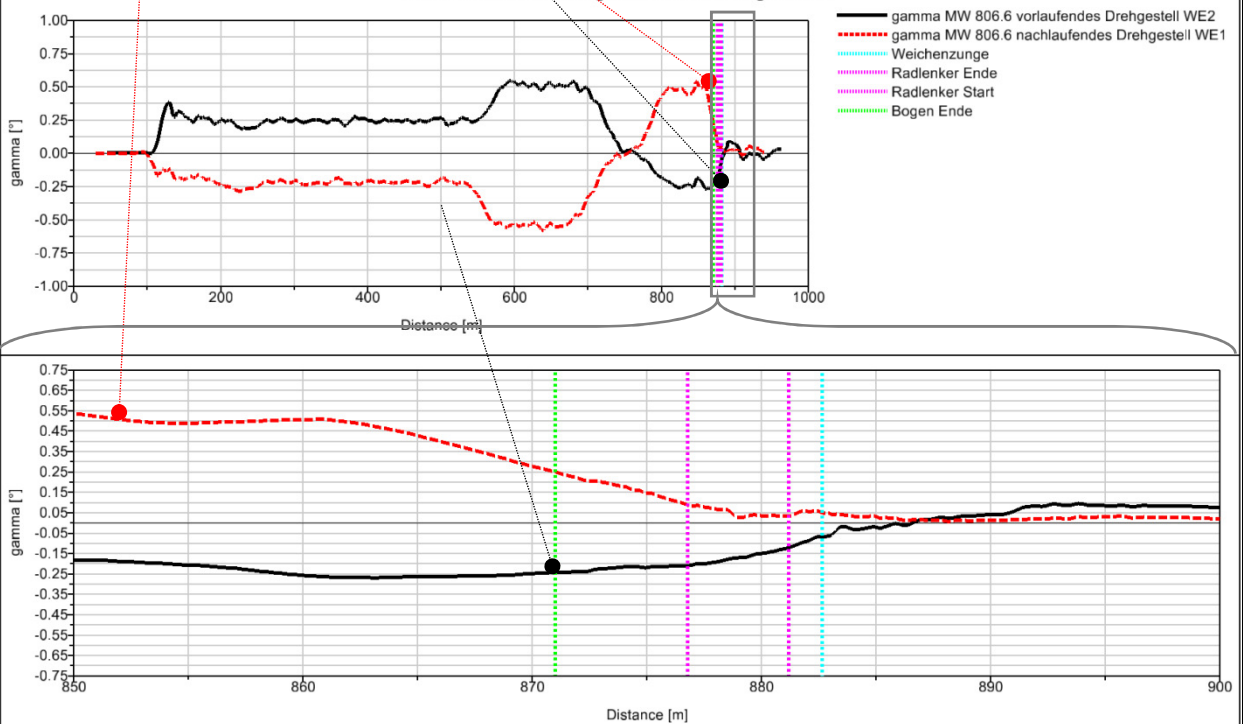
Situation 1: beide Drehgestelle im Vollbogen ausgedreht, kurz vor dem Ende des Bogens



### Unfall Dortmund

Variante 0  
5 t Beladung |  $v = 72 \text{ km/h}$  | alte Weiche | mit lateralen und vertikalen Gleislagefehlern |  $\mu_{\text{Schiene}} = 0.25$  und  $\mu_{\text{Zunge}} = 0.15$

Ausdrehwinkel der Drehgestelle am Mittelwagen 806.6



gemessenes Schienen- und Radprofil S1002

Abbildung 19: Ausdrehwinkel der Drehgestelle am MW 806.6 (Variante 0) im Vollbogen vor der Weiche

Situation 2: vorlaufendes Drehgestell (WE2) kurz vor der Zunge und nachlaufendes Drehgestell (WE1) im Vollbogen vor der Weiche

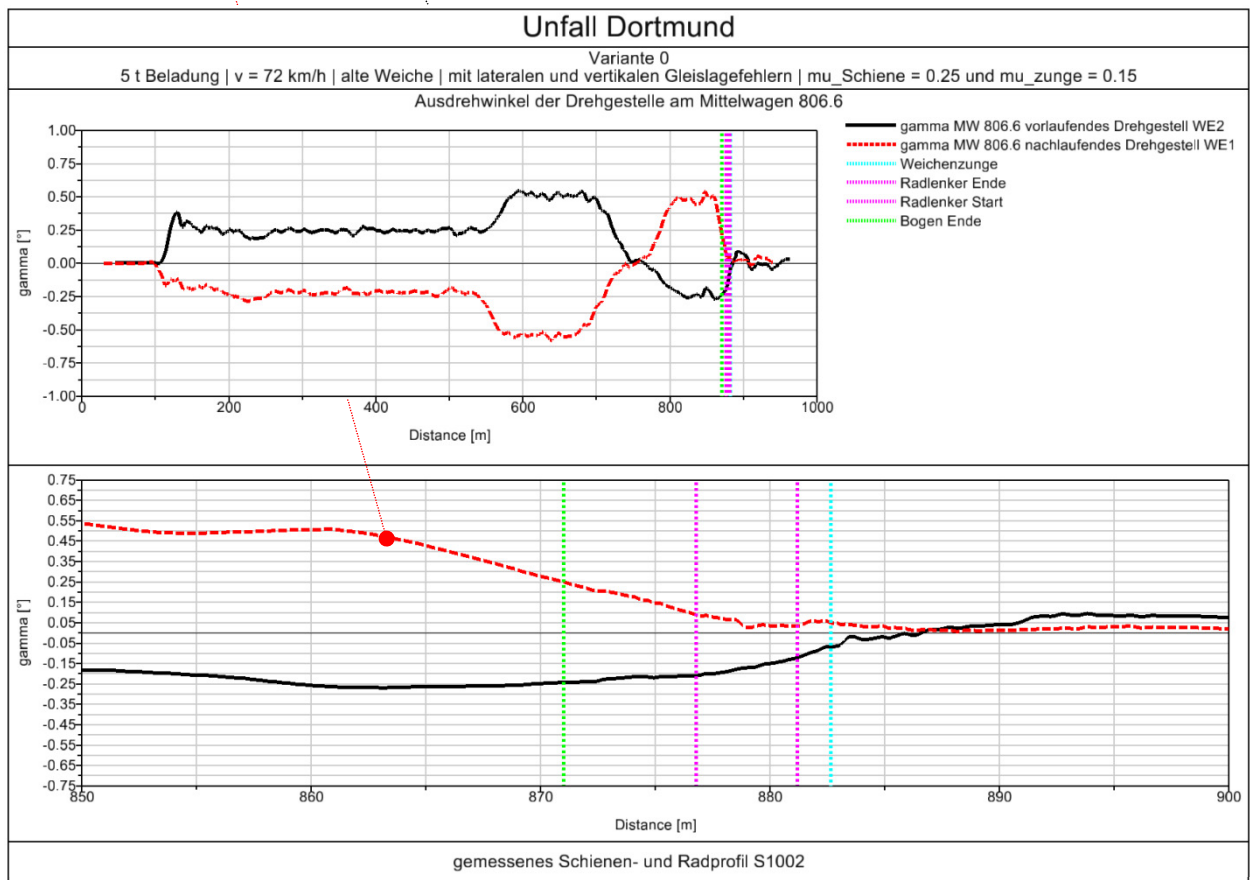
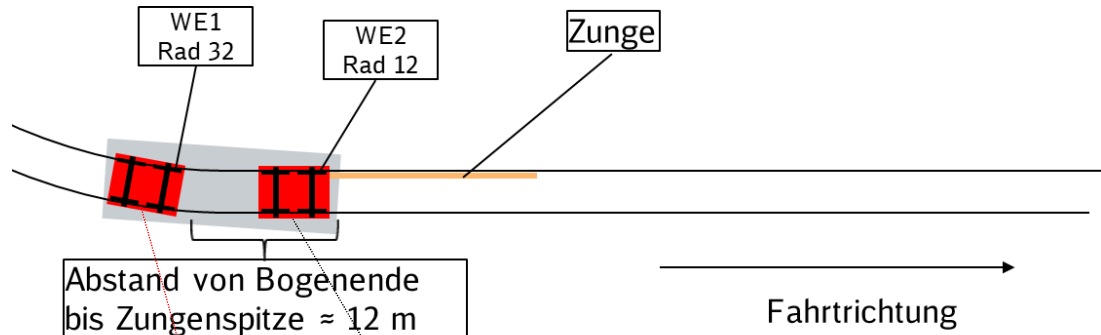


Abbildung 20: Ausdrehwinkel der Drehgestelle am MW 806.6 (Variante 0) kurz vor der Weichenzunge



## Kontaktpunktlage

Während des Anlaufens an der Zunge kommt es kurzzeitig zu einem Kontaktpunktsprung auf den Spurkranz oberhalb der Spurkranzflanke im Übergangsbereich zur Spurkranzkuppe. Der Kontaktpunktsprung ist an den Rädern 12 beider Wagen zu beobachten. Bei beiden Rädern liegt der Kontaktwinkel auf dem Rad bei ca. 55°. Eine Verlagerung des Kontaktpunkts aufgrund der vertikalen Kräfte, die die Zunge nach unten drücken würde, ist in der Simulation nicht berücksichtigt worden, da mit einer starren Zunge gerechnet wurde.

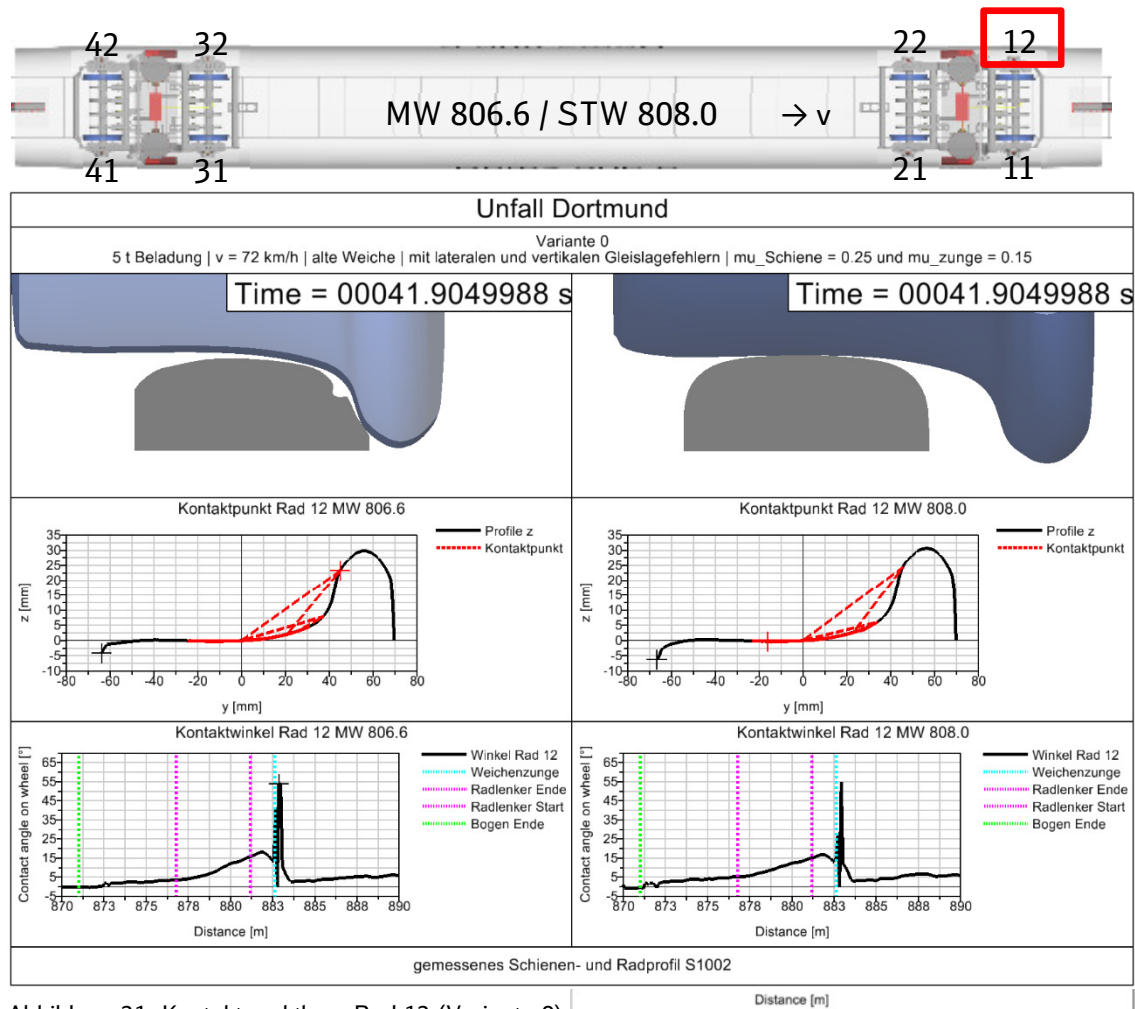


Abbildung 21: Kontaktpunktlage Rad 12 (Variante 0)

## Radanhebung

Zum Zeitpunkt des Kontaktpunktsprungs kommt es zu einer Radanhebung von 2,5 mm am Rad 12. In der Abbildung 22 ist der Zustand zum Zeitpunkt der maximalen Radanhebung dargestellt. Im Vergleich der beiden Wagen ist in Hinblick auf die Radanhebung kein wesentlicher Unterschied zu erkennen. Quantitative Aussagen können aufgrund der Simulation für die Radanhebung nicht sicher getroffen werden, da die Zunge als starrer unverformbarer Körper abgebildet wurde, der keine Verformung beim Befahren zulässt. Die Abzeichnungen der Zungenprofile zeigt im Vergleich der alten und neuen Zunge, dass die alte Zunge vertikal nach oben verformt war und somit vermutlich nicht auf den Gleitplatten auflag. Dieses freie Spiel wurde aufgrund der starren Einbindung der Zunge in der Simulation nicht berücksichtigt.

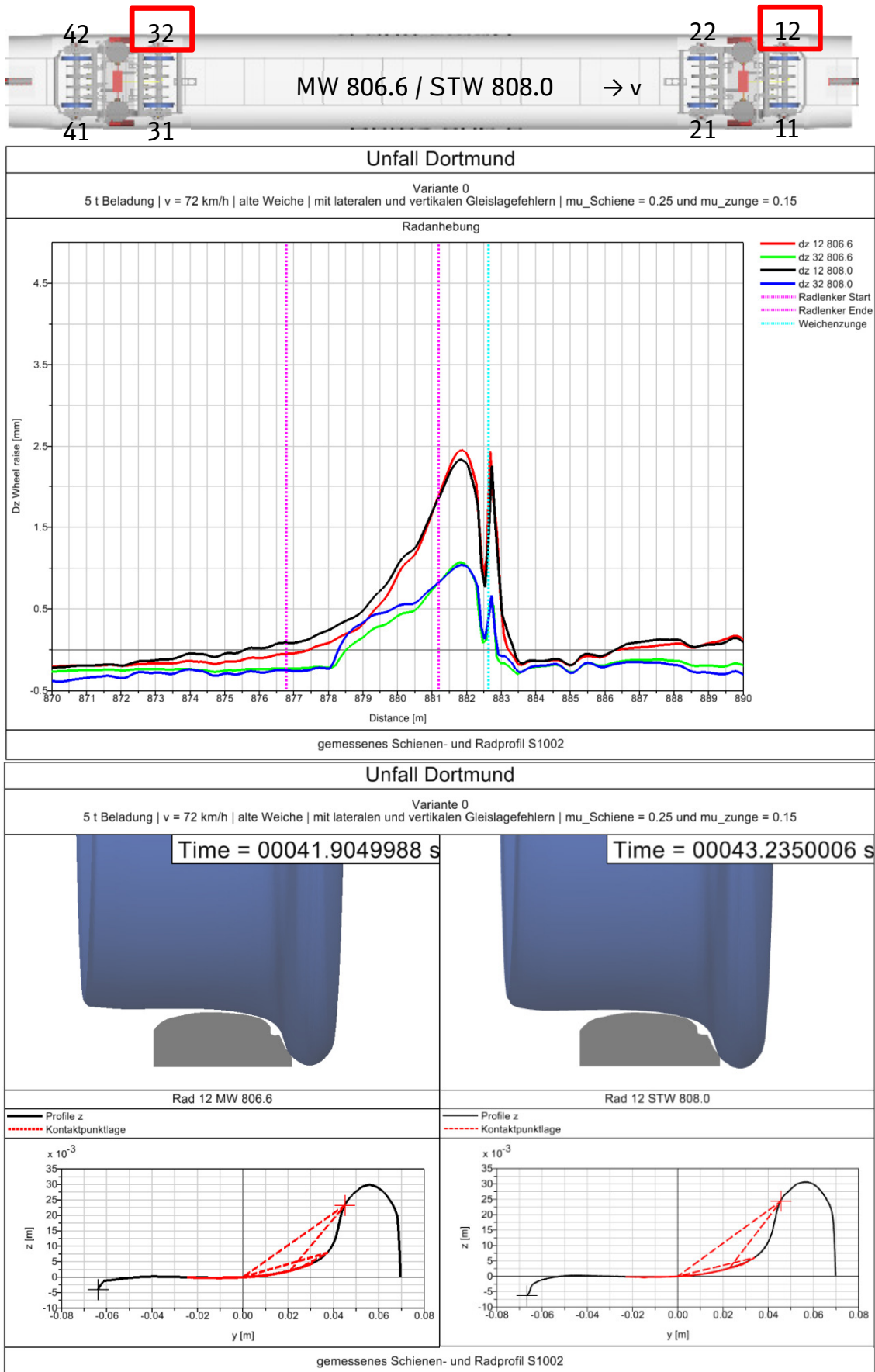


Abbildung 22: oben: Radanhebung Rad 12 32 (Variante 0) am STW und MW; unten: Zeitpunkt der max. - Radanhebung -

### Anlaufwinkel

Bei beiden Wagen zeigt sich bzgl. des Anlaufwinkels der gleiche Verlauf. Der Anlaufwinkel weist im Bereich der Weichenzunge einen hohen Gradienten auf und fällt von  $0,25^\circ$  auf  $-0,9^\circ$ . Durch den Abfall des Anlaufwinkels fährt das Rad die Zunge frontaler und damit stärker an. Der plötzliche Anfall des Anlaufwinkels ist auf den Richtungsfehler vor der Weiche im Radlenkerbereich zurückzuführen (Kapitel 3.4).

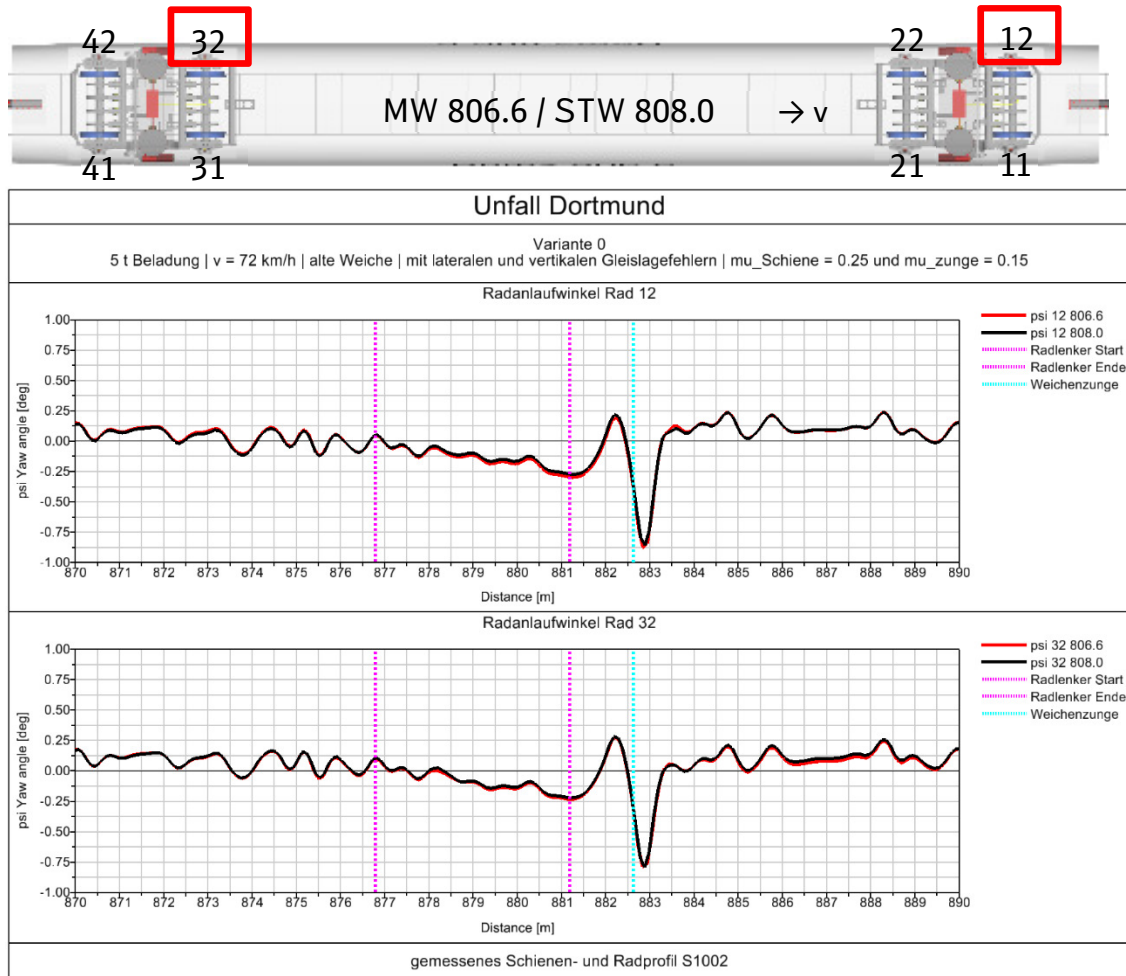


Abbildung 23: Anlaufwinkel Rad 12 32 (Variante 0) am STW und MW

## 5.2 - Ergebnisse Variante 14 (ohne Richtungsfehler) und 20 (50 % erhöhter Richtungsfehler)

Beide Varianten zeigen, dass der Richtungsfehler einen entscheidenden Einfluss auf das Anlaufen hat. Ohne Richtungsfehler wie in Variante 14 angenommen, unter Beibehaltung der Längshöhen und Spurweitenfehler, ist kein Anlaufen vorhanden, während sich mit einer Erhöhung des Richtungsfehlers die Radführungskraft stark erhöht (Abbildung 23). Zudem kommt es mit einer Erhöhung des Richtungsfehlers zu einem Anlaufen des Rad 32, welches bei den beiden anderen Varianten, ohne und mit gemessenen Richtungsfehler, nicht zu beobachten ist.

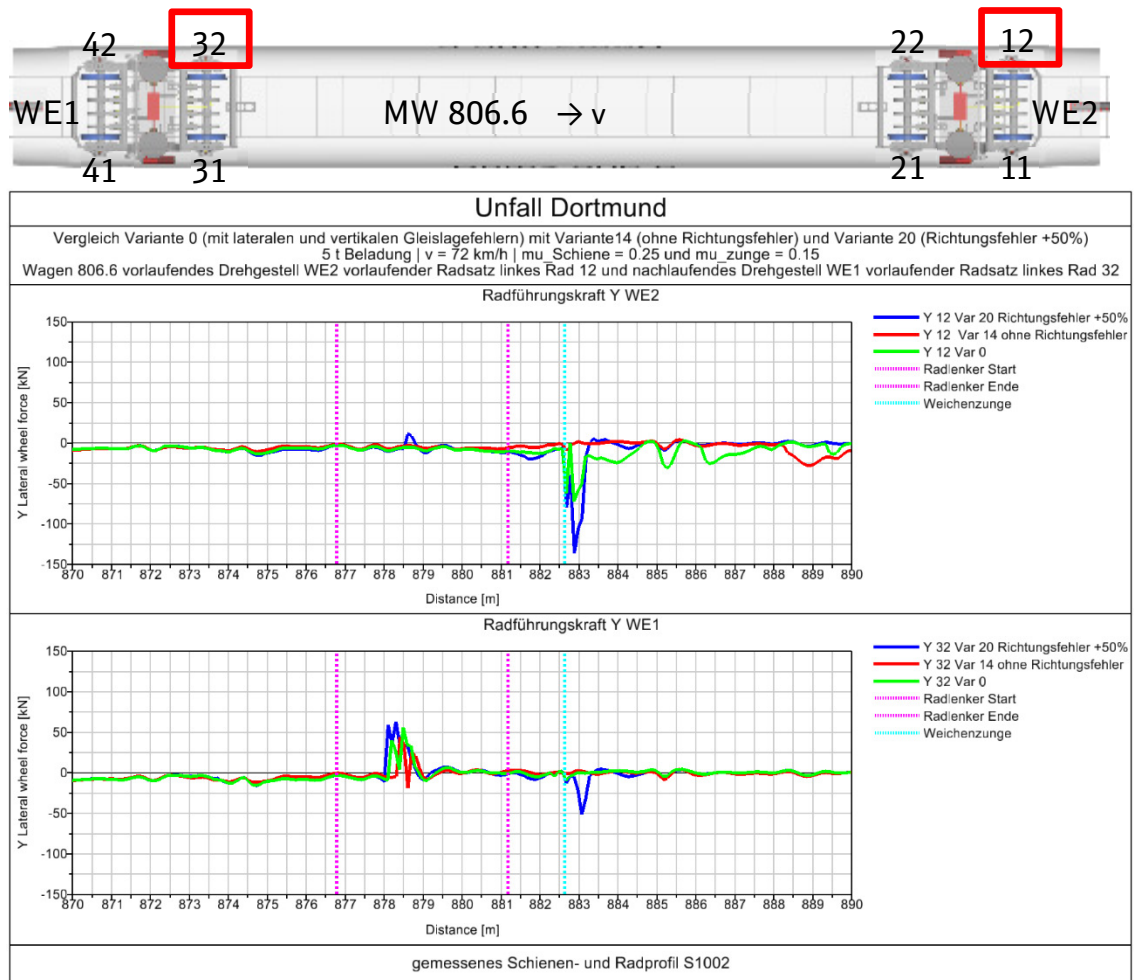


Abbildung 24: Radführungskraft Rad 12 32 (Variante 14) MW 806.6

### 5.3 Vergleich Simulation Messung für die instandgesetzte Weiche (Variante 25)

Um die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Plausibilität zu prüfen, wurde eine vergleichende Rechnung zu den Messfahrten mit dem ICE-S durchgeführt. Dazu ist in das bestehende Modell die gemessene Gleislage aus der Messung am 25.08.2017 nach der Instandsetzung der Weiche eingebunden worden. Die neu gemessene Gleislage ergab, dass der Richtungsfehler sich deutlich verringert hatte (Abbildung 11). Weiter ergaben die Messwerte für die Radführungskraft des Mittelwagens des ICE-S beim Befahren der Weichenzunge maximale Werte in Höhe von ca. 10 kN [23]. Neben der aktuellen Gleislage wurden auch die Zungen-Backenschienen-Profile der instandgesetzten Weiche eingebunden und der Reibwert entsprechend den trockenen Bedingungen bei der Messung angepasst.

Die Ergebnisse der Simulation mit der neuen Gleislage zeigen eine deutliche Verringerung der Radführungskräfte, die auf einem ähnlichen Niveau liegen wie die Kräfte aus der Messung (Abbildung 25). Eine bessere Übereinstimmung ist aufgrund der verschiedenen Fahrwerkskonstruktionen des ICE S und der entgleisten Fahrwerke, Massen, Reibwerte und Radprofile nicht zu erwarten. Im Vergleich zur Variante 0 zeigen sich mit der Gleislage nach der Instandhaltung in der Simulation und der Messung mit dem ICE S wesentliche geringere Werte (Abbildung 25), diese sind auf die Reduktion der Richtungsabweichung nach der Instandsetzung zurückzuführen.

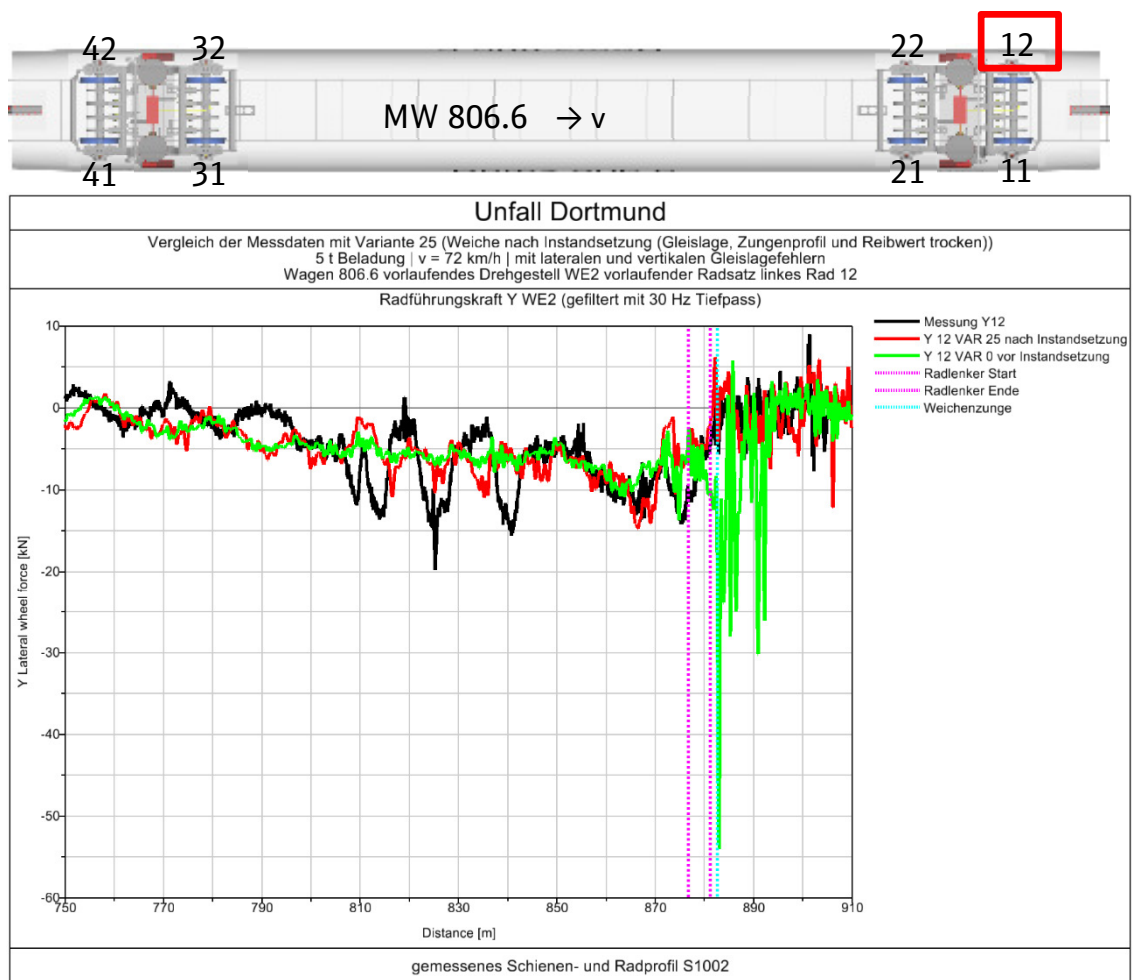


Abbildung 25: Vergleich Simulation (Rad 12 MW 806.6) und Messung (Rad 12 am MW 1 [23]) für die Radführungskraft



#### 5.4 Ergebnisse weiterer Varianten -

Variante	Beschreibung und Ziel der Variantenrechnung	Ergebnis
1	Verringerung der Beladung von 5 t auf 3 t  Ziel: Untersuchung des Einflusses der Höhe der Beladung	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Verringerung der Radführungskraft am Rad 12, keine Veränderung der Radanhebung</li> </ul>
	→ Verringerung der Beladung um 2 t hat kaum Auswirkungen	
2	Verringerung der Beladung von 5 t auf 3 t mit einer außermittigen Lage in Querrichtung (SP-Verschiebung nach rechts mit 5% Radaufstandsabweichung)  Ziel: Untersuchung des Einflusses einer einseitigen Beladung die zu einer zusätzlichen Radentlastung des anlaufenden Rads führt	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Verringerung der Radführungskraft am Rad 12, keine Veränderung der Radanhebung</li> </ul>
	→ Verringerung der Beladung um 2 t und eine laterale Verschiebung des Schwerpunkts haben kaum Auswirkungen	
4	Verringerung der Geschwindigkeit auf 50 km/h  Ziel: Reduktion der Geschwindigkeit als Maßnahme zur Beseitigung des Anlaufens an der Zunge	<ul style="list-style-type: none"> <li>mit der Reduzierung der Geschwindigkeit sinkt auch die Radführungskraft am Rad 12 aufgrund einer geringeren Ausdrehung der Drehgestelle</li> <li>Rückstellung der Drehgestelle erfolgt schneller nach Verlassen des Linksbogens aufgrund geringerer Schlingerdämpferkräfte infolge kleinerer Ausdrehgeschwindigkeiten des Drehgestells</li> <li>kein Spurkranzkontakt am Rad 12</li> </ul>
	→ deutliche Verringerung der Kräfte beim Anlaufen und Verringerung des Anlaufens am Spurkranz	
6	Simulation ohne Gleislagefehler mit konstanter Spurweite 1435 mm  Ziel: Untersuchung des Einflusses der Gleislage	<ul style="list-style-type: none"> <li>deutliche Reduktion der Radführungskraft am Rad 12</li> </ul>

	<b>→ ohne Gleislagefehler sinkt die Intensität beim Anlaufen deutlich (siehe auch 0)</b>	
<b>9</b>	Neuprofile S1002 an den beiden Unfallwagen anstatt der gemessenen Verschleißprofile  Ziel: Einfluss des Radverschleiß auf das Anlaufen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der niedrigeren Konizität laufen die beiden vorlaufenden Radsätze pro Drehgestell am Radlenker an</li> <li>• Radführungskraft am Rad 12 reduziert sich nur geringfügig, das Maximum liegt ca. 500 mm hinter dem Zungenanfang</li> <li>• Kontaktpunkt am Rad 12 verschiebt sich unterhalb der Spurrkranzflanke in die Hohlkehle und ist damit deutlich unkritischer</li> </ul>
	<b>→ mit einem Neuprofil verbessert sich das Spurführungsvermögen durch eine Verlagerung des Kontaktpunkts am Spurrkranz unterhalb der Spurrkranzflanke</b>	
<b>10 und 17</b>	Erhöhung bzw. Nennwerte der Schlingerdämpferkennlinien  Ziel: Einfluss der Schlingerdämpferkräfte beim Anlaufen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lediglich mit Nennschlingerdämpferkennlinie kommt es kurzzeitig zu hohen Führungskräften am Rad 12 im Zungenanfangsbereich der numerisch bedingt ist aufgrund der geringeren Dämpfung</li> <li>• kaum Unterschiede in den Schlingerdämpferkräften</li> <li>• Maximum liegt bei allen drei Varianten ca. 1 m hinter dem Zungenanfang und damit außerhalb des Verschleißbereichs und der maximalen Führungskräfte</li> </ul>
	<b>→ kaum Einfluss der Schlingerdämpferkennlinien auf das Anlaufen</b>	
<b>11</b>	3 mm abstehende Weichenzunge  Ziel: Einfluss einer abstehenden Weichenzunge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Erhöhung der Führungskraft am Rad 12</li> <li>• Anlaufen des Rad 32 an Zunge</li> </ul>
	<b>→ eine 3 mm abstehende Zunge hat keinen entscheidenden Einfluss auf das Anlaufen</b>	
<b>15</b>	Synthetische Gleislage anstatt der gemessenen Gleislage  Ziel: Einfluss der Form der gemessenen Gleislage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fast keine Radführungskraft am Rad 12 im Zungenbereich</li> </ul>
	<b>→ mit einer stochastischer Gleislage kommt es nicht zum Anlaufen</b>	

<b>16</b>	Erhöhung des Reibwerts auf beiden Schienen auf 0,4 und Absenkung des Reibwerts an der Weichenzunge auf 0,1  Ziel: Einfluss stark unterschiedlicher Reibwerte zwischen linker und rechter Schiene im Bereich der Weichenzunge	<ul style="list-style-type: none"> <li>kaum Veränderung der Radführungskraft am Rad 12 und der Kontaktpunktlage</li> </ul>
	<b>→ Eine hohe Reibwertdifferenz zwischen rechter und linker Schiene hat kaum Einfluss auf das Anlaufen</b>	
<b>19</b>	Neuprofile S1002 an den beiden Unfallwagen mit den gemessenen Raddurchmessern  Ziel: Einfluss der Raddurchmessers	<ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Veränderung der Radführungskräfte an beiden Rädern</li> </ul>
	<b>→ kaum Einfluss des Raddurchmesser mit Neuprofil auf das Anlaufen</b>	
<b>21</b>	3 mm abstehende Weichenzunge mit gleichem Reibwert 0,25  Ziel: Einfluss einer abstehenden Weichenzunge	<ul style="list-style-type: none"> <li>starker Anstieg der Radführungskraft am Rad 12</li> <li>Anstieg der Radanhebung um 1,5 mm auf 4 mm</li> <li>stärkeres Anlaufen an den Spurkranz</li> </ul>
	<b>→ eine Erhöhung des Reibwerts an der Weichenzunge in Kombination mit einer abstehenden Zunge um 3 mm verstärkt das Anlaufen deutlich</b>	
<b>23</b>	Durchgehender Reibwert von 0,4 auf beiden Schienen	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine wesentliche Änderungen der Radführungskraft am Rad 12 und der Radanhebung</li> <li>längeres Anlaufen an den Spurkranz an beiden Rädern</li> </ul>
	<b>→ ein durchgehend hoher Reibwert von 0,4 hat kaum Einfluss</b>	
<b>26</b>	Einbindung des gemessenen Spiels in den Radsatzführungsbuchsen am MW806.6 (Anlage 1.9)  Ziel: Einfluss auf die Radführungskräfte beim Anlaufen an der Zunge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Radführungskräfte sinken geringfügig um 7 kN</li> </ul>
	<b>→ geringer Einfluss des Spiels in den Radsatzführungsbuchsen auf das Anlaufen</b>	

## 6 Zusammenfassung

Am 01.05.2017 um 18.46 Uhr entgleisten die letzten beiden Wagen des ICE-A 945 (Düsseldorf Hbf – Berlin-Gesundbrunnen) beim Befahren des geraden Strangs der DKW 36 in der Einfahrt zum Dortmund Hbf. Eine unzeitige Weichenverstellung konnte als Unfallursache ausgeschlossen werden. Die Weichenzunge des befahrenen Stranges wies im Bereich des Zungenanfanges für den geraden Fahrweg untypische, starke Materialverquetschungen mit Gratbildung auf. Aufkletterspuren wurden an der Weiche nicht festgestellt.

Zur Simulation des Fahrzeuglaufes und Ermittlung der Rad-Schiene-Kräfte wurde ein Modell erstellt und Berechnungen mit den Parametern der entgleisten Wagen und der Strecke zum Zeitpunkt des Unfalls durchgeführt.

Die Ergebnisse der Simulation zeigten,

- ein lokales Anlaufen des jeweils linken Rades des vorlaufenden Radsatzes im vorlaufenden Drehgestell an die Weichenzunge, das mit den realen Verschleißspuren an der Zunge übereinstimmt,
- auffällig hohe dynamische Radführungskräfte für die Befahrung im geraden Strang mit bis zu 55 kN (gefiltert) und 72 kN (ungefiltert) im Bereich des Anlaufens,
- beim Anlaufen des Rades einen Kontaktpunktsprung am Radprofil, der oberhalb der Spurkranzflanke auftritt, wodurch sich der Kontaktwinkel auf dem Rad auf 55° verringert und
- das Rad bis 2,5 mm abhebt, welches wesentlich durch die starre Modellierung der Weichenzunge bestimmt wird. -

Darauf aufbauend wurden Vergleichsrechnungen mit Parametervariationen mit folgenden Ergebnissen durchgeführt:

- Die Trassierung des Zulaufes zur Weiche bestimmt wesentlich das Anlaufen an der Zunge.
- Die erhöhten Kräfte beim Anlaufen werden maßgeblich durch den gemessenen Richtungsfehler kurz vor der Weichenzunge zum Zeitpunkt des Unfalls erzeugt und
- Mit der Verringerung des Richtungsfehlers nach der Instandsetzung der Weiche reduzieren sich die Kräfte beim Anlaufen deutlich. Diese Reduktion der Kräfte wurde durch Messungen mit dem ICE S bei der Fahrt über den instandgesetzten Fahrweg des Unfallzuges bestätigt.

Eine vollständige Entgleisung konnte in der Simulation nicht abgebildet werden, was auf Basis der Datenlage und Messungenauigkeiten auch unrealistisch zu erwarten wäre. Allerdings ist durch die Parametervariation und dem Abgleich der Ergebnisse aus der Messung mit dem ICE S nachgewiesen worden, dass der Richtungsfehler im Zulauf auf die Weichenzunge einen maßgeblichen Einfluss auf das Anlaufen und Entgleisungsvermögen besitzt.

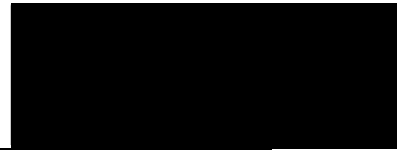
## 7 Unterschriften

Erstellt:



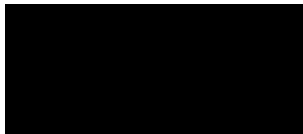
 TT.TVP23(1)

Freigegeben: -



 TT.TVP23(1)

Geprüft: -



 TT.TVP23(1) -



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 1 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23- UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## Anlage 1: Daten zum Simulationsmodell

### Inhaltsverzeichnis

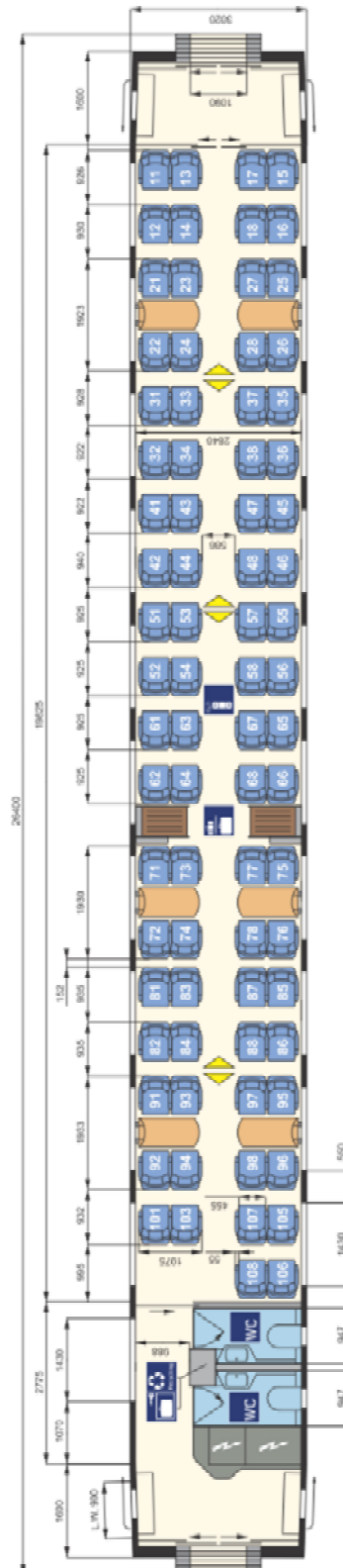
1.1	Wagendaten .....	2
1.2	Abgleich der Summe der Radaufstandskräfte des Mittelwagens.....	5
1.3	Primärfederung und Radsatzführung .....	7
1.4	Validierung Drehgestell Höhen und Abstände im Leerzustand.....	8
1.5	Plausibilitätsprüfung zum Wankverhalten .....	16
1.6	Eingebundene gemessene Radprofile .....	19
1.7	Vergleich der Zungen-Backenschienen-Profile vor und nach der Instandhaltung.....	27
1.8	Schlingerdämpferkennlinien .....	32
1.9	Spiel in den Radsatzführungsbuchsen .....	34

## 1.1 Wagentypen

nichtentgleister drittletzter Mittelwagen 808.3

## ICE 2 BR 402 Redesign 2. Kl.-Wagen (Bpmz 806.3)

<b>Technische Daten</b>	
Länge über Puffer:	26400 mm
durchschnittliches Eigengewicht:	47,0 t
Anzahl Plätze (gesamt):	78
Anzahl WC:	2
<b>Komfort</b>	
Türbreite Einstieg (lichte Weite):	900 mm
Gangbreite im Großraum:	586 mm
Sitzreiler Reihe:	922 - 935 mm
Sitzreiler vis-à-vis (wäv):	1923 - 1933 mm
Sitzbreite zwischen Armlehnen:	470 mm
Sitztiefe:	455 - 505 mm verstellbar
Armlehnenbreite innen Reihe und wäv:	55 mm
Armlehnenbreite außen Reihe und wäv:	55 mm
Rückenlehnenneigung Reihe/wäv:	21 - 35°/21 - 28°
Fußstützen an Reihenplätzen:	ja



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 3 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

entgleister vorletzter Mittelwagen 806.6

ICE 2 BR 402 Redesign 2. Kl.-Wagen (Bpmz 806.6)

Technische Daten	
Länge über Puffer:	26400 mm
durchschnittliches Eigengewicht:	47,0 t
Anzahl Plätze (gesamt):	78
Anzahl WC:	2
Komfort	
Türbreite Einstieg (lichte Weite):	900 mm
Gangbreite im Großraum:	586 mm
Sitzteiler Reihe:	922–935 mm
Sitzteiler vis-à-vis (váv):	1923–1933 mm
Sitzbreite zwischen Armlehnen:	470 mm
Sitztiefe:	455–505 mm verstellbar
Armlehnenbreite innen Reihe und váv:	55 mm
Armlehnenbreite außen Reihe und váv:	55 mm
Rückenlehnenneigung Reihe/váv:	21–35°/21–28°
Fußstützen an Reihenplätzen:	ja
Ausstattung/Serviceeinrichtungen	
Anzahl Plätze im Großraum:	78
- davon Anzahl Plätze váv:	24
- davon Anzahl Plätze Reihe:	54
Anzahl Plätze in Abteilerbereichen:	-
Steckdosen am Platz:	ja
Leseleuchten:	nein
Gepäckschließfächer:	ja
Gepäckregal:	ja
Garderobe:	nein
Abfallbehälter:	ja
Sonderausstattung/-einrichtungen	
- Vitrinen für Werbung	



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 4 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

entgleister letzter Wagen Steuerwagen 808.0

ICE 2 BR 402 Redesign 2. Kl.-Steuerwagen (Bpmzf 808.0)

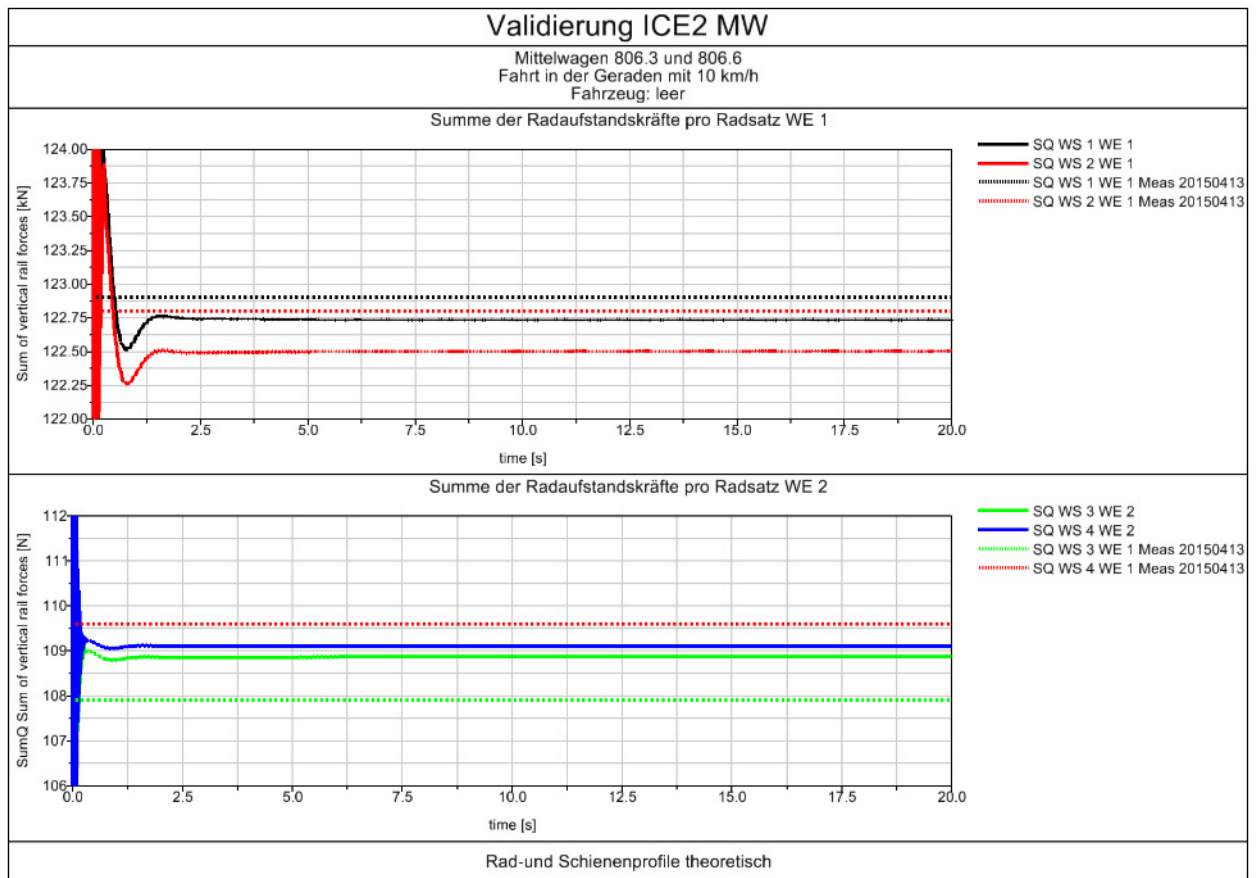
Technische Daten	
Länge über Puffer:	26560 mm
durchschnittliches Eigengewicht:	55,0 t
Anzahl Plätze (gesamt):	54
Anzahl WC:	-
Komfort	
Türbreite Einstieg (lichte Weite):	900 mm
Gangbreite im Großraum:	586 mm
Sitzteiler Reihe:	929-941 mm
Sitzteiler vis-à-vis (váv):	1930 mm
Sitzbreite zwischen Armlehnen:	455 mm
Sitztiefe:	455-505 mm verstellbar
Armlehnenbreite innen Reihe und váv:	55 mm
Armlehnenbreite außen Reihe und váv:	55 mm
Rückenlehnenneigung Reihe/váv:	21-35°/21-28°
Fußstützen an Reihenplätzen:	ja
Ausstattung/Serviceeinrichtungen	
Anzahl Plätze im Großraum:	54
- davon Anzahl Plätze váv:	16
- davon Anzahl Plätze Reihe:	38
Anzahl Plätze in Abteillbereichen:	-
Steckdosen am Platz:	ja
Leseleuchten:	nein
Gepäckschließfächer:	ja
Gepäckregal:	nein
Garderobe:	nein
Abfallbehälter:	ja
Sonderausstattung/-einrichtungen	
- Vitrinen für Werbung	
- Dienstraum	



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	Unfall Dortmund	Anlage: 1
	Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell	Seite: 5 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

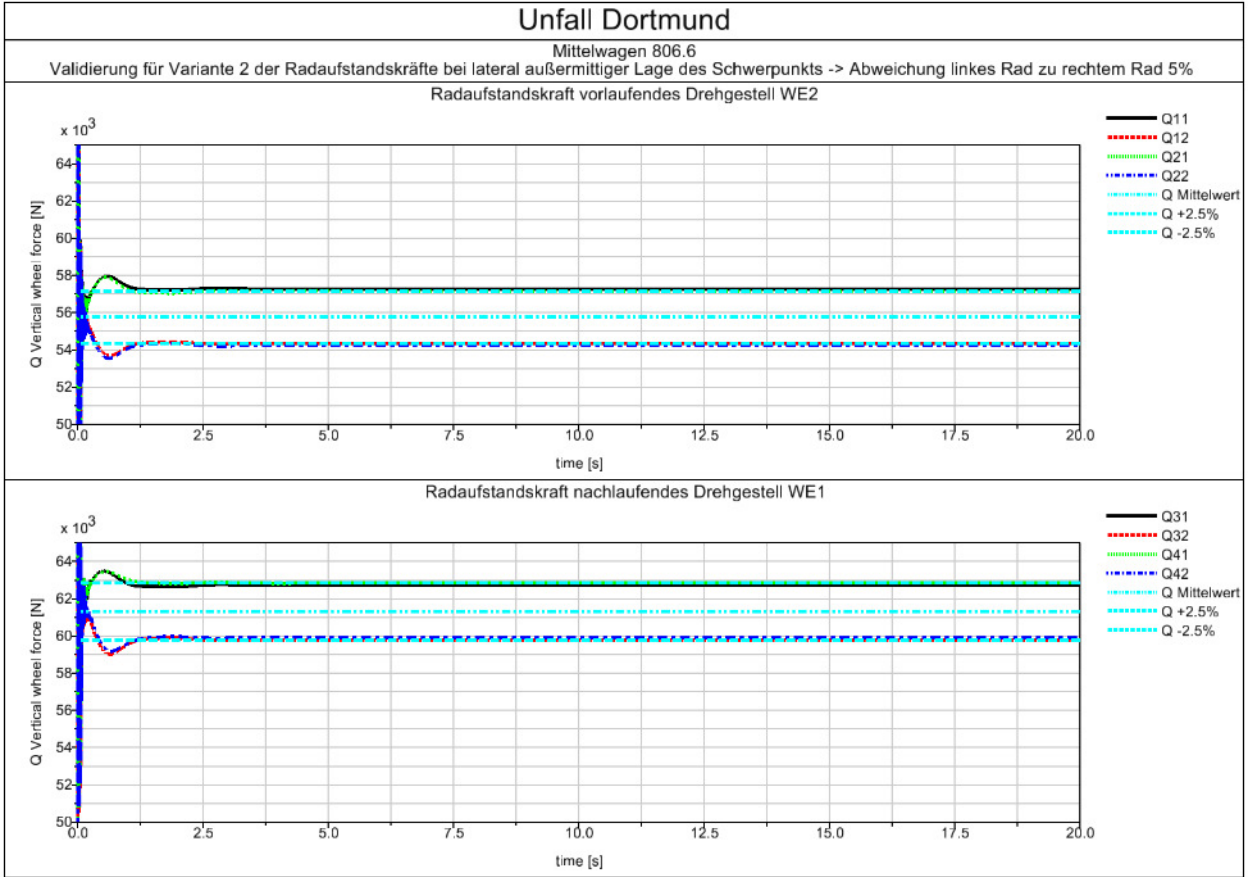
## 1.2 Abgleich der Summe der Radaufstandskräfte des Mittelwagens

Summe der Radaufstandskräfte pro Radsatz für eine Verschiebung des Schwerpunkts um 650 mm in Richtung des WE1



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	Unfall Dortmund	Anlage: 1
	Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell	Seite: 6 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

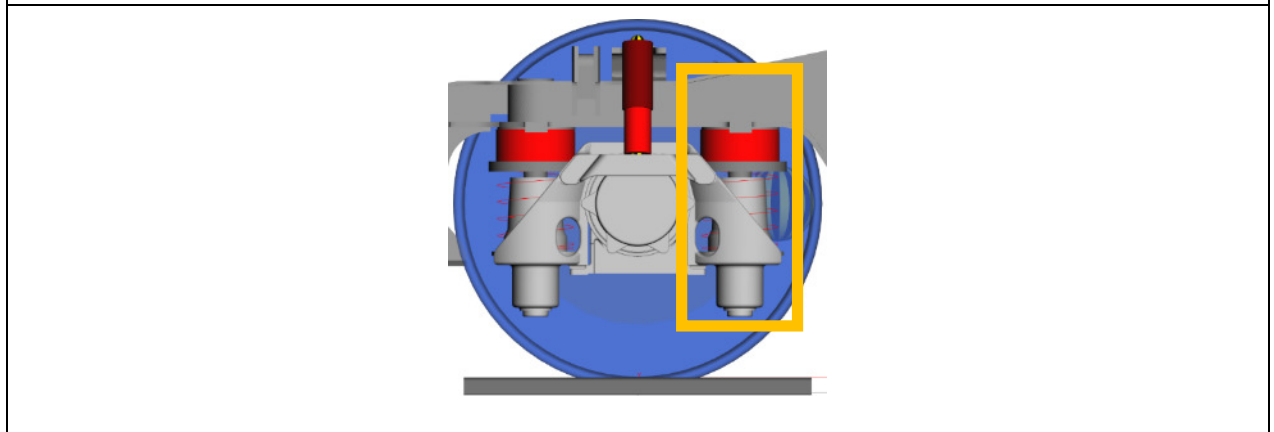
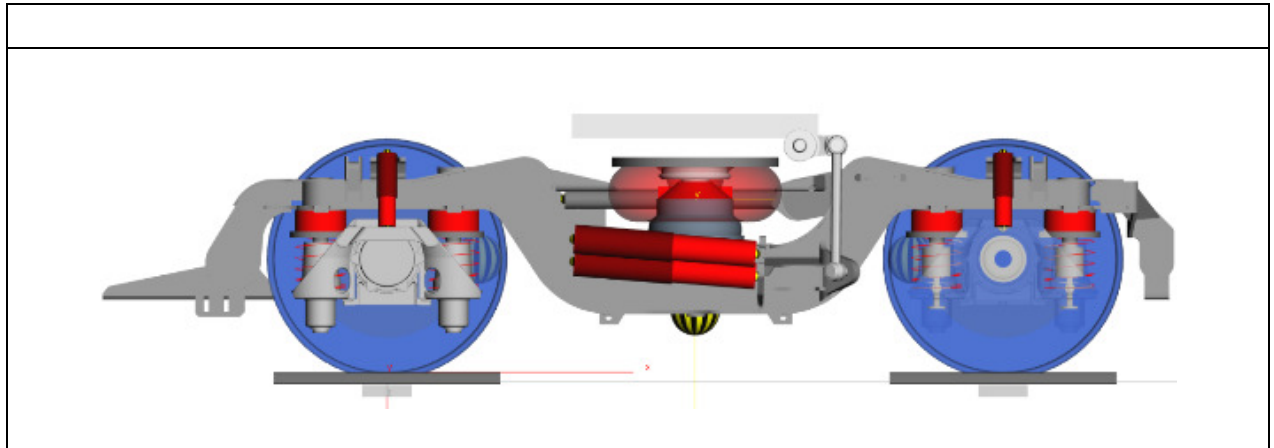
Werte für die eine Verlagerung des Schwerpunkts in Querrichtung mit einer resultierenden Abweichung der Radaufstandskräfte pro Radsatz von 5%





DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 7 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23- UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 1.3 Primärfederung und Radsatzführung



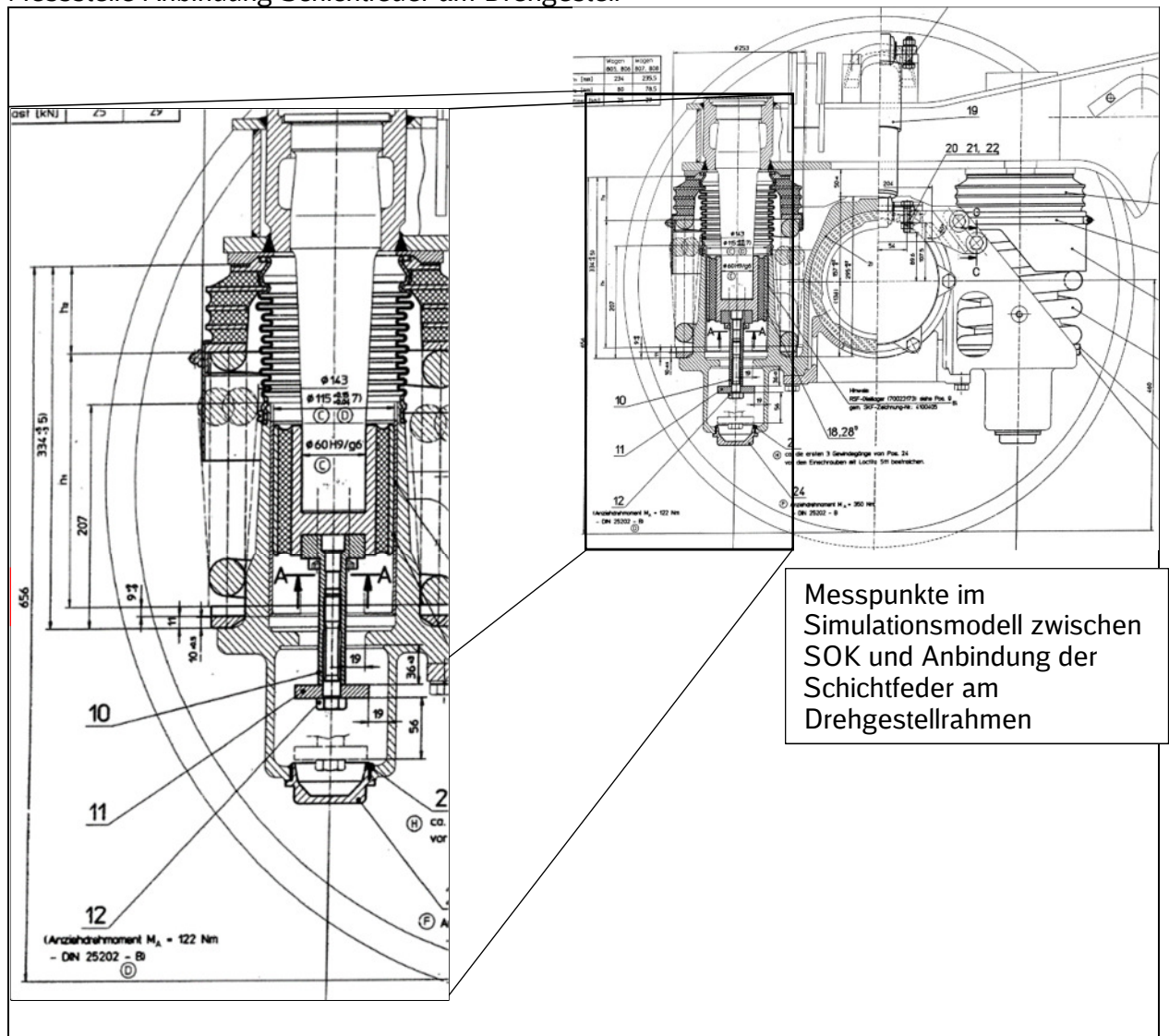
Zwei Elemente zwischen Radsatzlagergehäuse und Drehgestellrahmen jeweils bestehend aus in reihengeschalteter Primärfeder und -schichtfeder und der Radsatzführungsbuchse.

Kennwerte pro Element		Quelle
$C_{xy}$ Feder MW	490 000 N/m	Berechnet nach [7] auf Basis der Daten aus den TZ
$C_{xy}$ Feder STW	660 000 N/m	Berechnet nach [7] auf Basis der Daten aus den TZ
$C_z$ Feder MW	451 000 N/m	Daten aus den TZ
$C_z$ Feder STW	592 000 N/m	Daten aus den TZ
$C_{xy}$ Schichtfeder	250 000 N/m	abgeschätzt auf Basis der Werte aus [6]
$C_z$ Schichtfeder	2 083 333 N/m	Daten aus den TZ
$C_{\alpha\beta}$ Schichtfeder	23 000 N/m	Berechnet auf Basis der Daten aus den TZ
$C_x$ Führungsbuchse	24 000 000 N/m	Daten aus den TZ
$C_y$ Führungsbuchse	6 000 000 N/m bis 1,5 mm	Daten aus den TZ
$C_\alpha$ Führungsbuchse	35 000 Nm/rad	Berechnet auf Basis der Daten aus den TZ
$C_\beta$ Führungsbuchse	82 363 Nm/rad	Berechnet auf Basis der Daten aus den TZ

## 1.4 Validierung Drehgestell Höhen und Abstände im Leierzustand

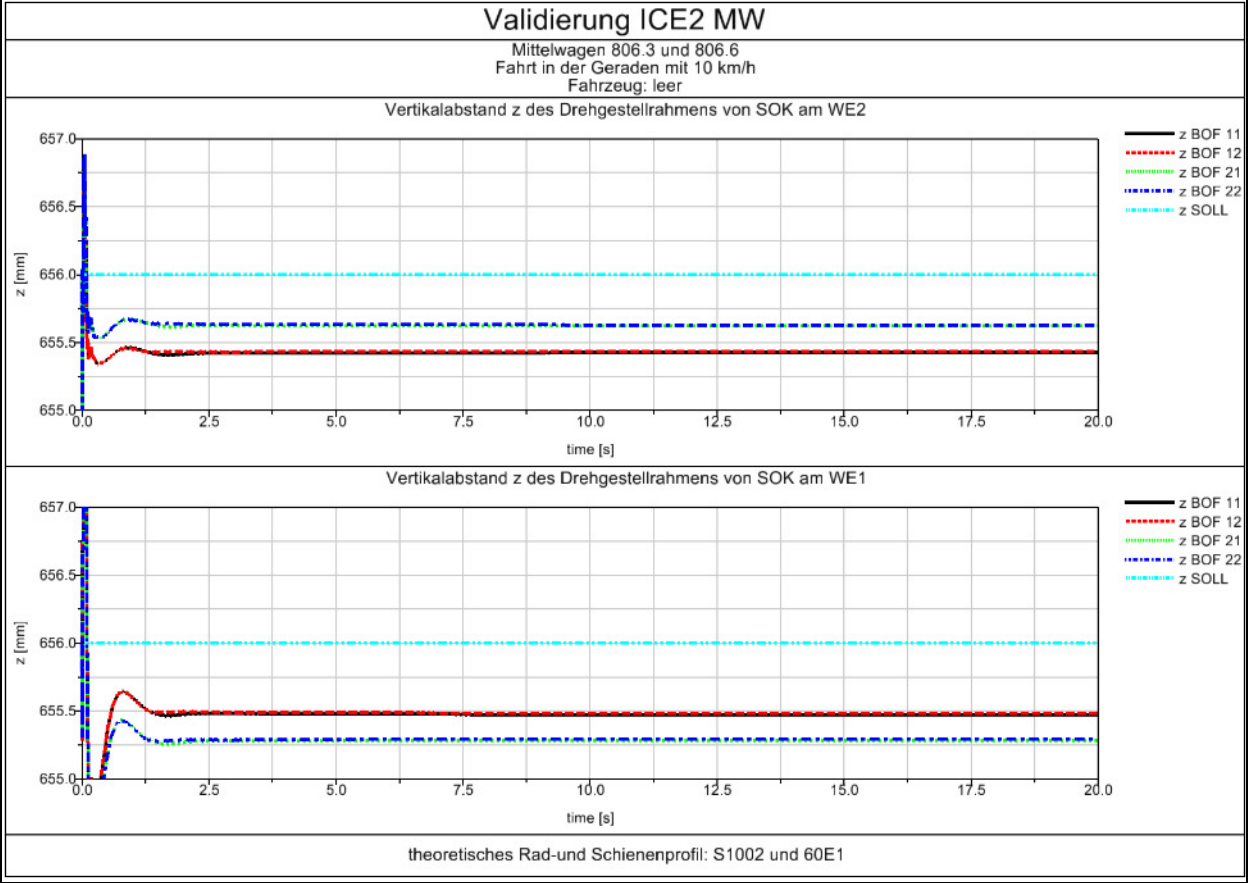
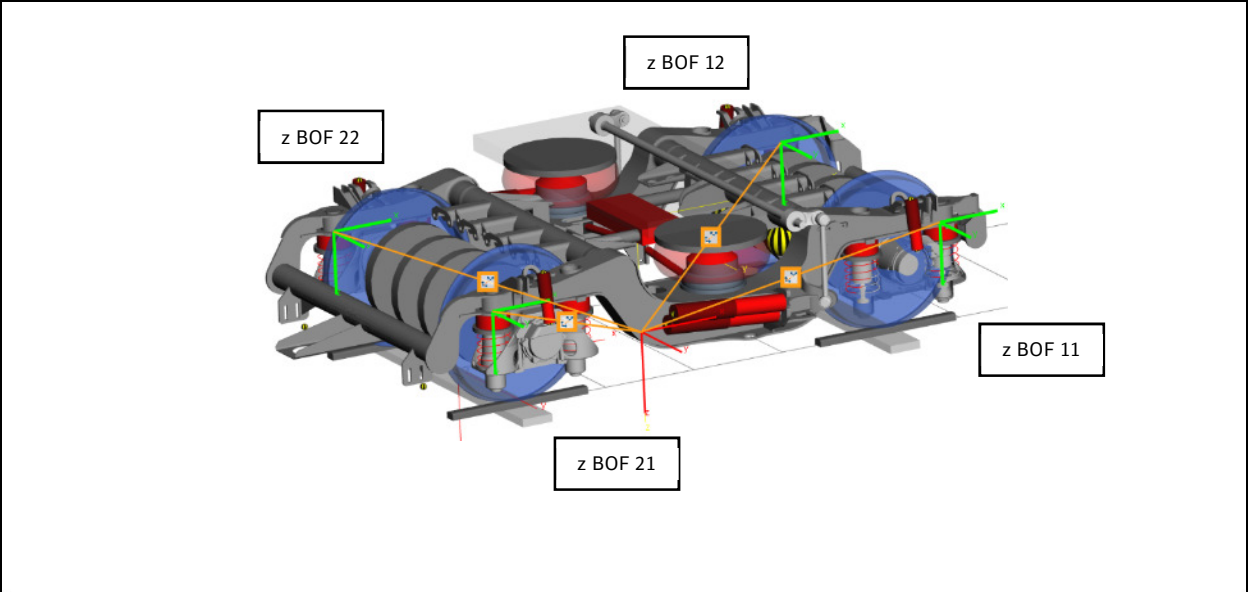
Abstand Drehgestell zur SOK 656 mm<sup>1</sup>

### Messstelle Anbindung Schichtfeder am Drehgestell

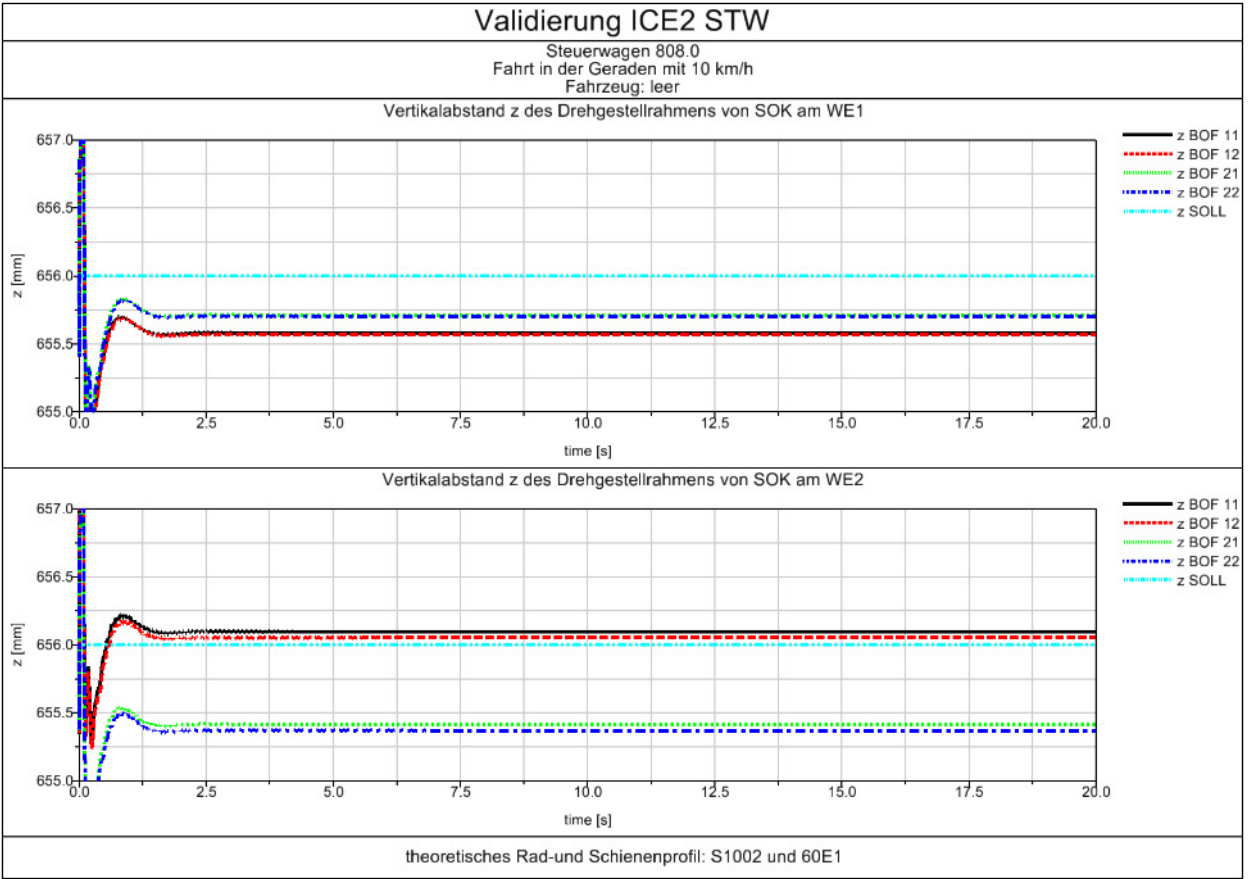
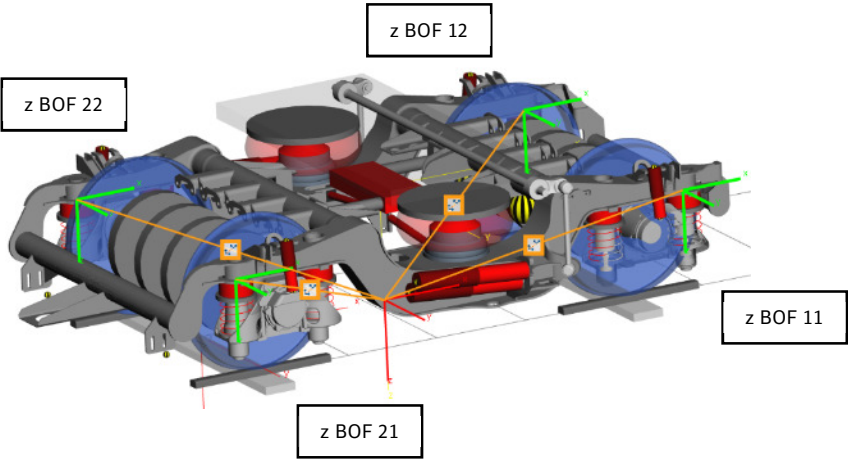


<sup>1</sup> Ausschnitt aus der technischen Zeichnung FTE805.0.02.000.001 Primärfederung

DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 9 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 10 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

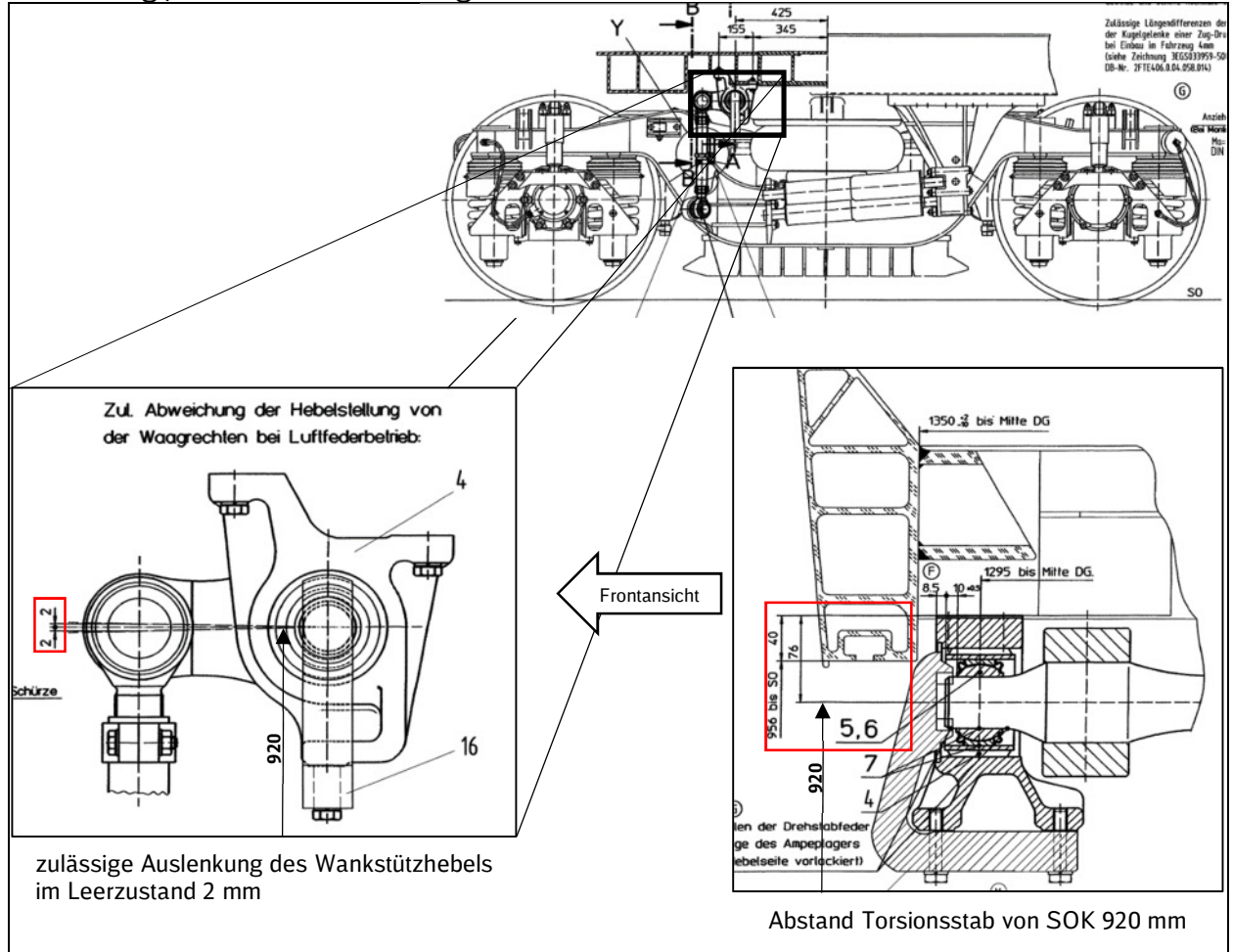


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 11 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23- UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

Abstand Wagenkasten zur SOK 920 mm <sup>2</sup>

Messstelle Anbindung Torsionsstange am Wagenkasten

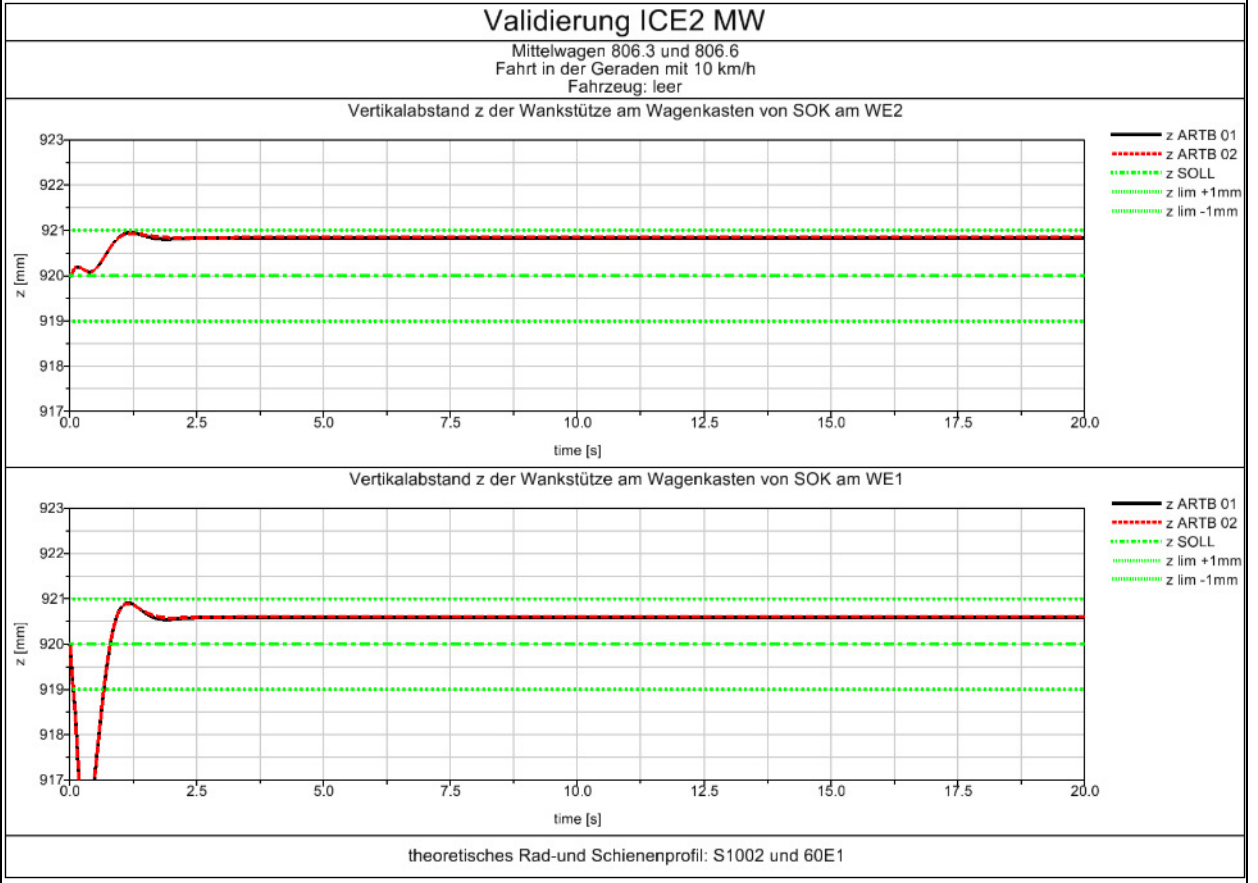
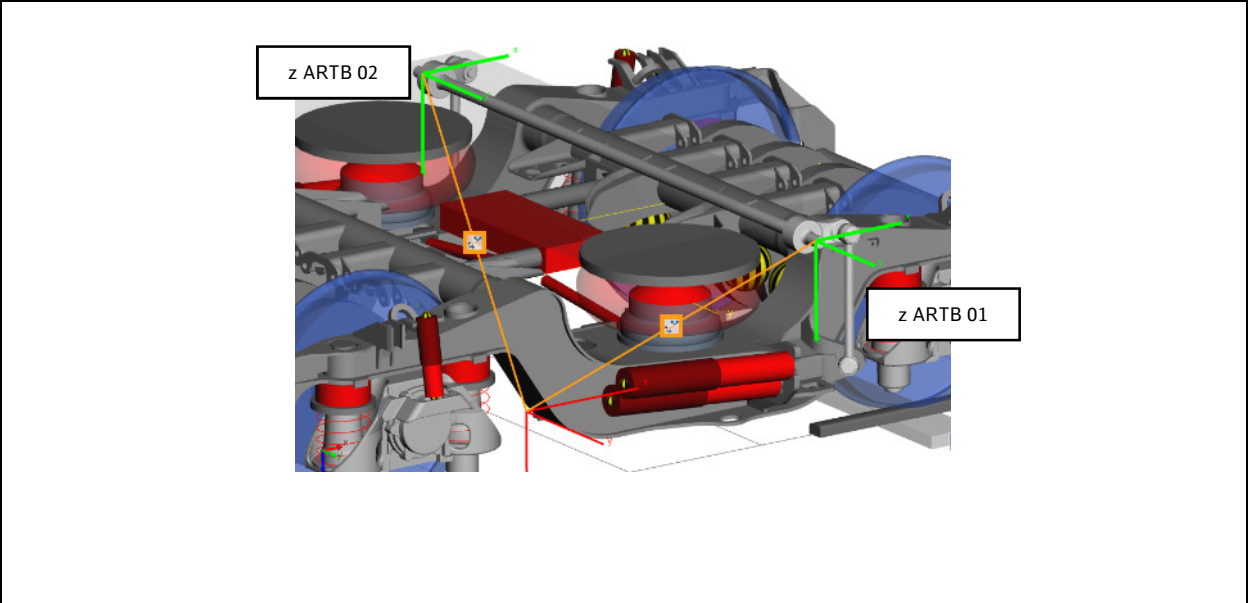
Auslenkung / vertikale Verschiebung Hebel 2 mm



<sup>2</sup> Ausschnitt aus der technischen Zeichnung FTE805.0.04.058.001 Wankstütze Anbau

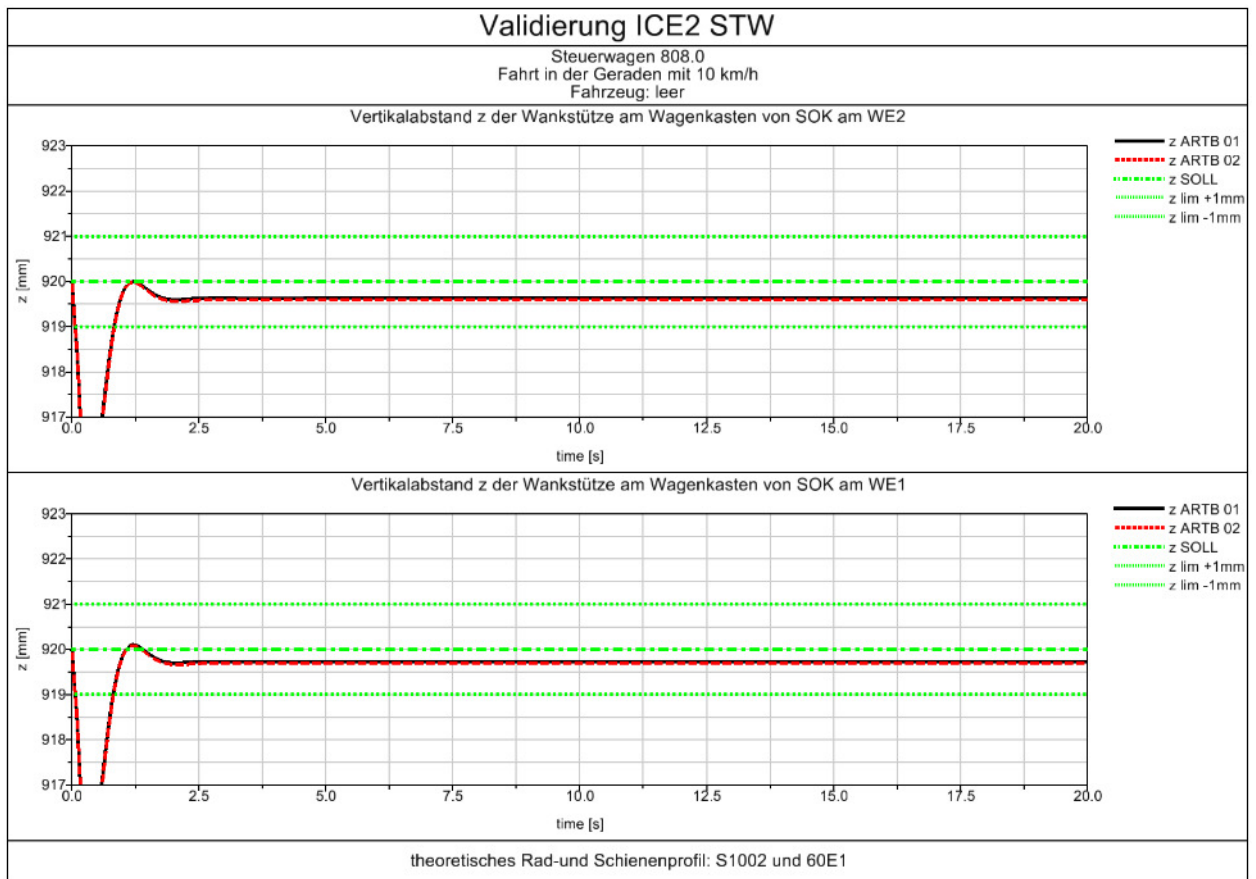
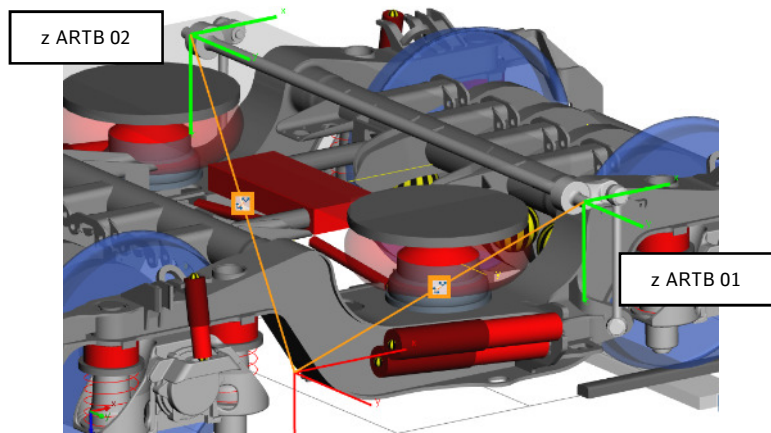


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 12 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

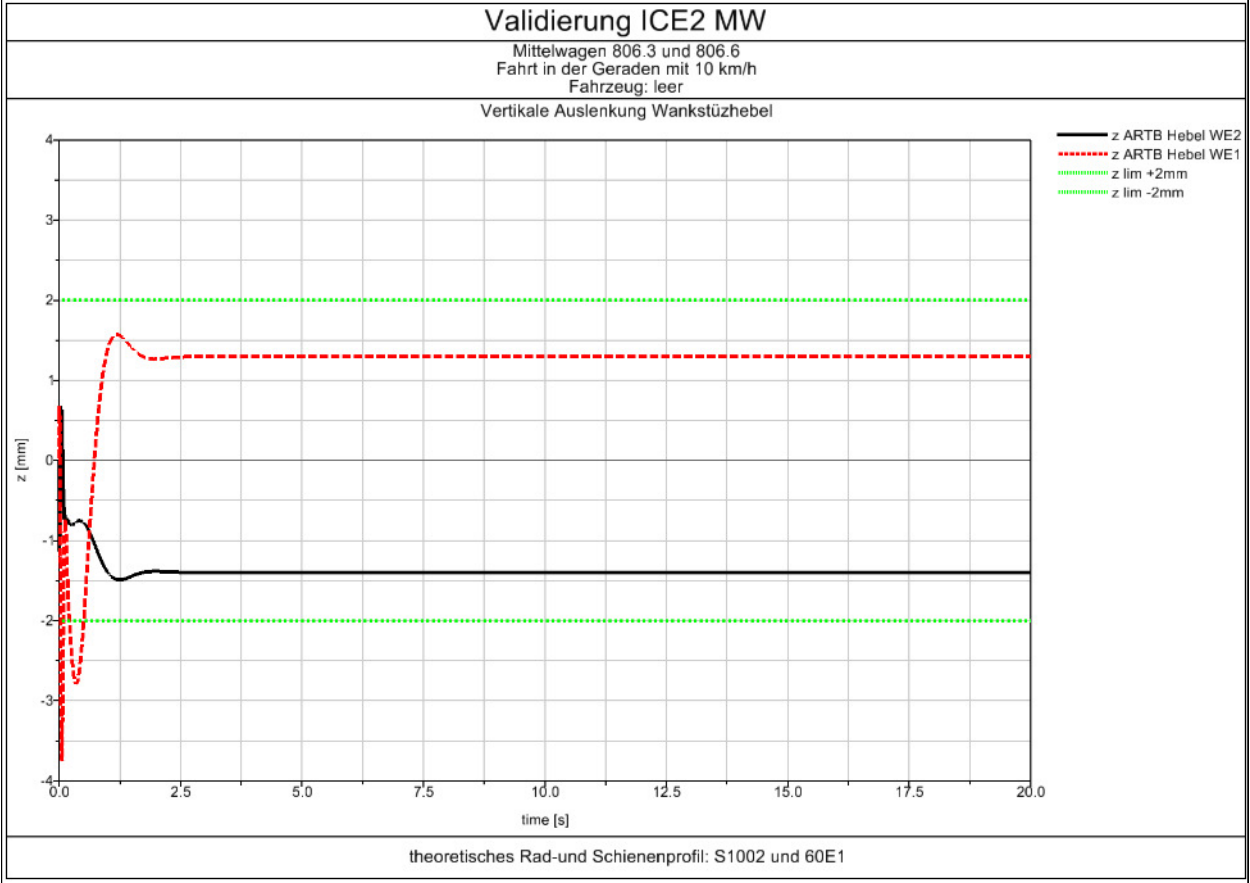
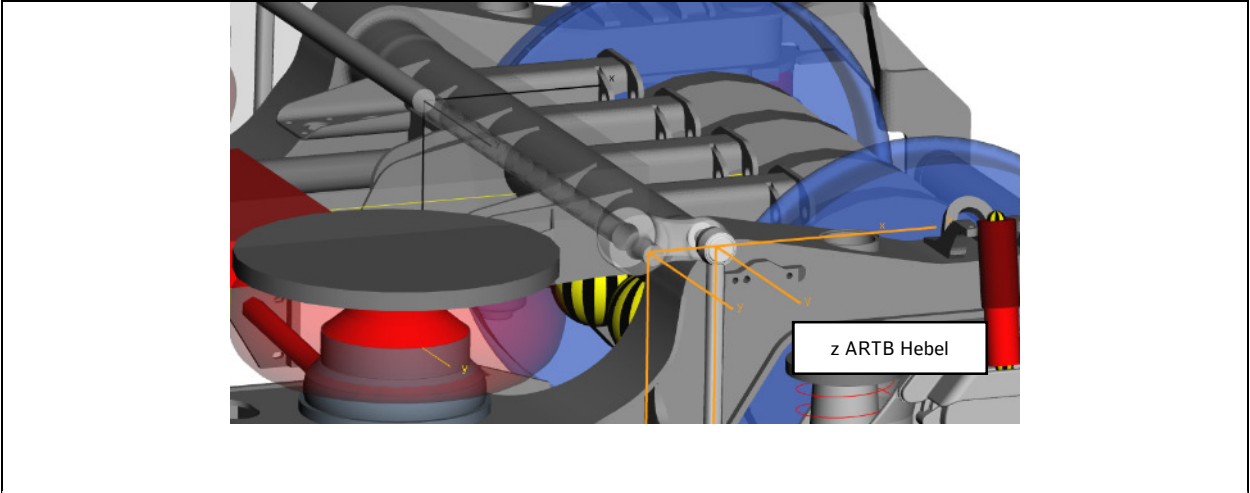




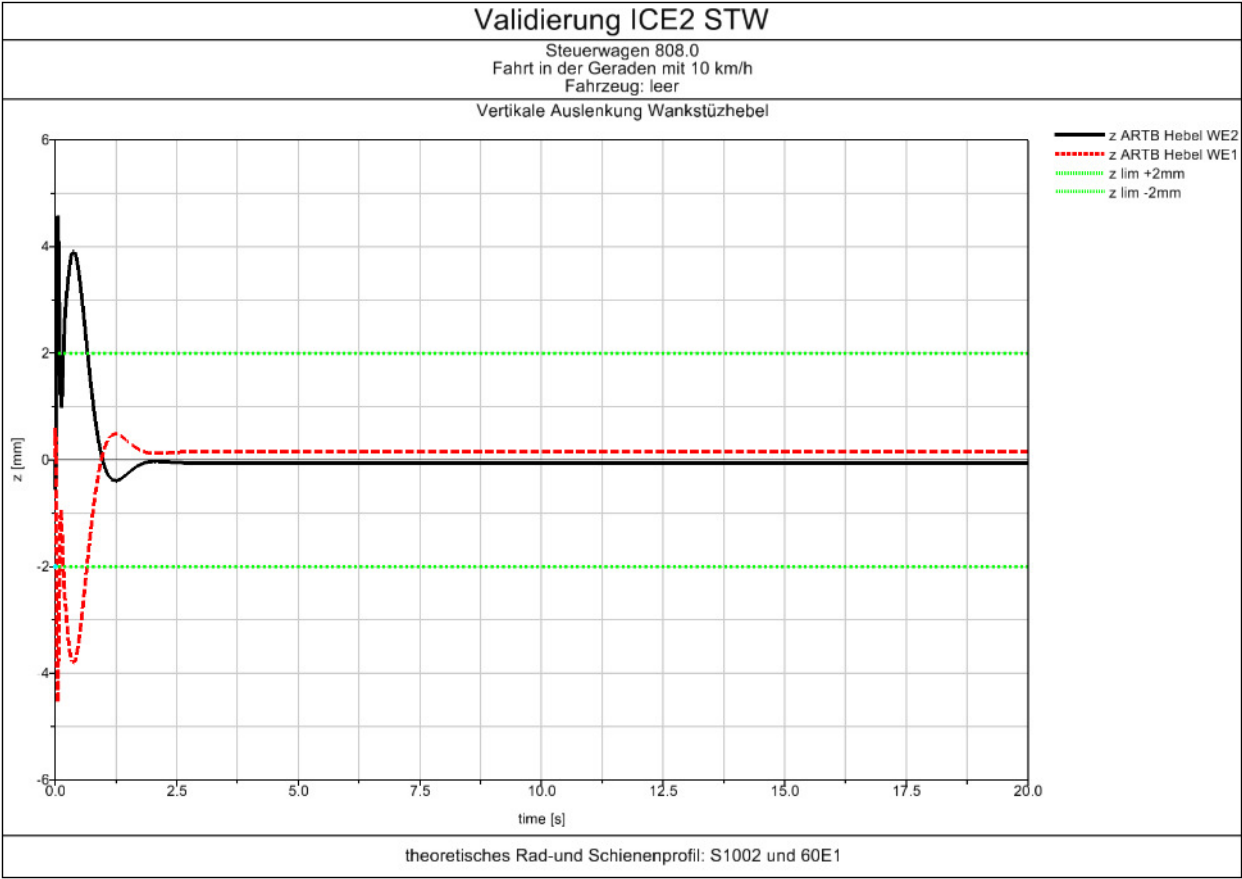
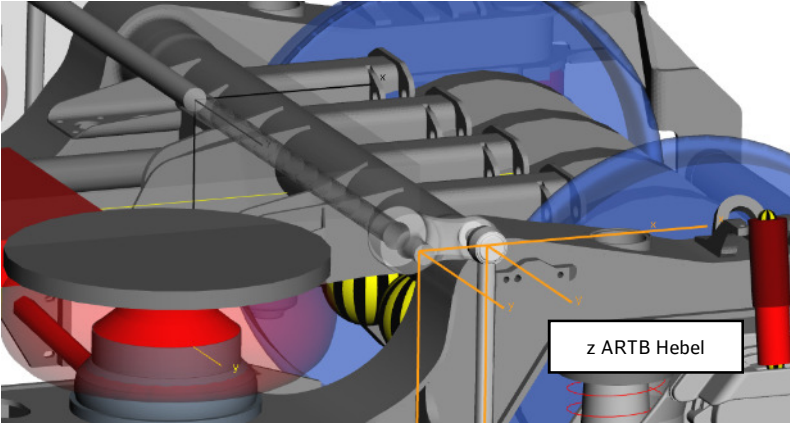
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 13 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 14 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



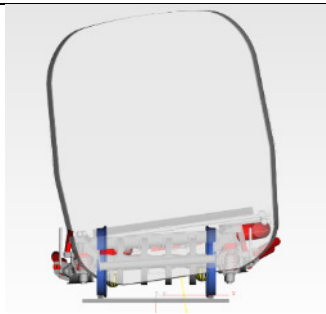
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 15 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 16 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 1.5 Plausibilitätsprüfung zum Wankverhalten

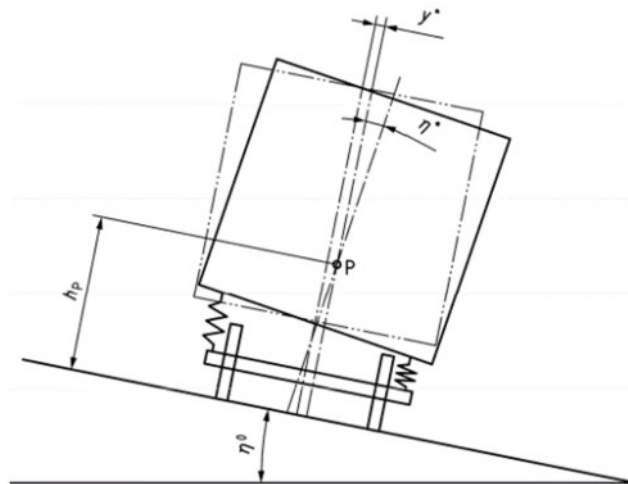
Wankfrequenz bei unbeladenen Wagen

Wagen	Frequenz [Hz]	Beschreibung	
MW	0.9	gleichphasiges Wanken von Drehgestellrahmen und Wagenkasten mit geringer Querbewegung	
STW	1 Hz		

Der Neigekoeffizient wurde für eine Überhöhung von 150 mm ermittelt. Dazu fuhren beide Wagen im geraden Gleis mit 5 km/h durch eine Rampe mit 150 mm Überhöhung.

Wagen	Neigekoeffizient $s$ bei $u=150$ mm
MW	0.16
STW	0.15

Berechnet wird der Neigekoeffizient  $s$  für den stationären Versuch nach [12] wie folgt:

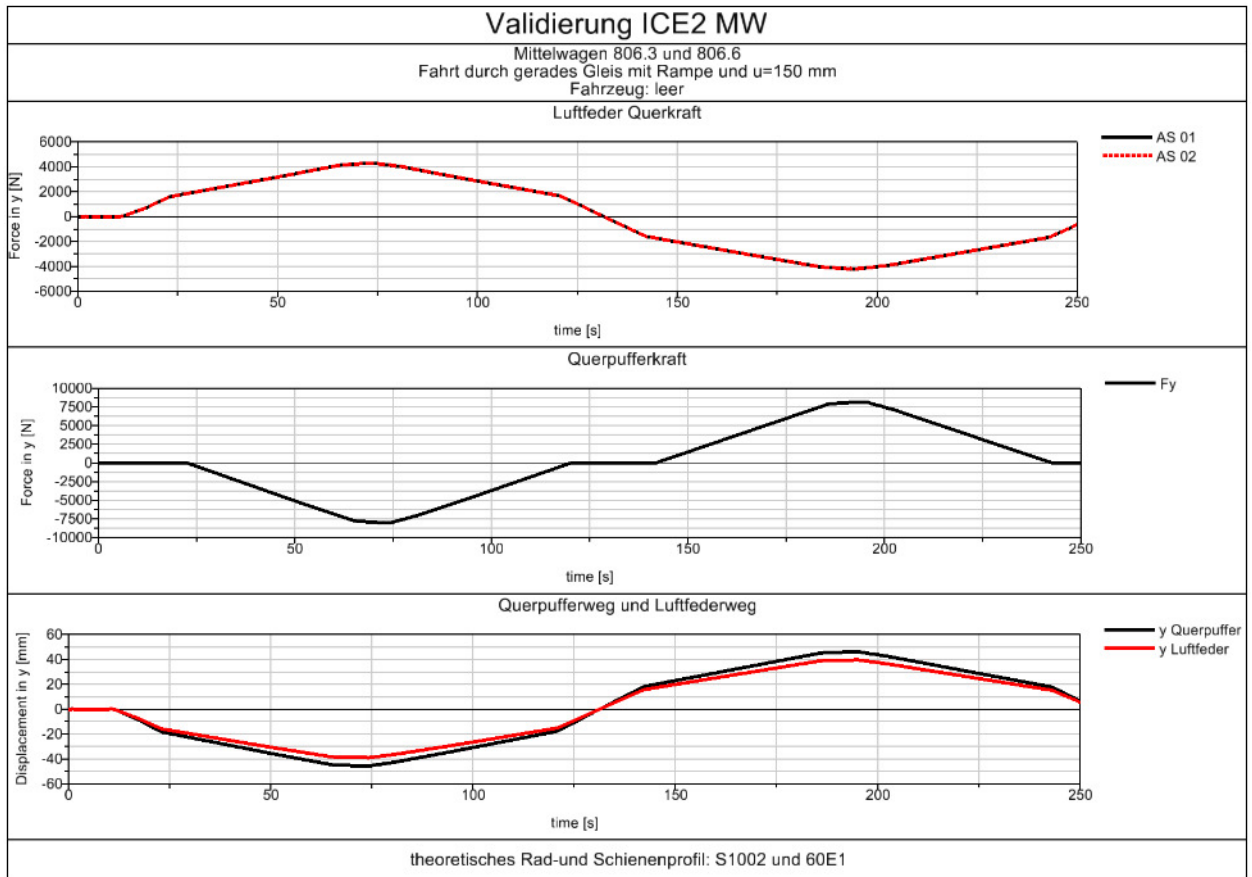
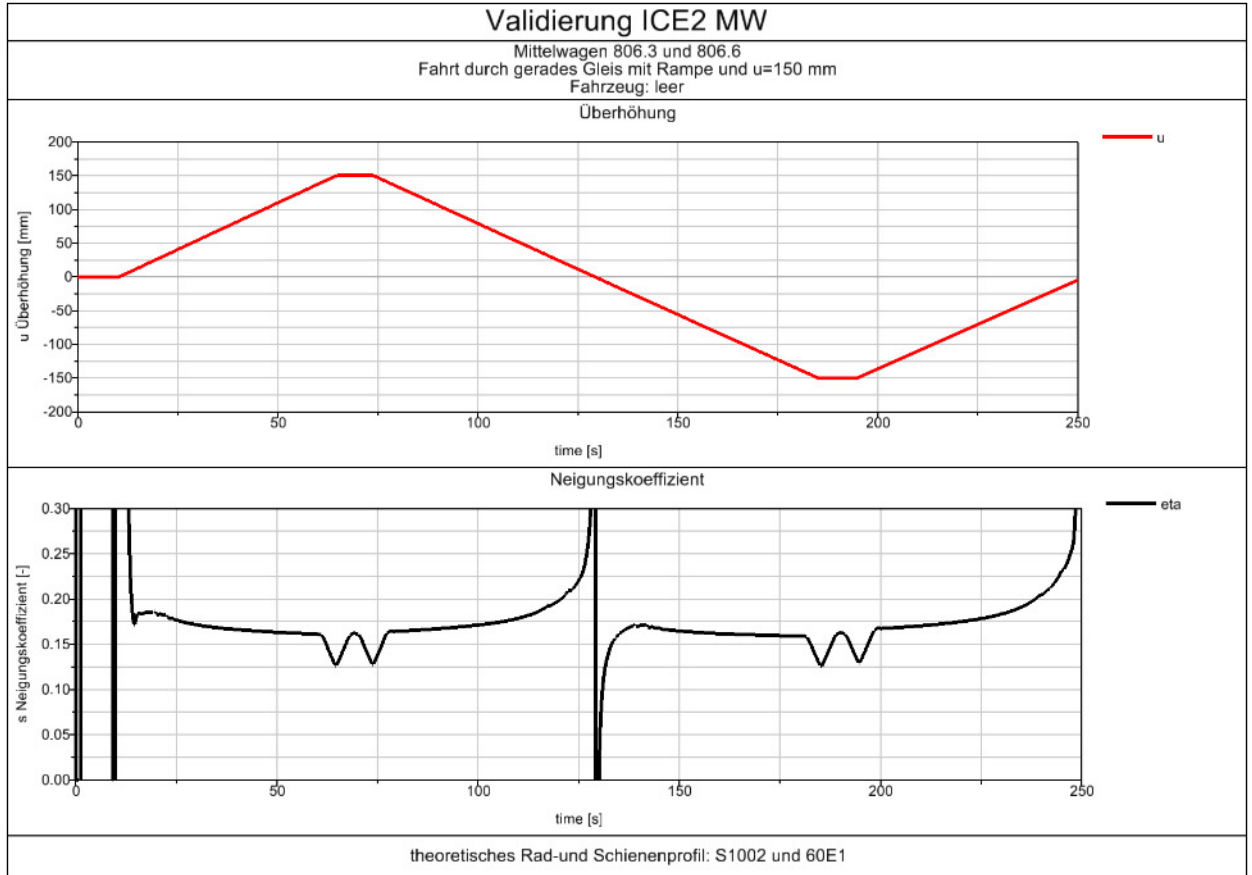


$$s = \frac{\eta^{*d}}{\eta^{0d}}$$

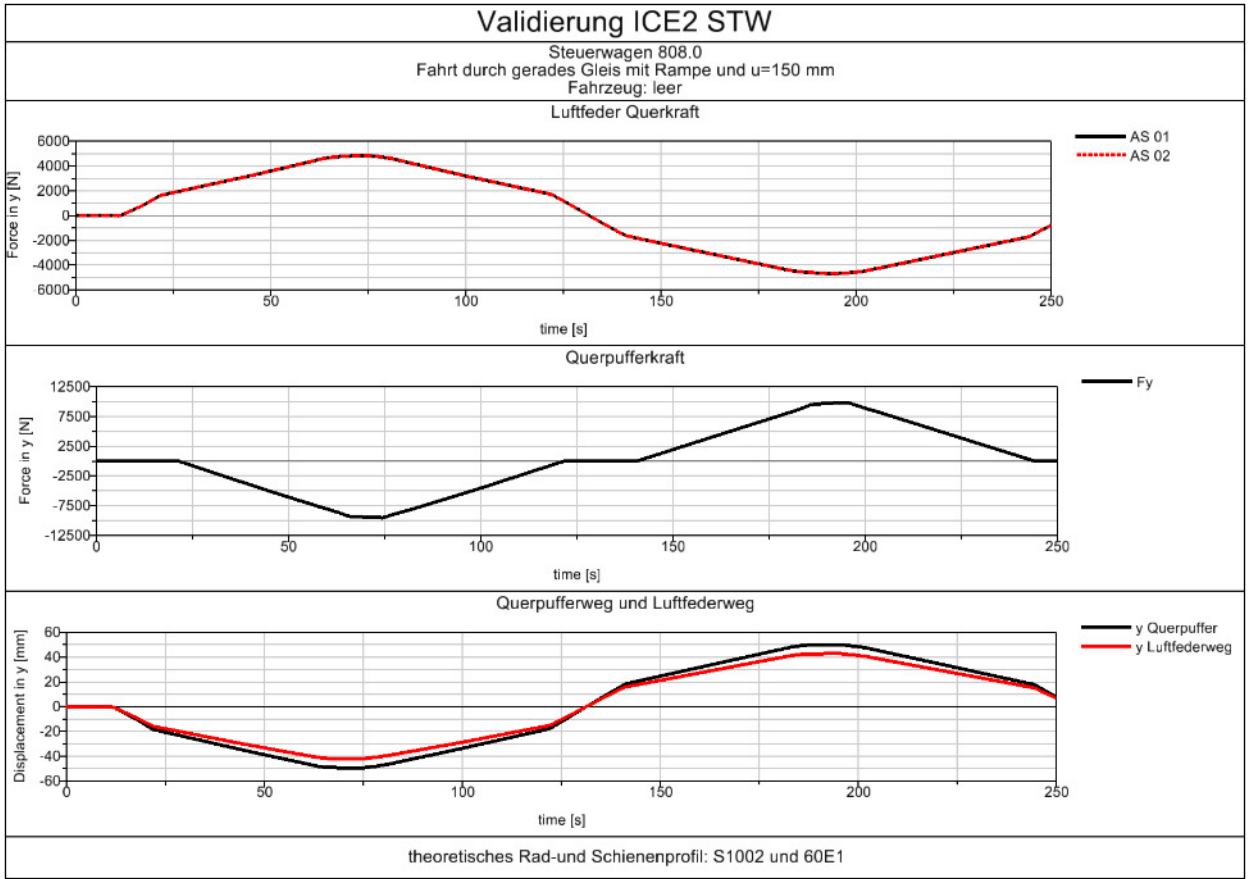
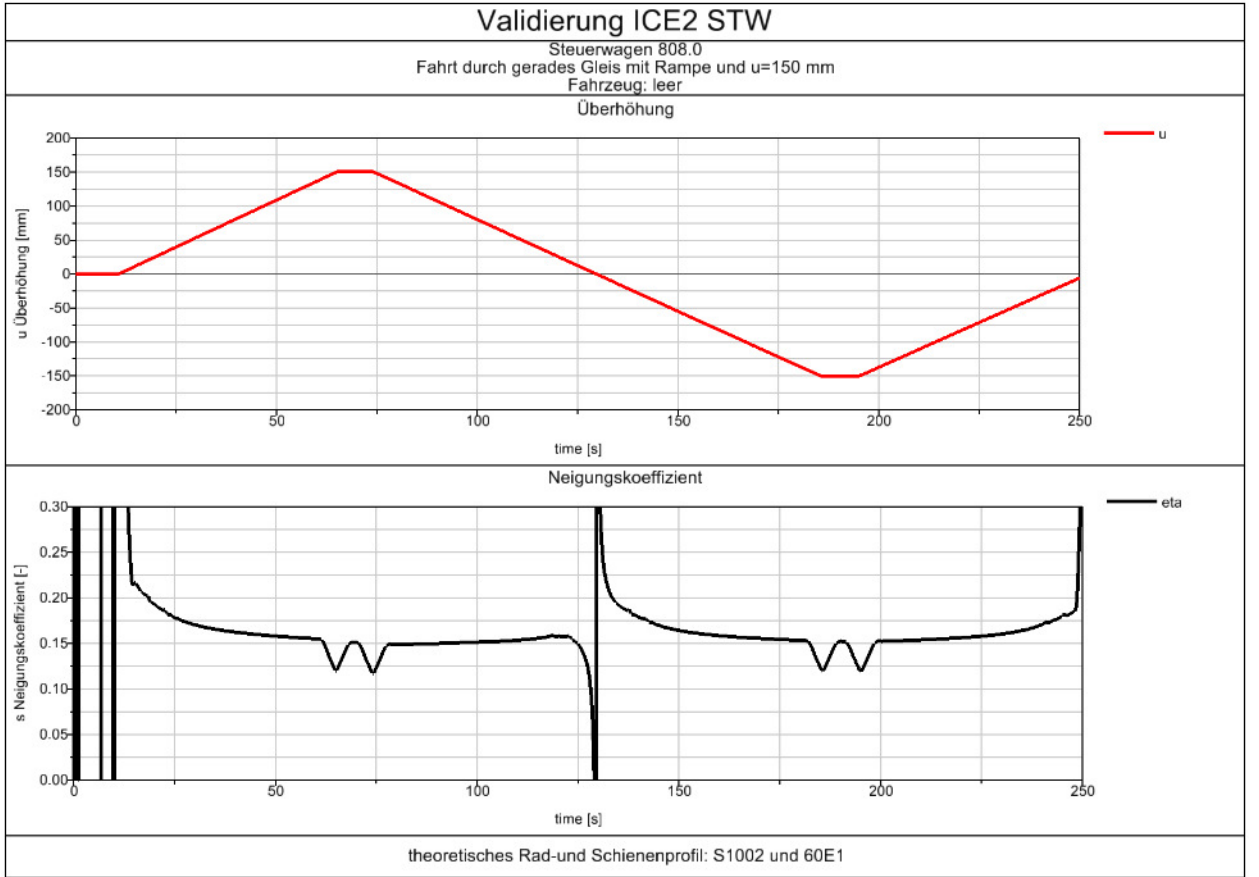
$\eta^{*d}$  = Wankwinkel des Wagenkastens

$\eta^{0d}$  = Wankwinkel des Wagens auf der Gleisebene

DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 17 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 18 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

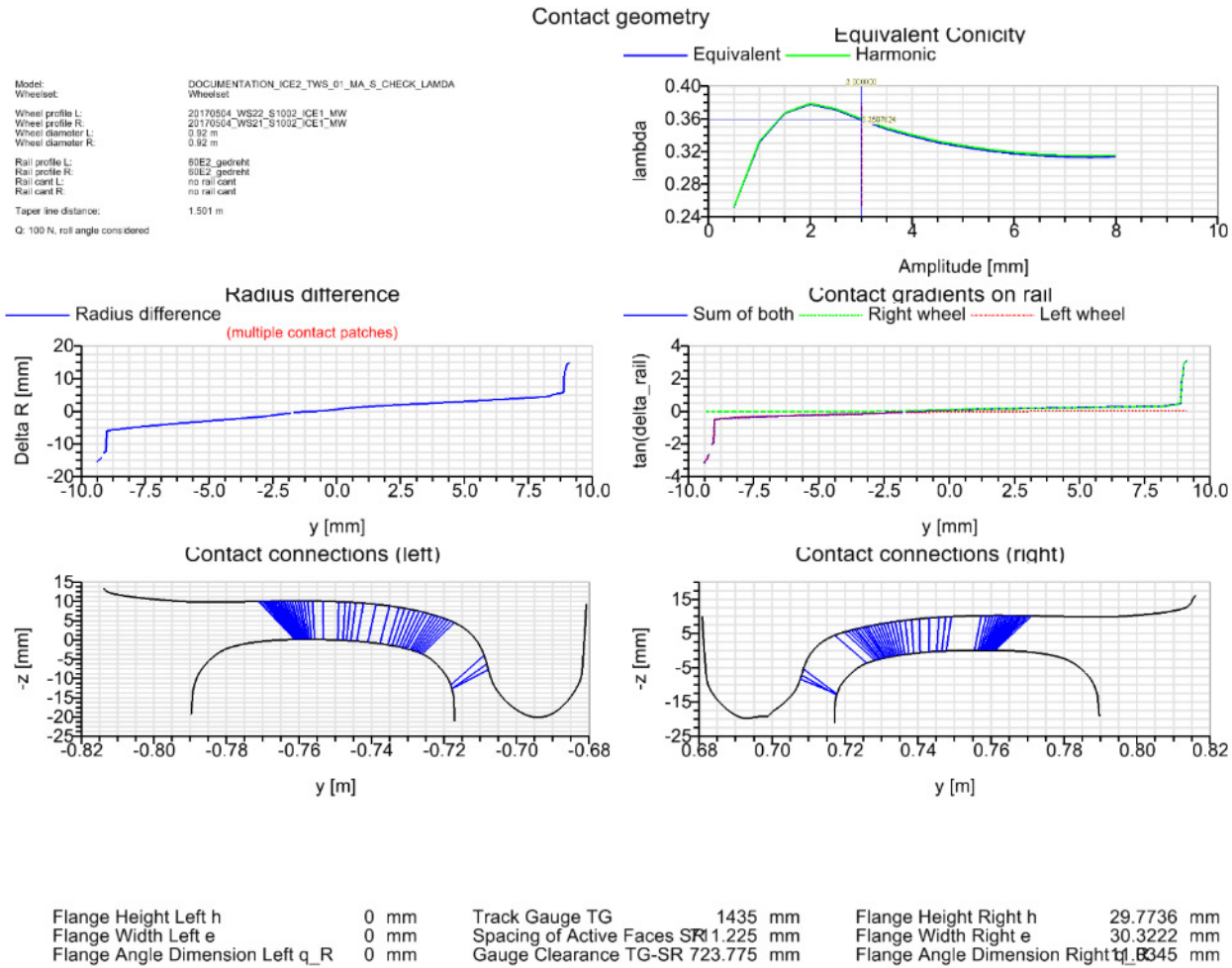






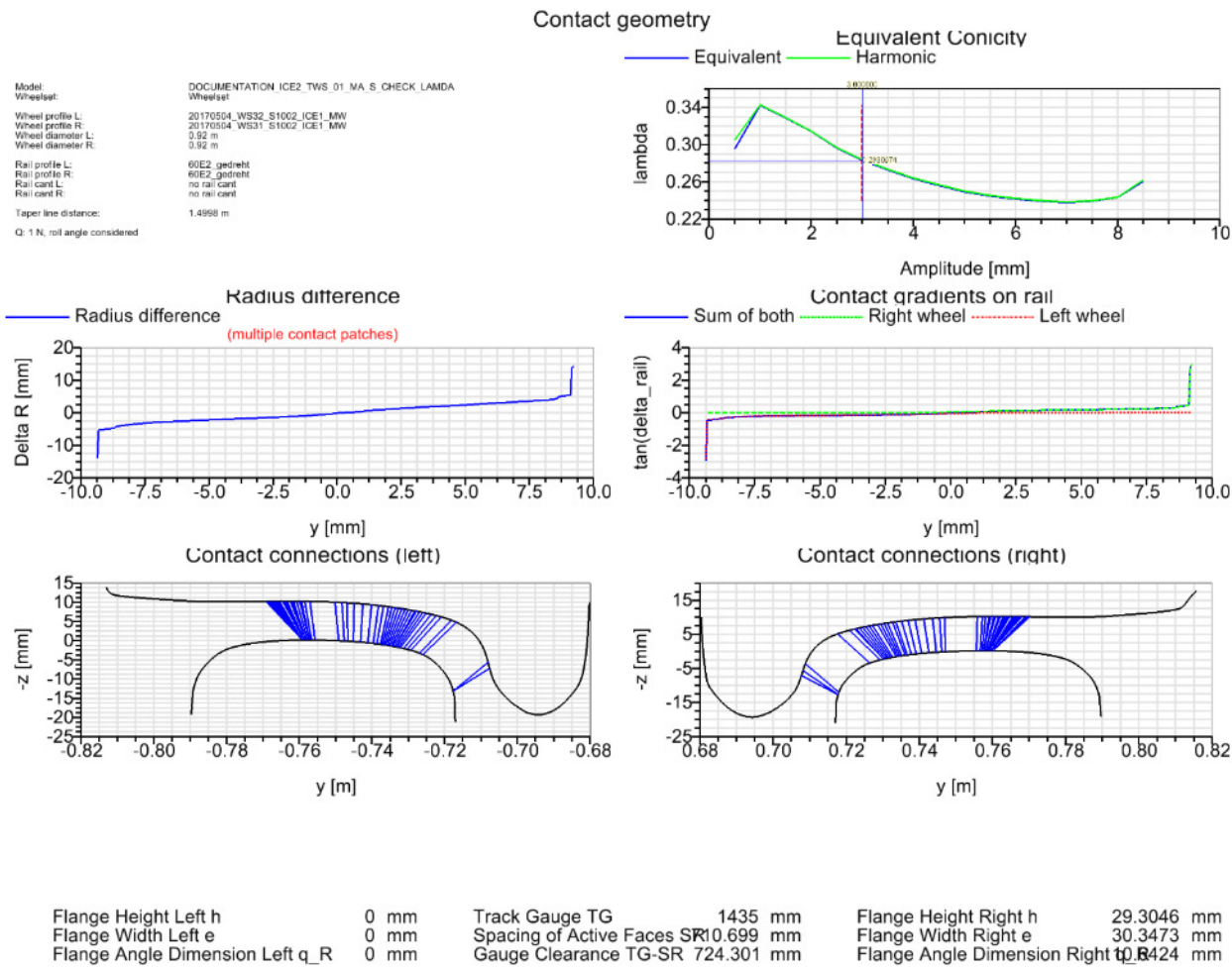
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 20 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

Kontaktgeometrie in SIMPACK



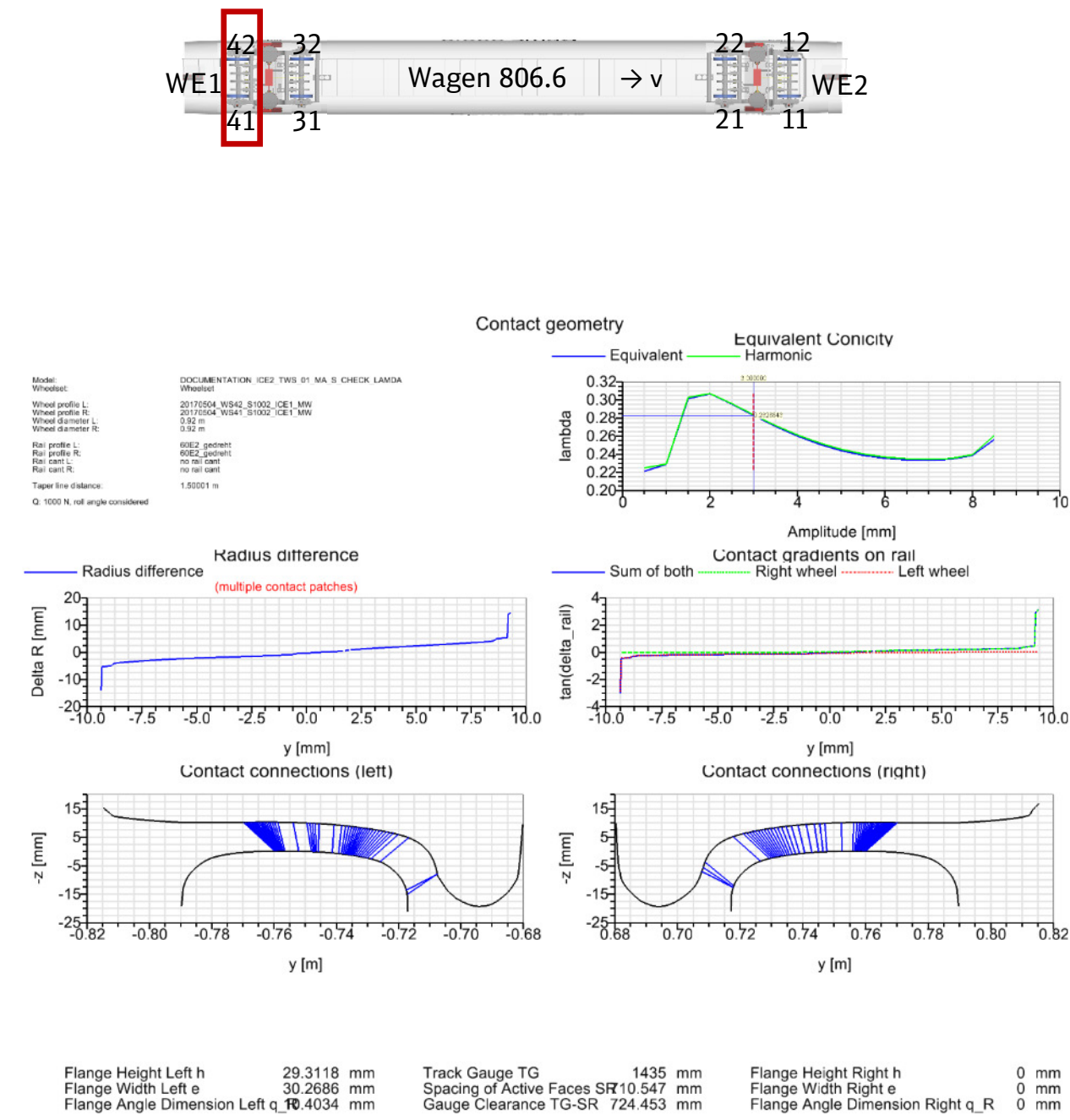
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 21 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

Kontaktgeometrie in SIMPACK



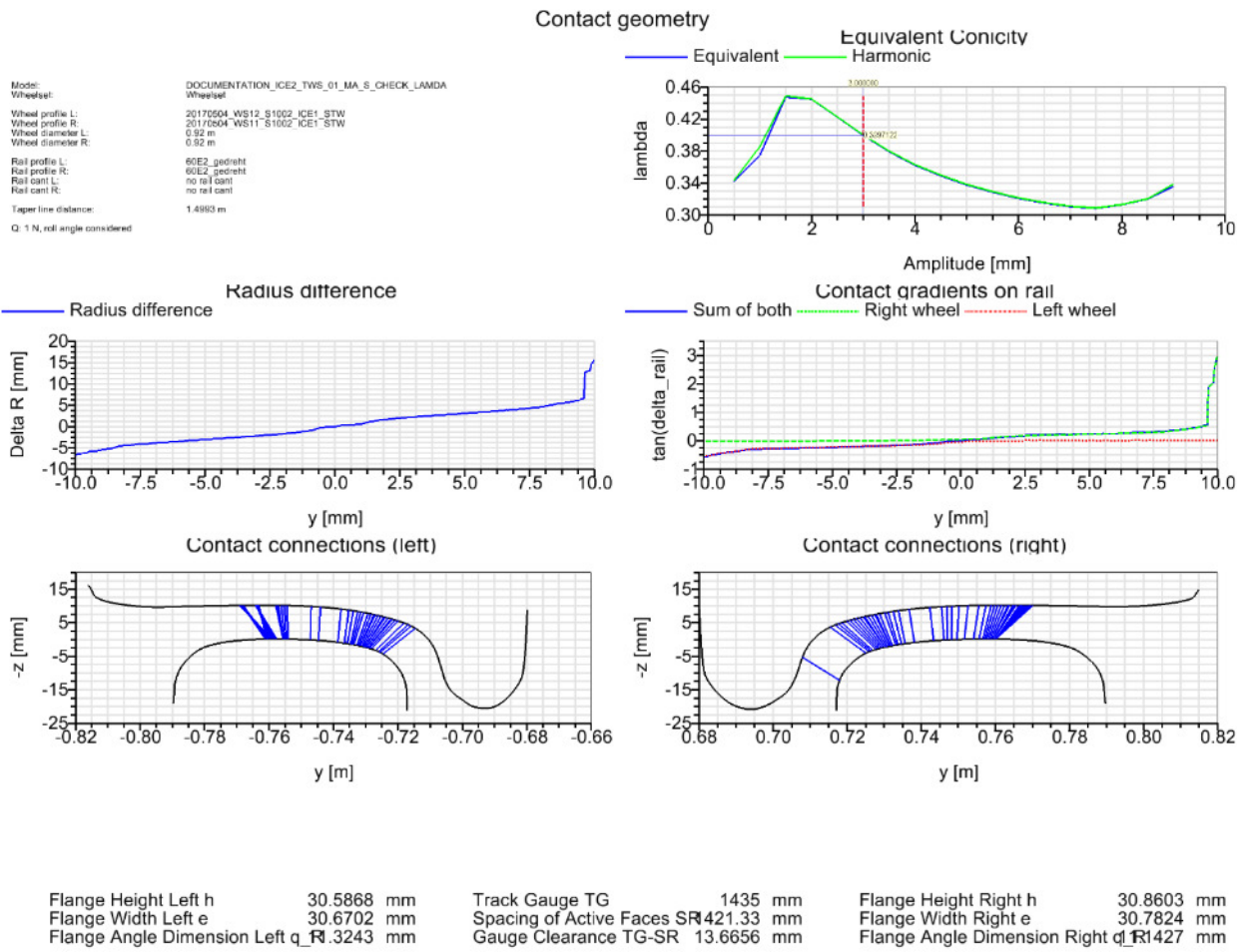
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 22 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name:
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

Kontaktgeometrie in SIMPACK



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 23 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

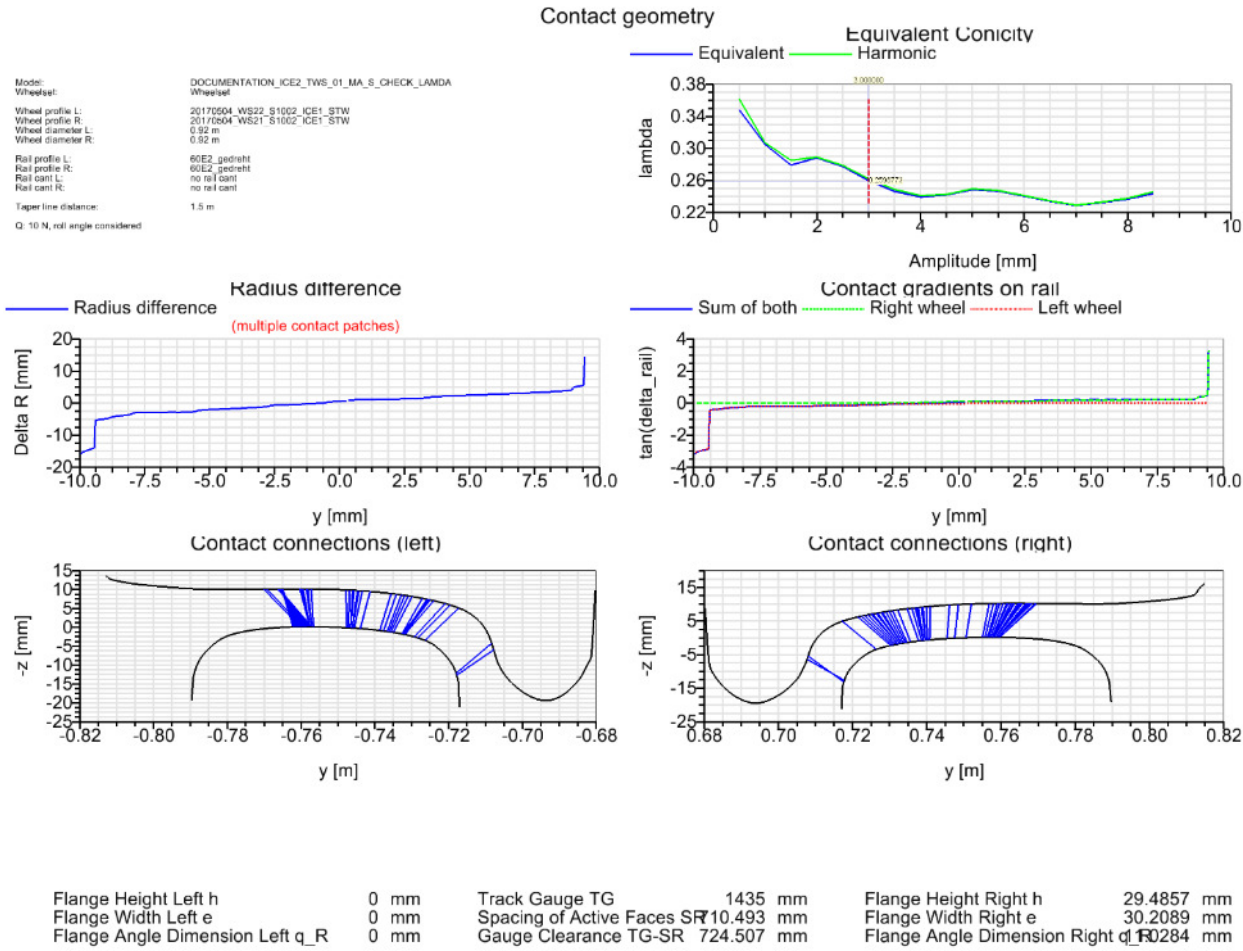
# Kontaktgeometrie in SIMPACK





DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 24 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

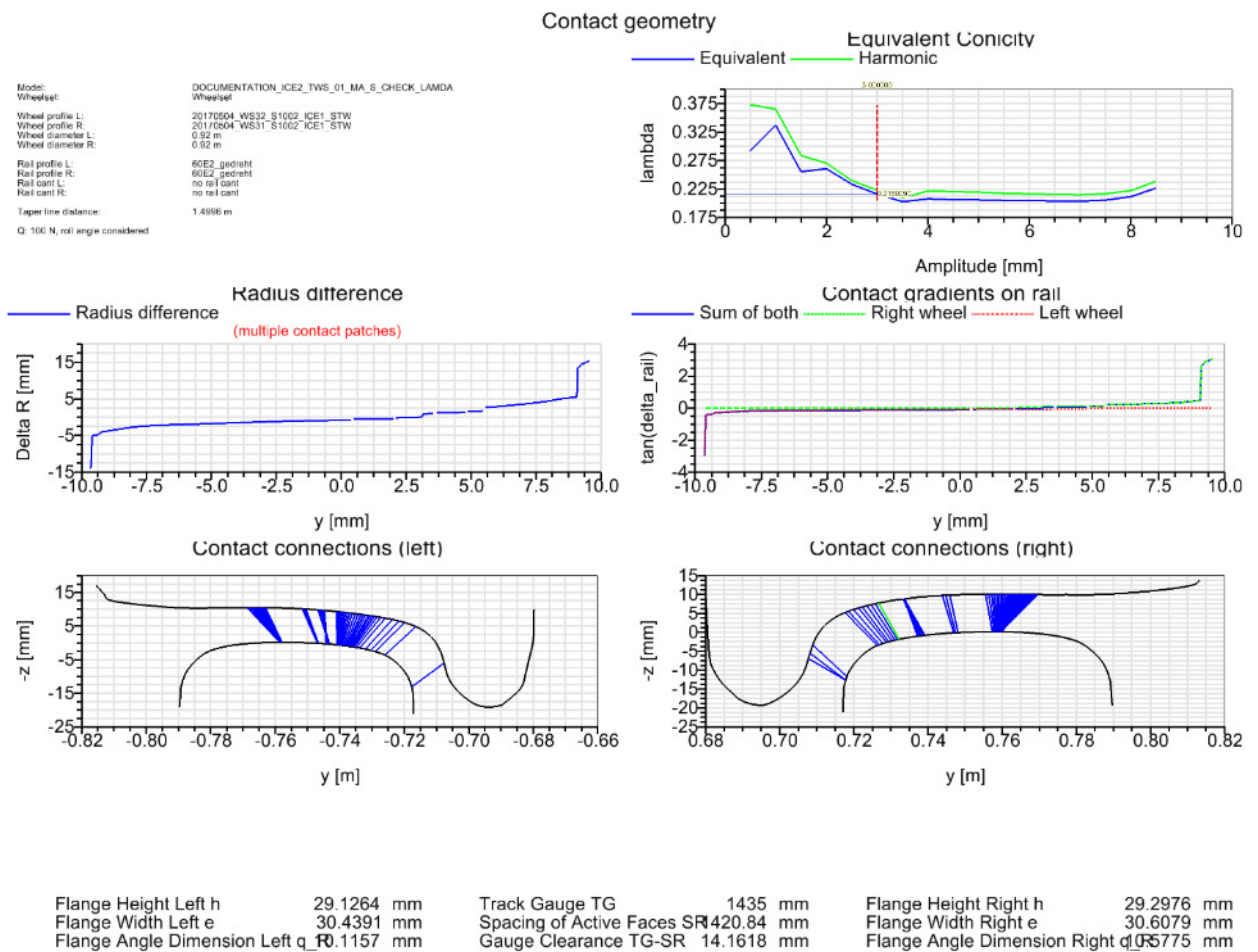
# Kontaktgeometrie in SIMPACK





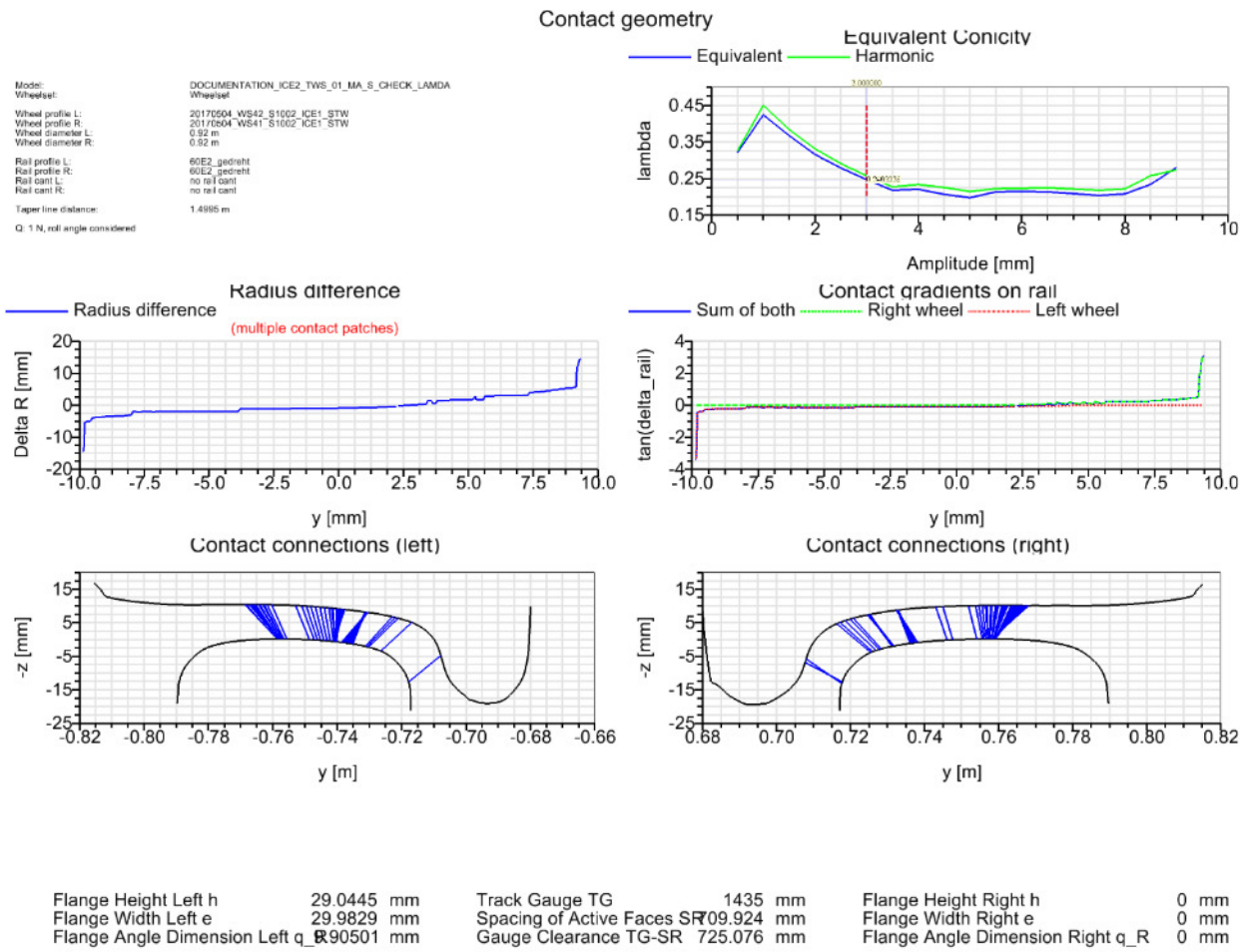
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	Unfall Dortmund	Anlage: 1
	Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell	Seite: 25 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## Kontaktgeometrie in SIMPACK



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 26 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

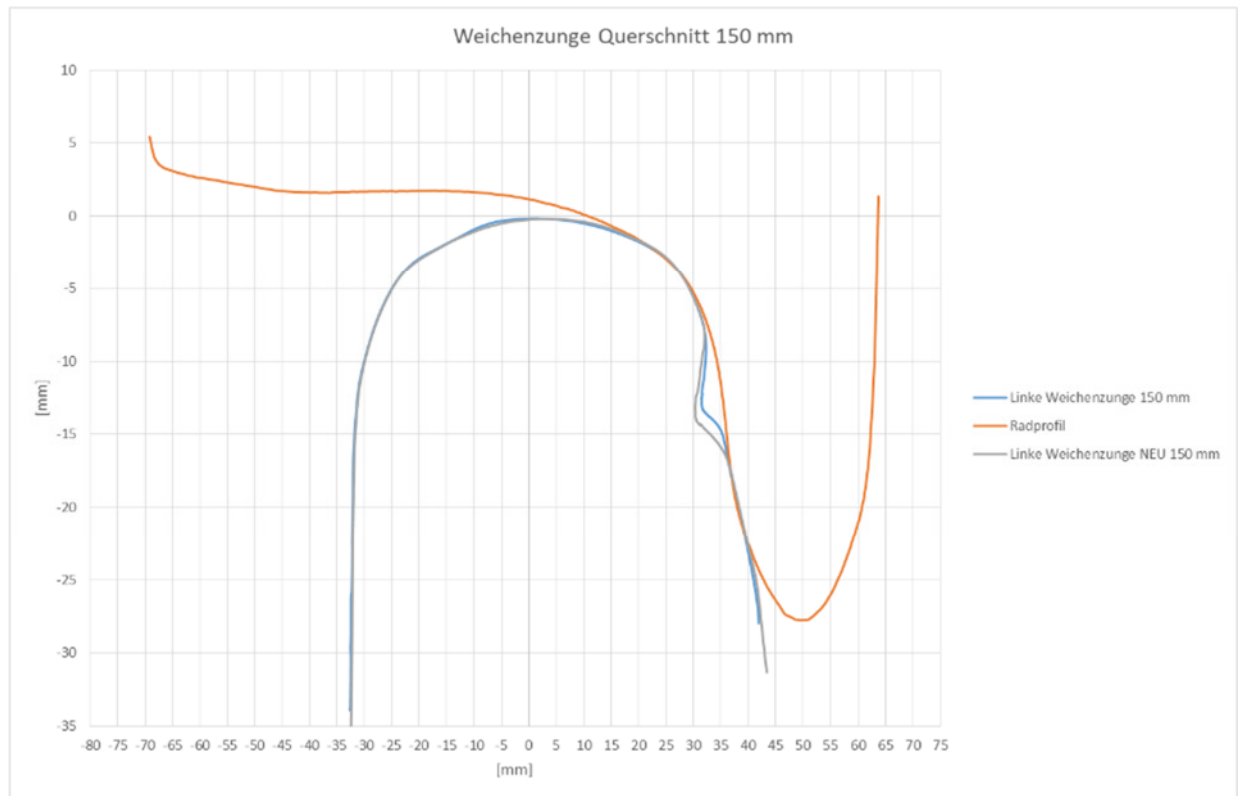
# Kontaktgeometrie in SIMPACK



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 27 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

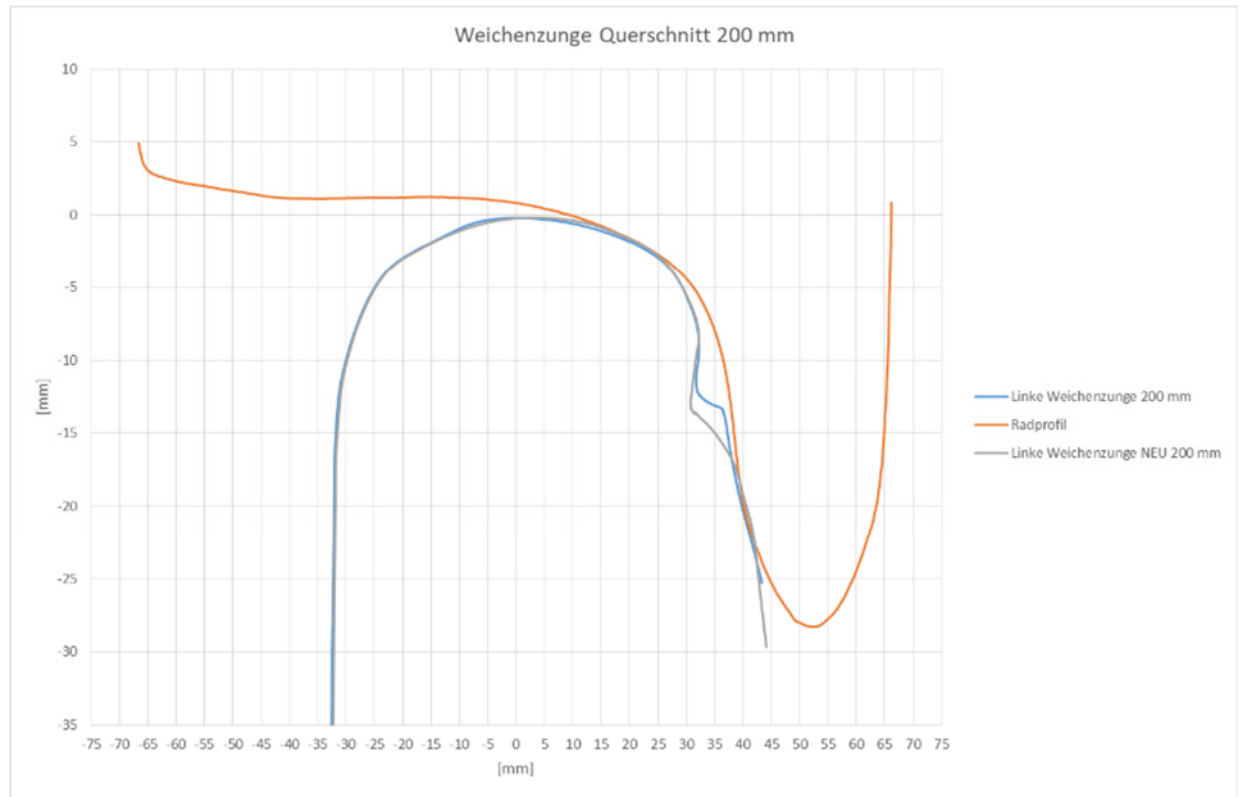
## 1.7 Vergleich der Zungen-Backenschienen-Profile vor und nach der Instandhaltung

Vergleich des Querschnitts 150 mm nach Zungenanfang

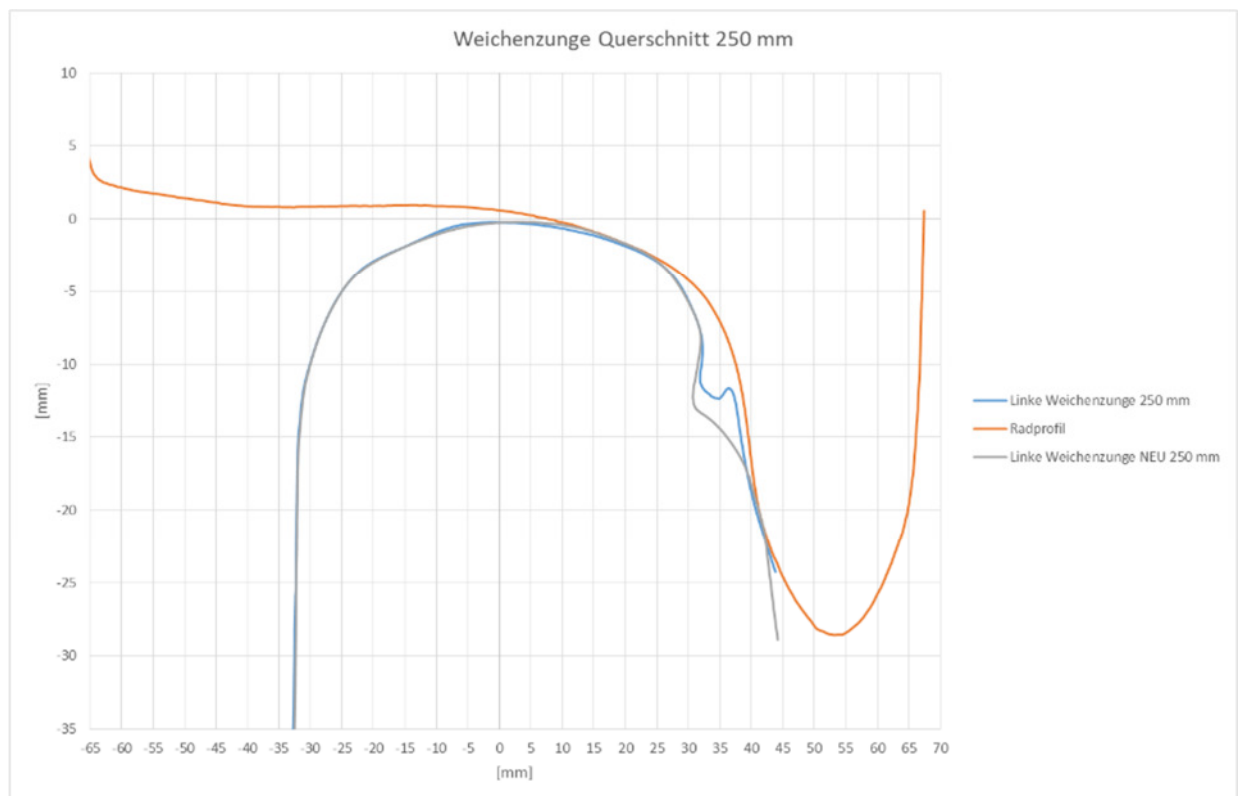


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 28 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

### Vergleich des Querschnitts 200 mm nach Zungenanfang

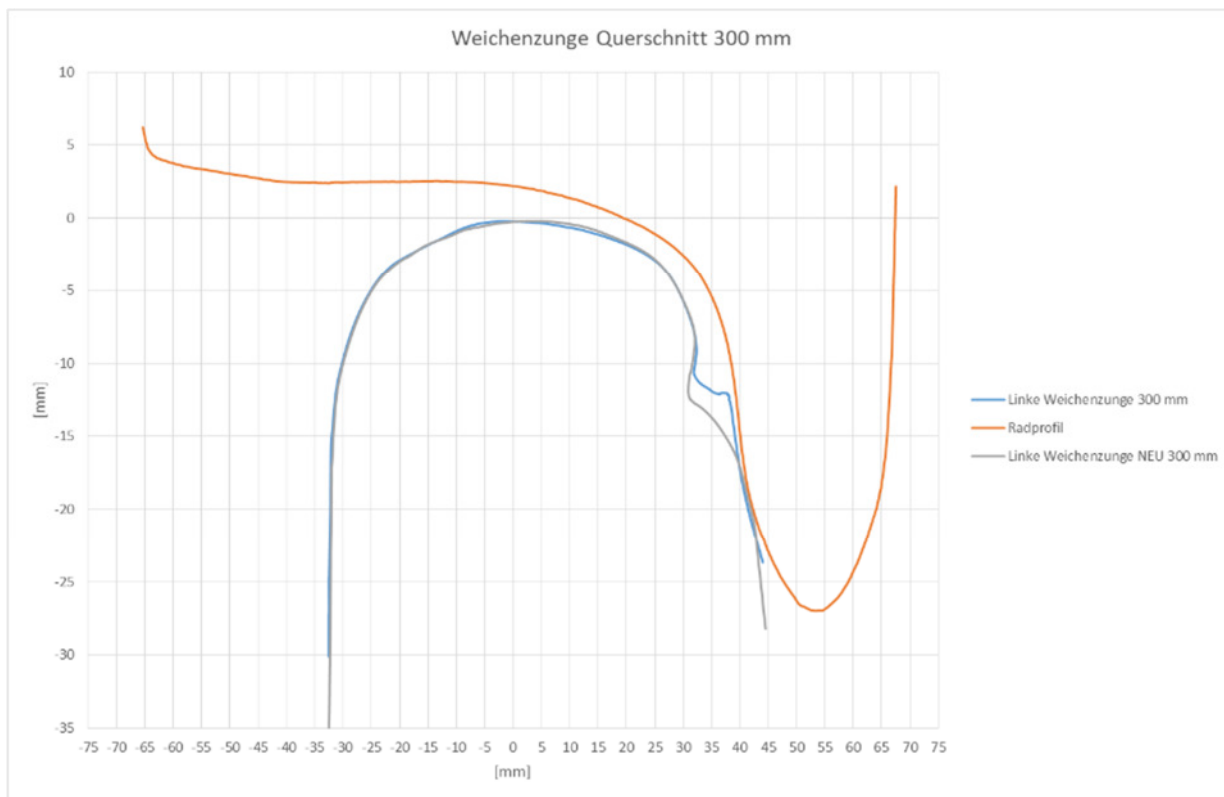


### Vergleich des Querschnitts 250 mm nach Zungenanfang

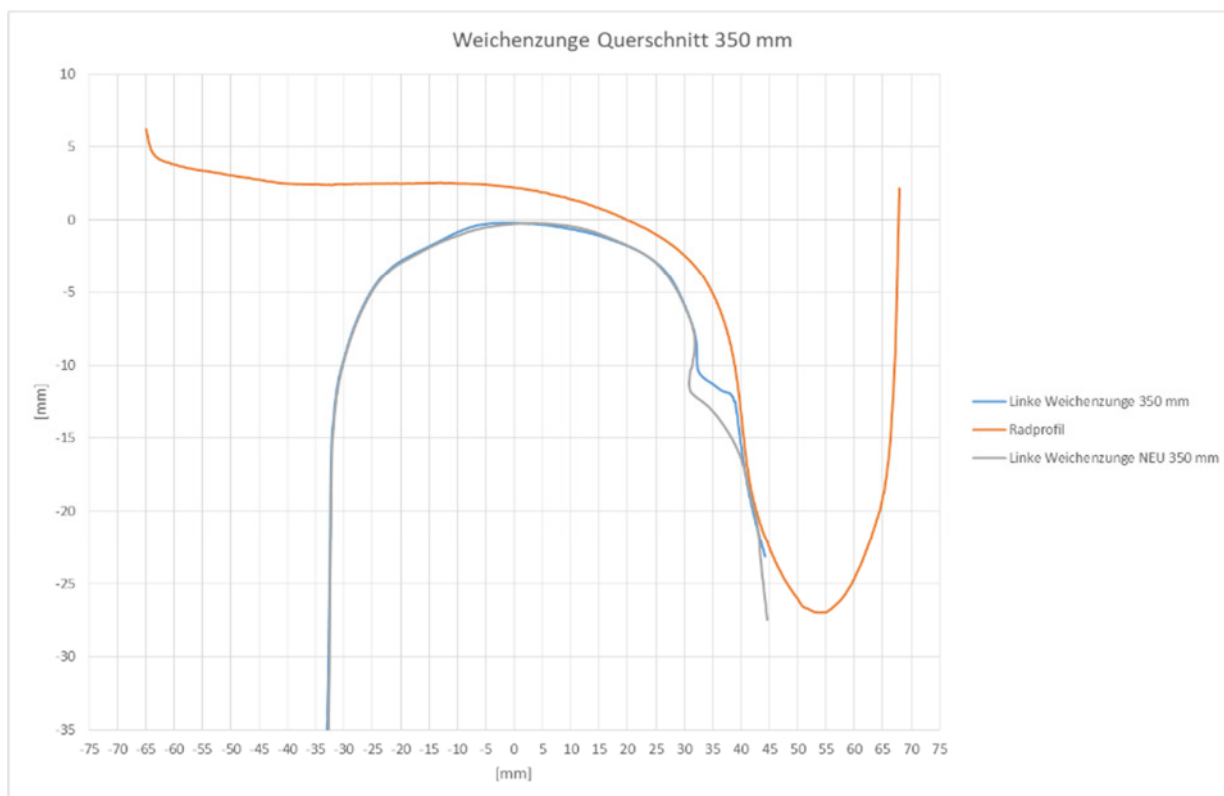


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	Unfall Dortmund	Anlage: 1
	Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell	Seite: 29 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

### Vergleich des Querschnitts 300 mm nach Zungenanfang

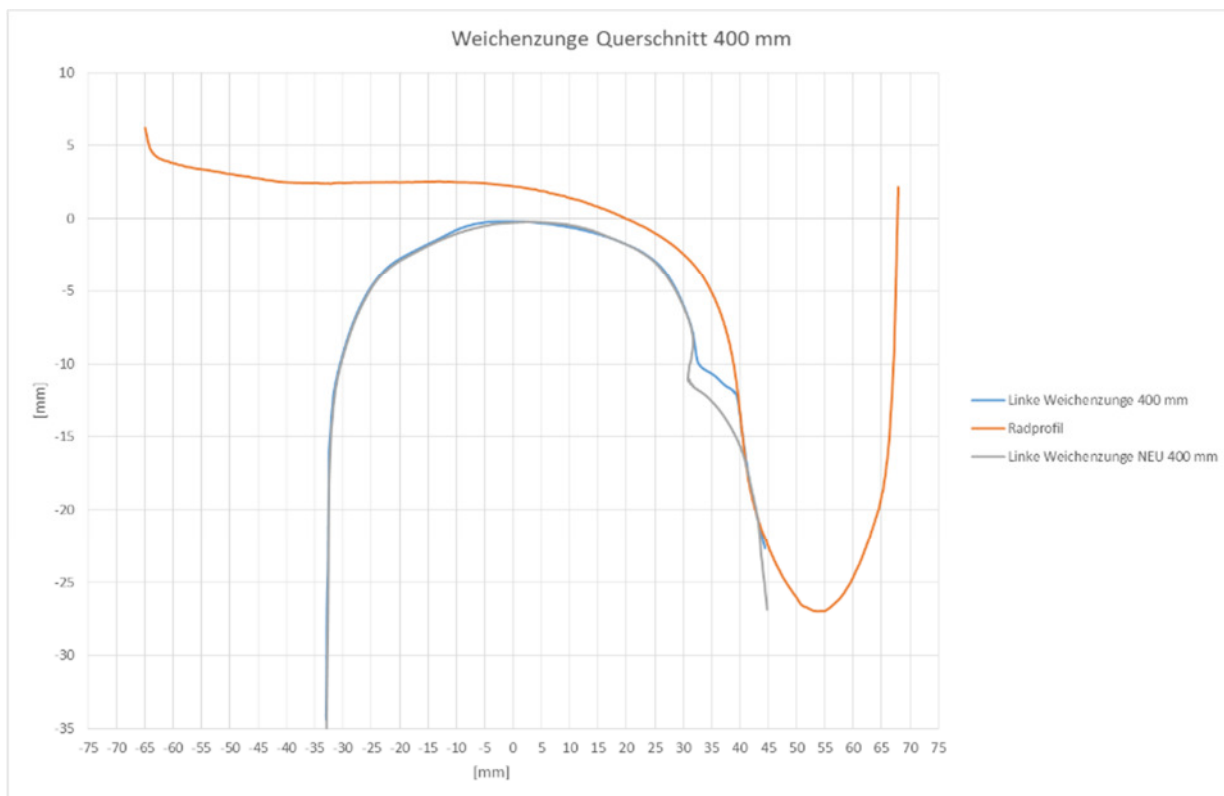


### Vergleich des Querschnitts 350 mm nach Zungenanfang

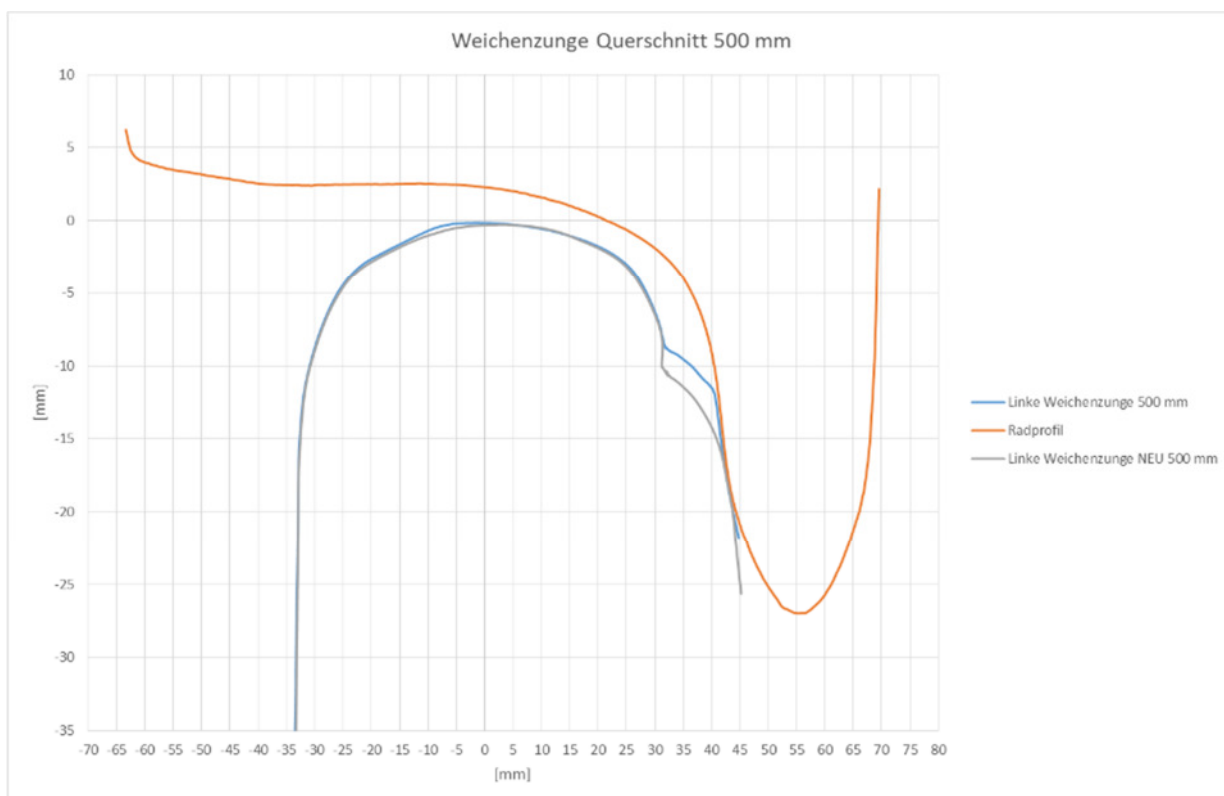


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	Unfall Dortmund	Anlage: 1
	Mehrkörpersimulation ICE2 Daten zum Simulationsmodell	Seite: 30 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

### Vergleich des Querschnitts 400 mm nach Zungenanfang



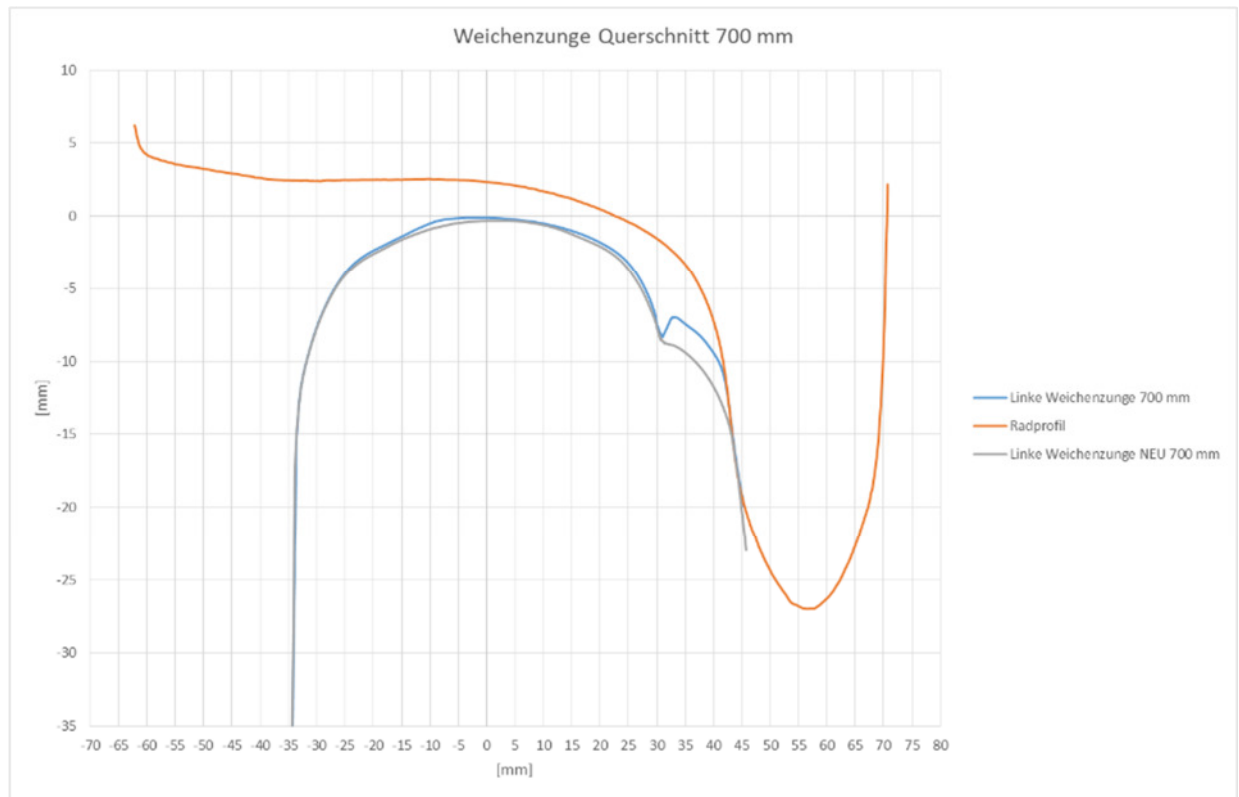
### Vergleich des Querschnitts 500 mm nach Zungenanfang





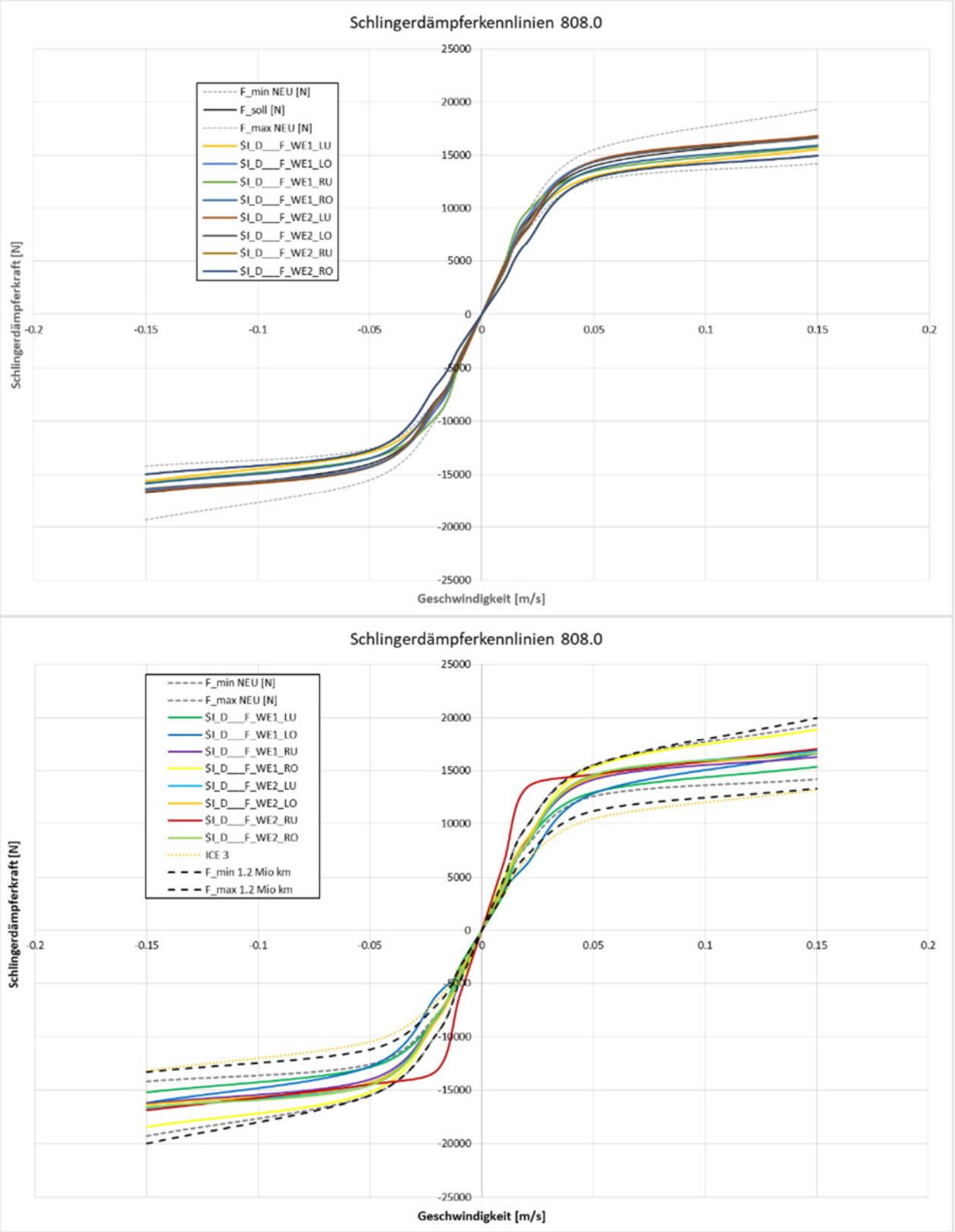
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	Seite: 31 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

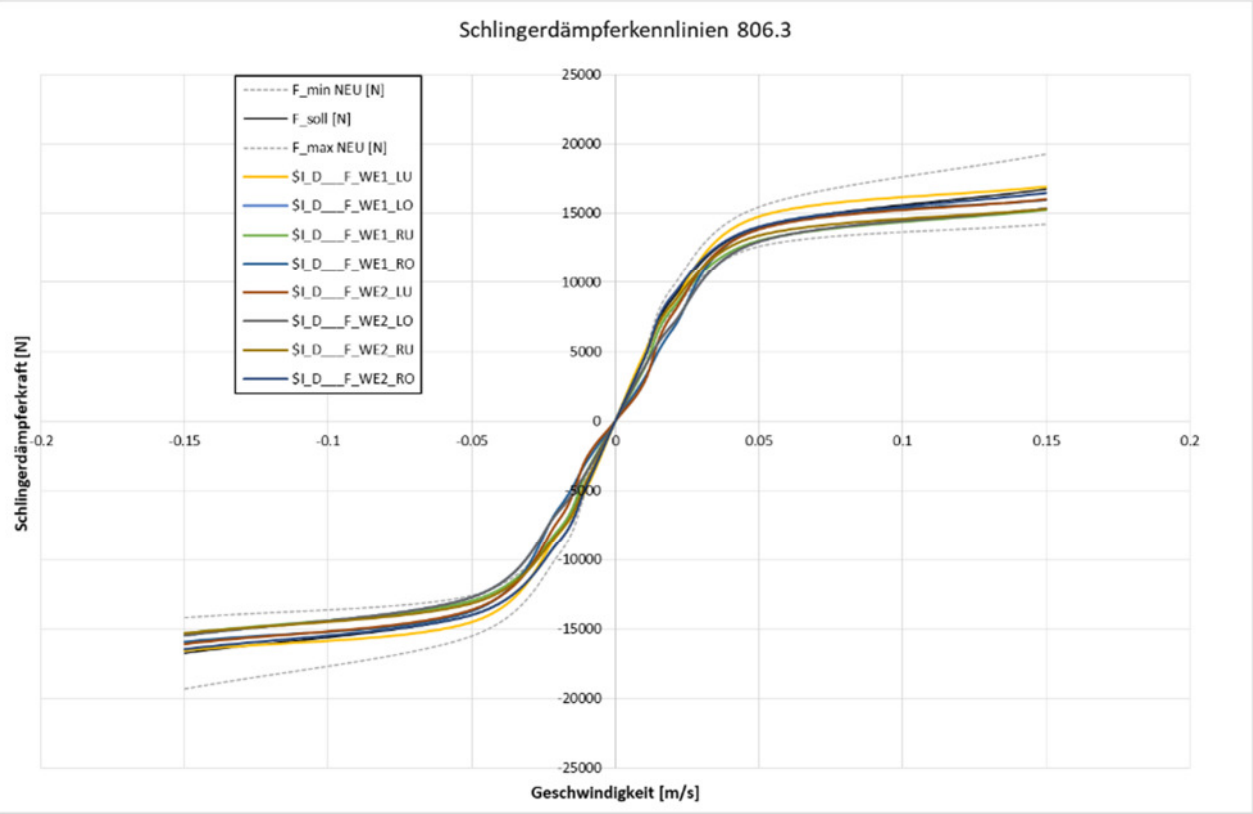
## Vergleich des Querschnitts 700 mm nach Zungenanfang



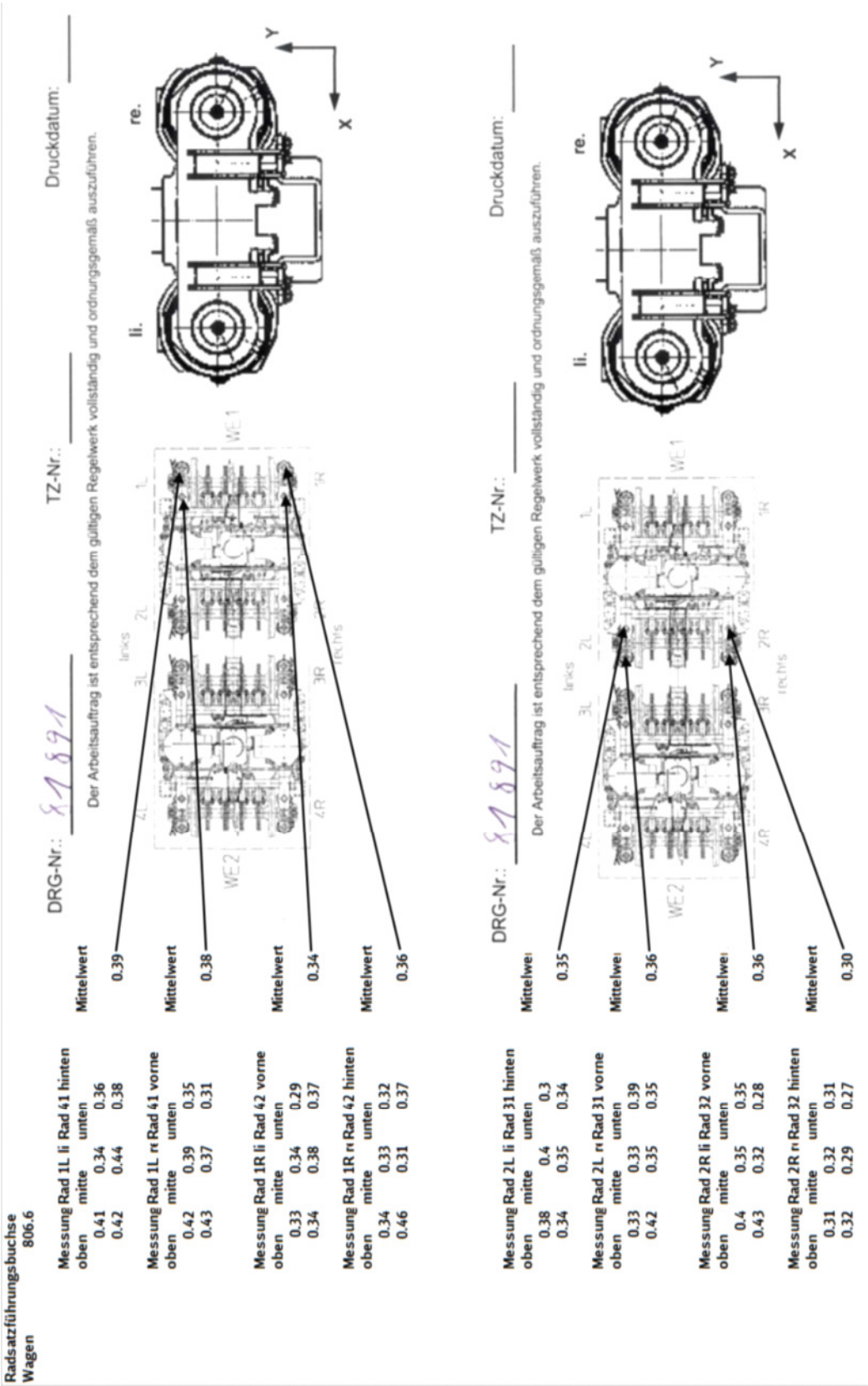
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23(1)	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 1</b> Seite: 32 von 35 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Daten zum Simulationsmodell</b>	

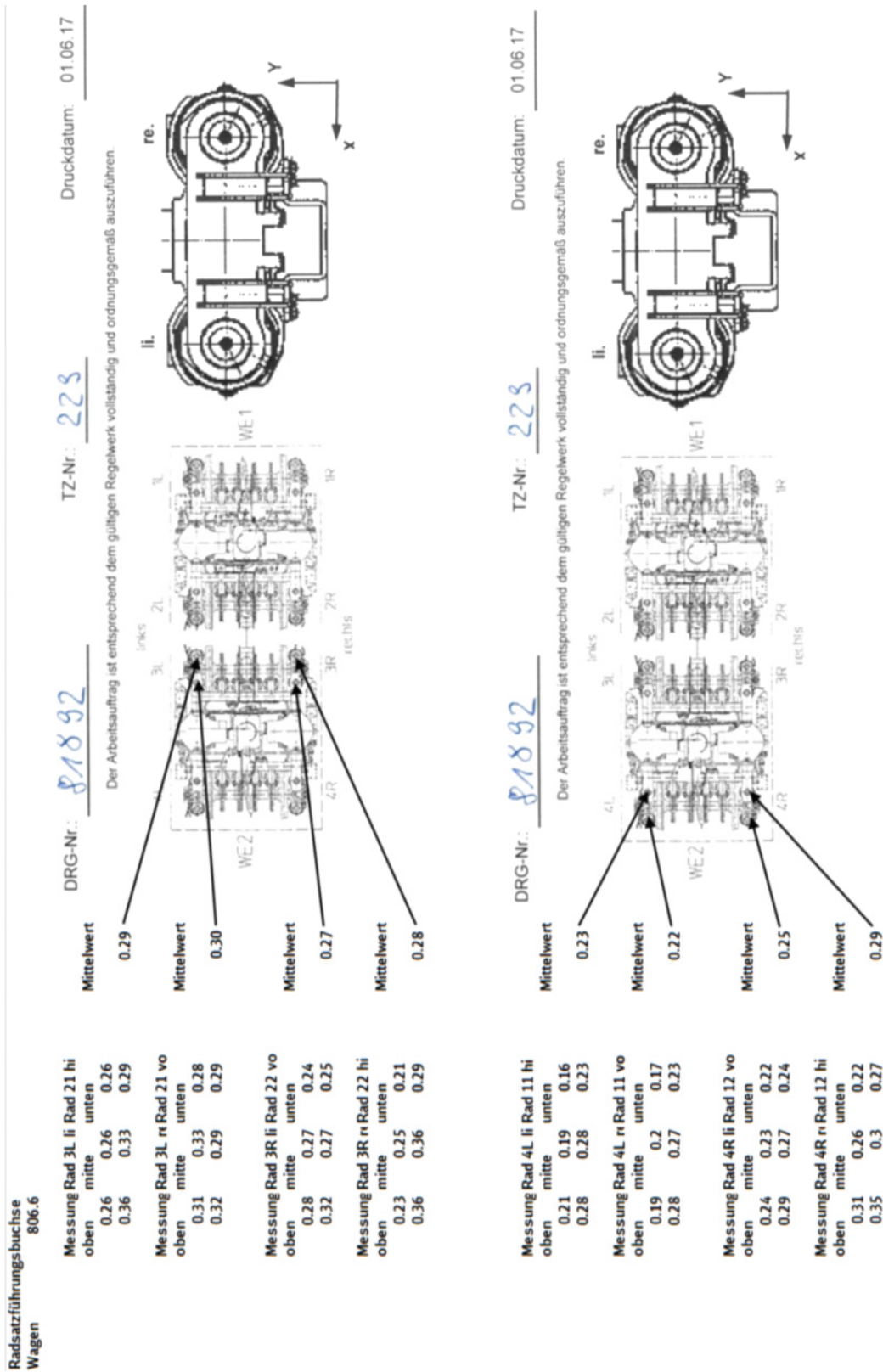
# 1.8 Schlingerdämpferkennlinien





1.9 Spiel in den Radsatzführungsbuchsen





DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 2</b> Seite: 1 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse</b>	

## Anlage 2: Simulationsergebnisse

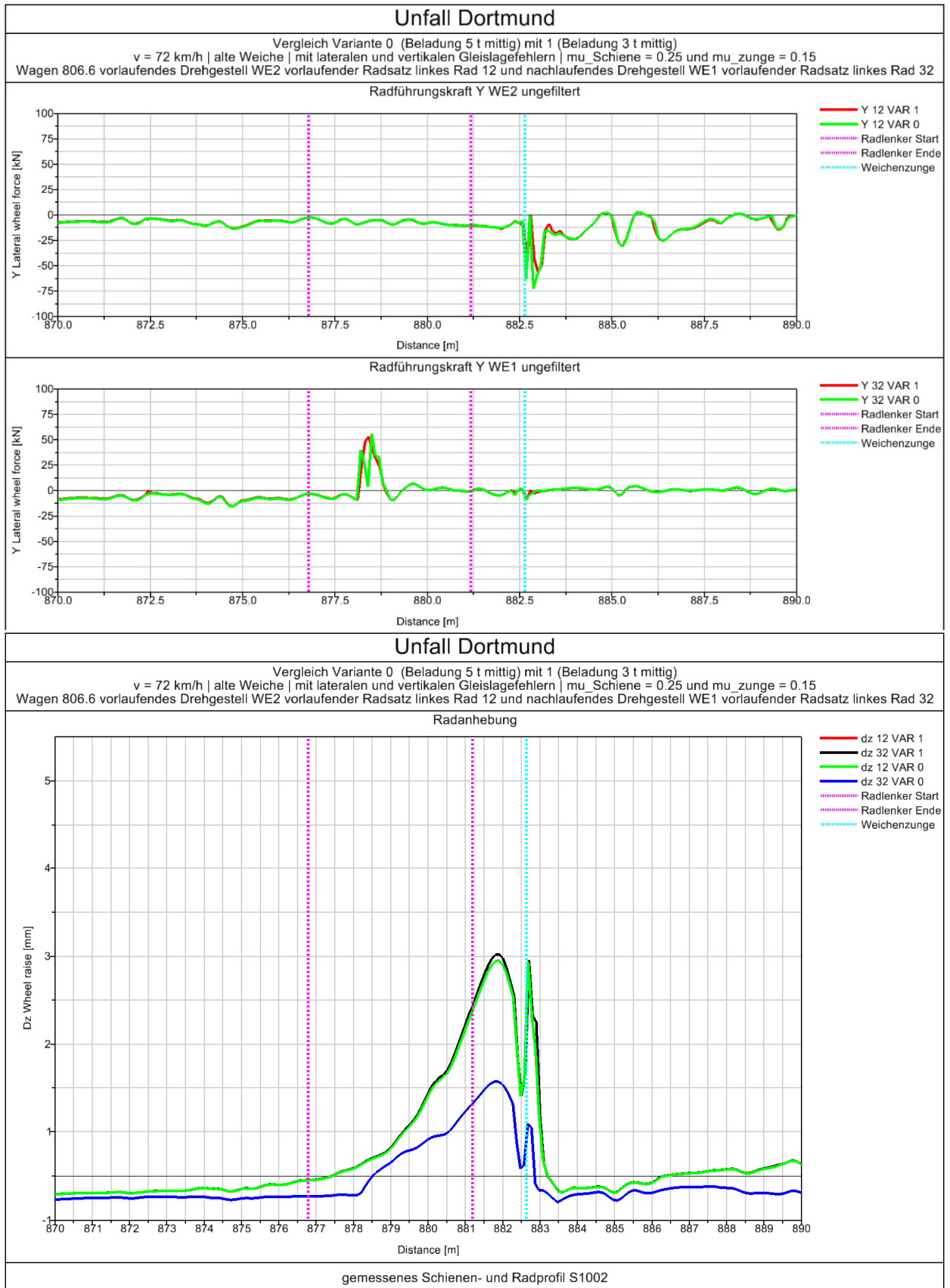
### Inhaltsverzeichnis

2.1	Variante 1 .....	2
2.2	Variante 2 .....	3
2.3	Variante 4 .....	5
2.4	Variante 6 .....	6
2.5	Variante 9 .....	8
2.6	Variante 10 und 17 .....	10
2.7	Variante 11 .....	11
2.9	Variante 14 .....	13
2.10	Variante 15 .....	14
2.11	Variante 16 .....	15
2.12	Variante 19 .....	16
2.13	Variante 20 .....	17
2.14	Variante 21 .....	18
2.15	Variante 23 .....	19
2.16	Variante 25 .....	21
2.17	Variante 26 .....	22



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 2 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.1 Variante 1

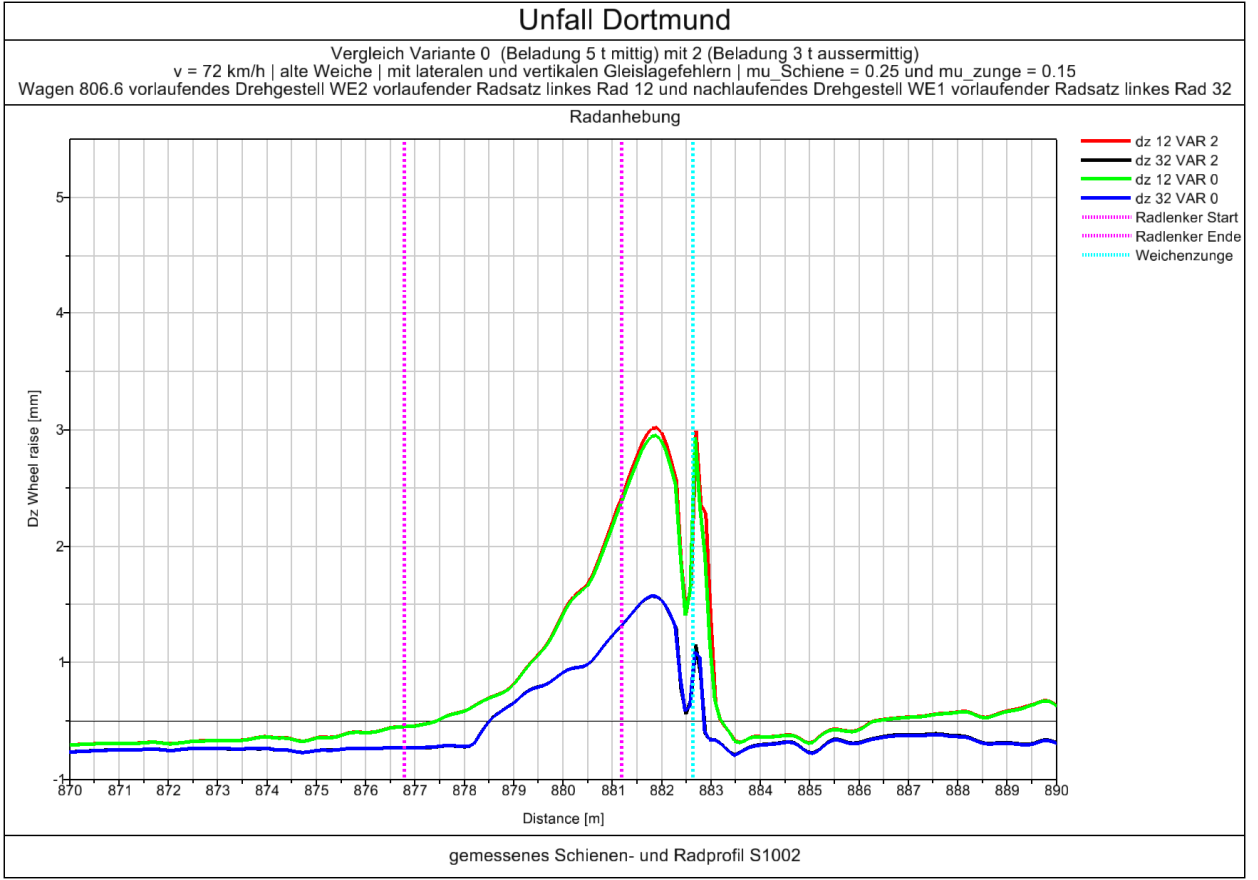


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 3 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.2 Variante 2

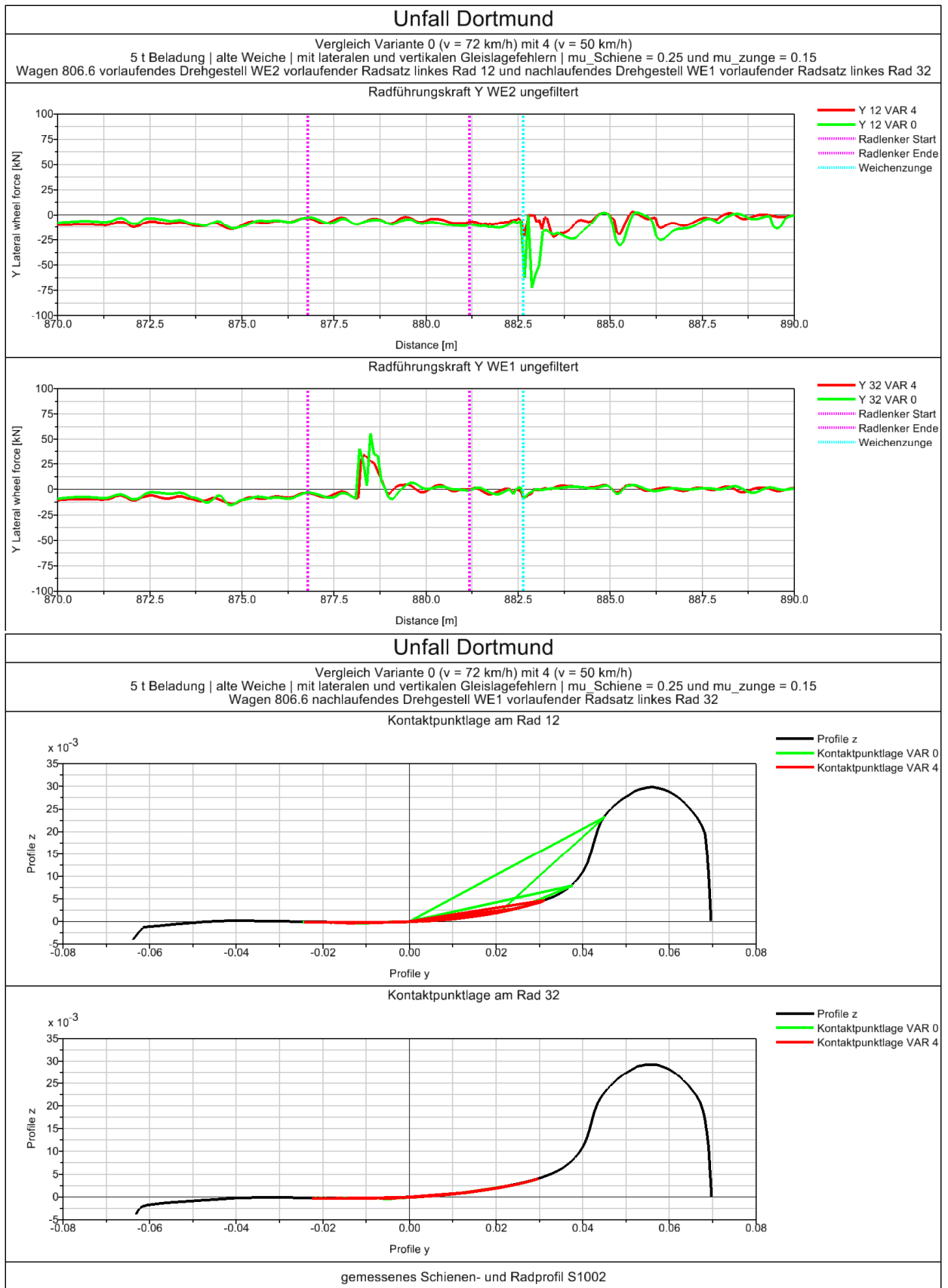


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 2</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Ergebnisse</b>	Seite: 4 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



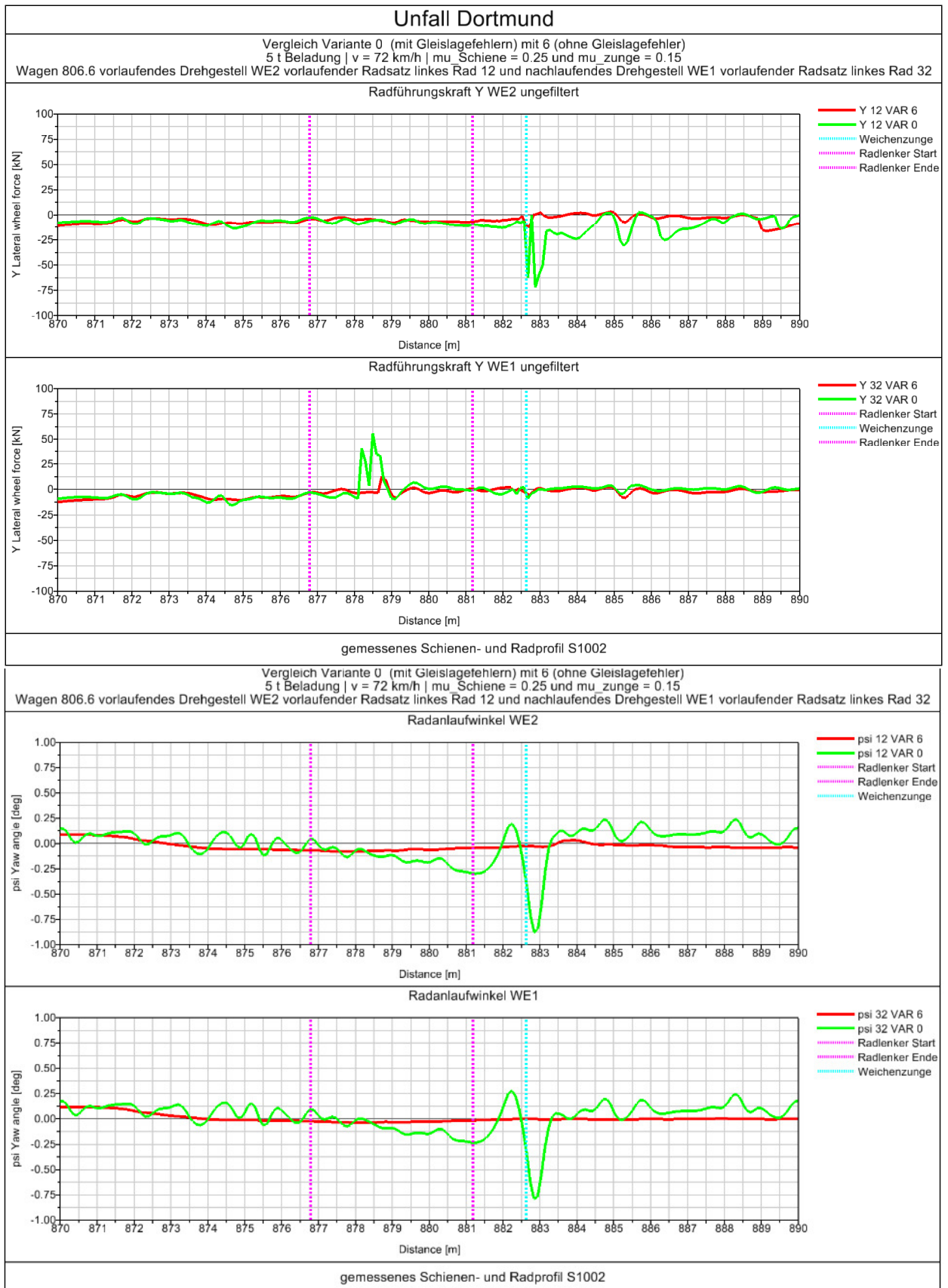
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 5 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.3 Variante 4

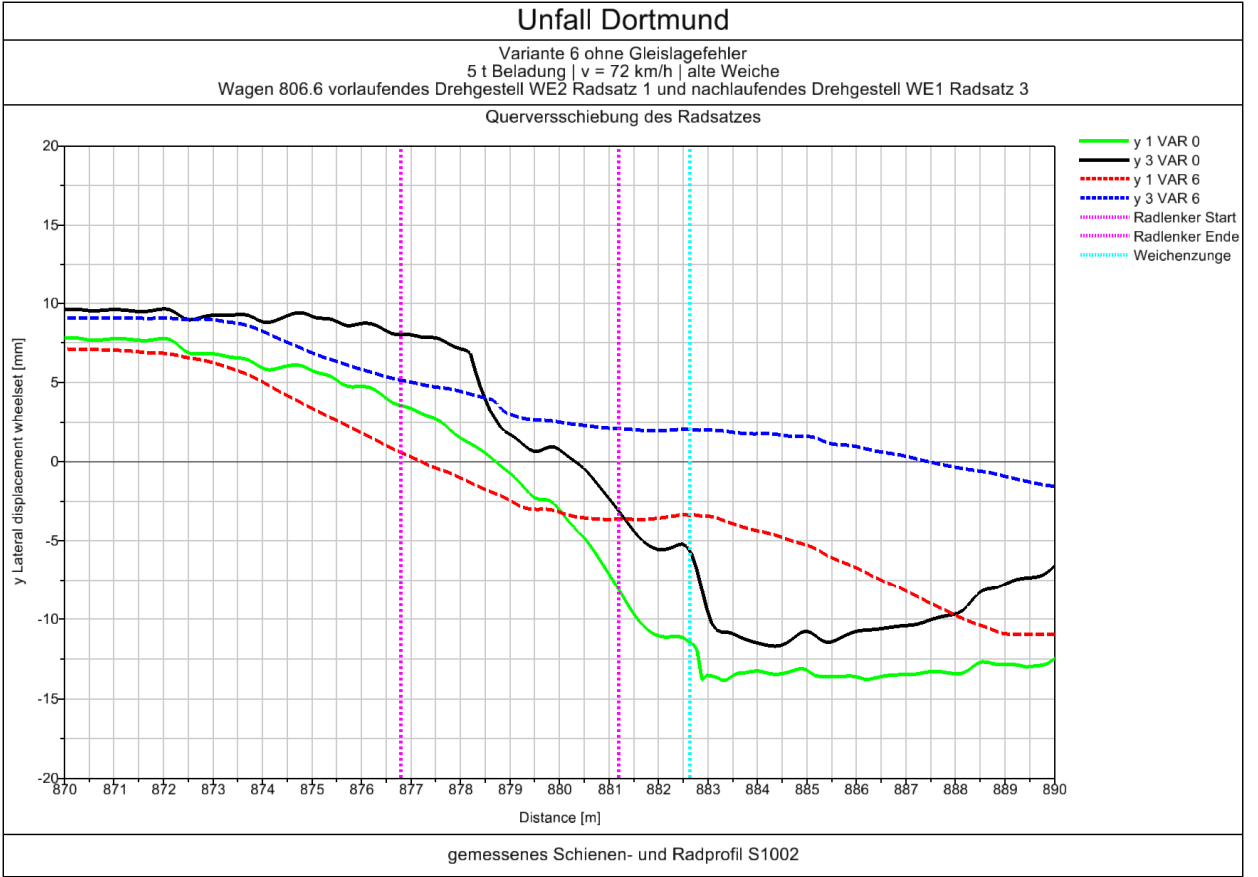


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 6 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.4 Variante 6



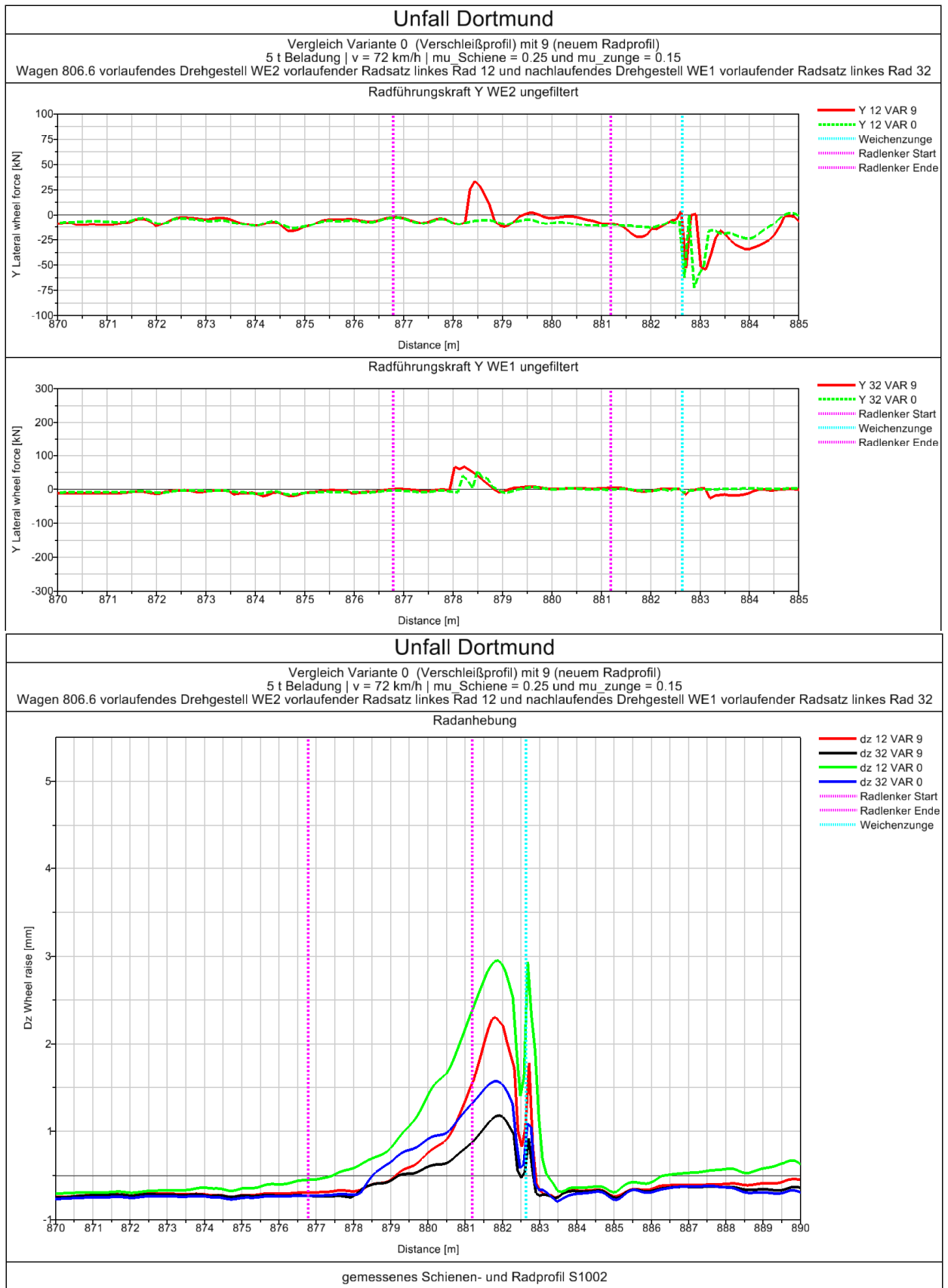
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 7 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



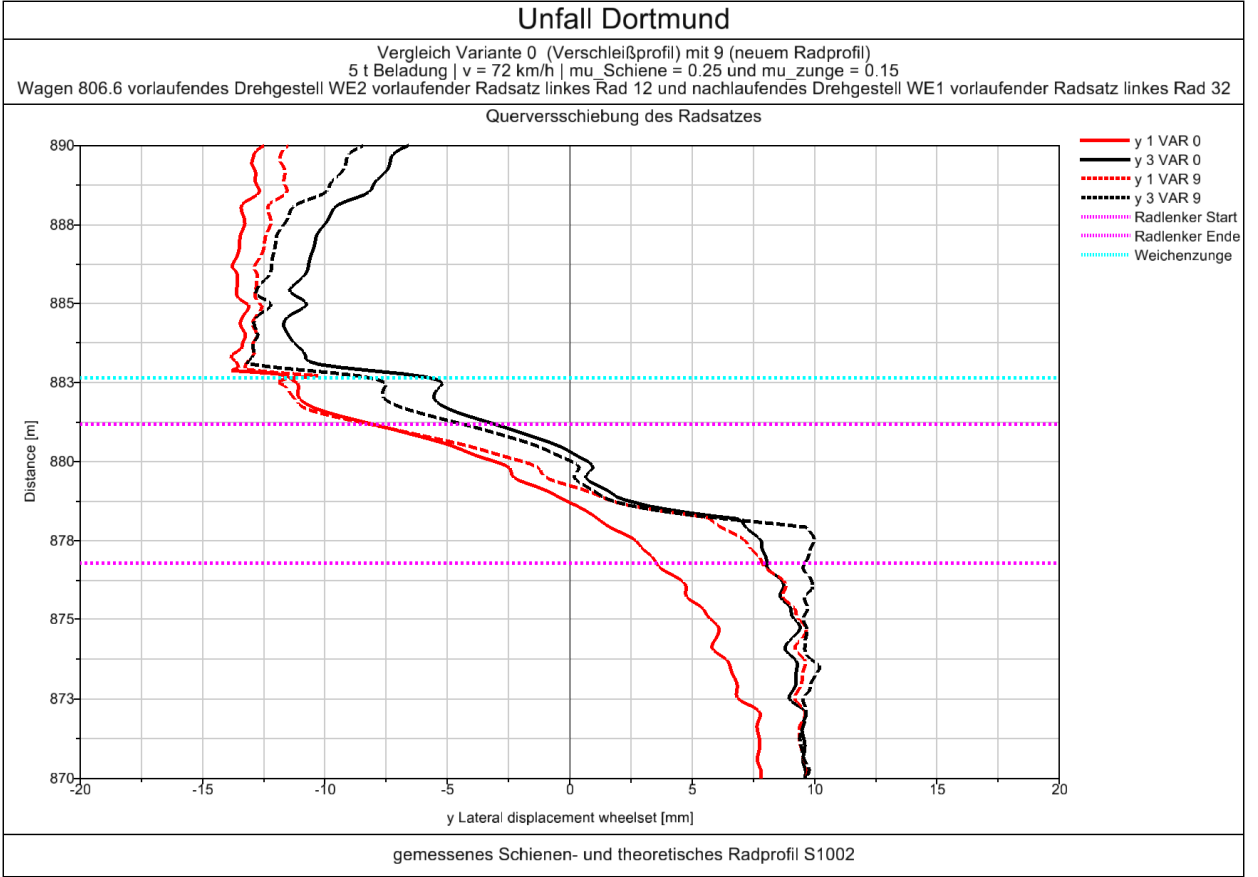
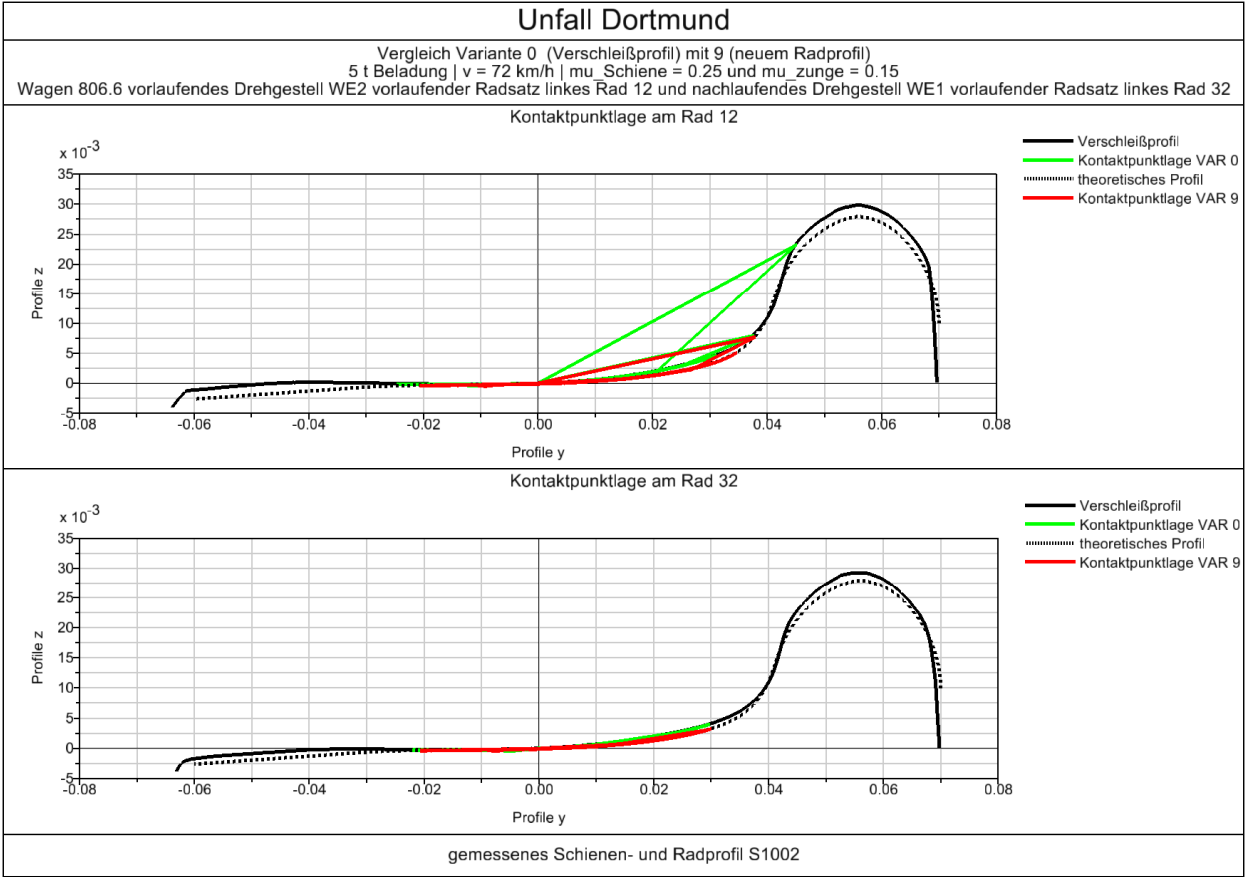


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 8 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.5 Variante 9

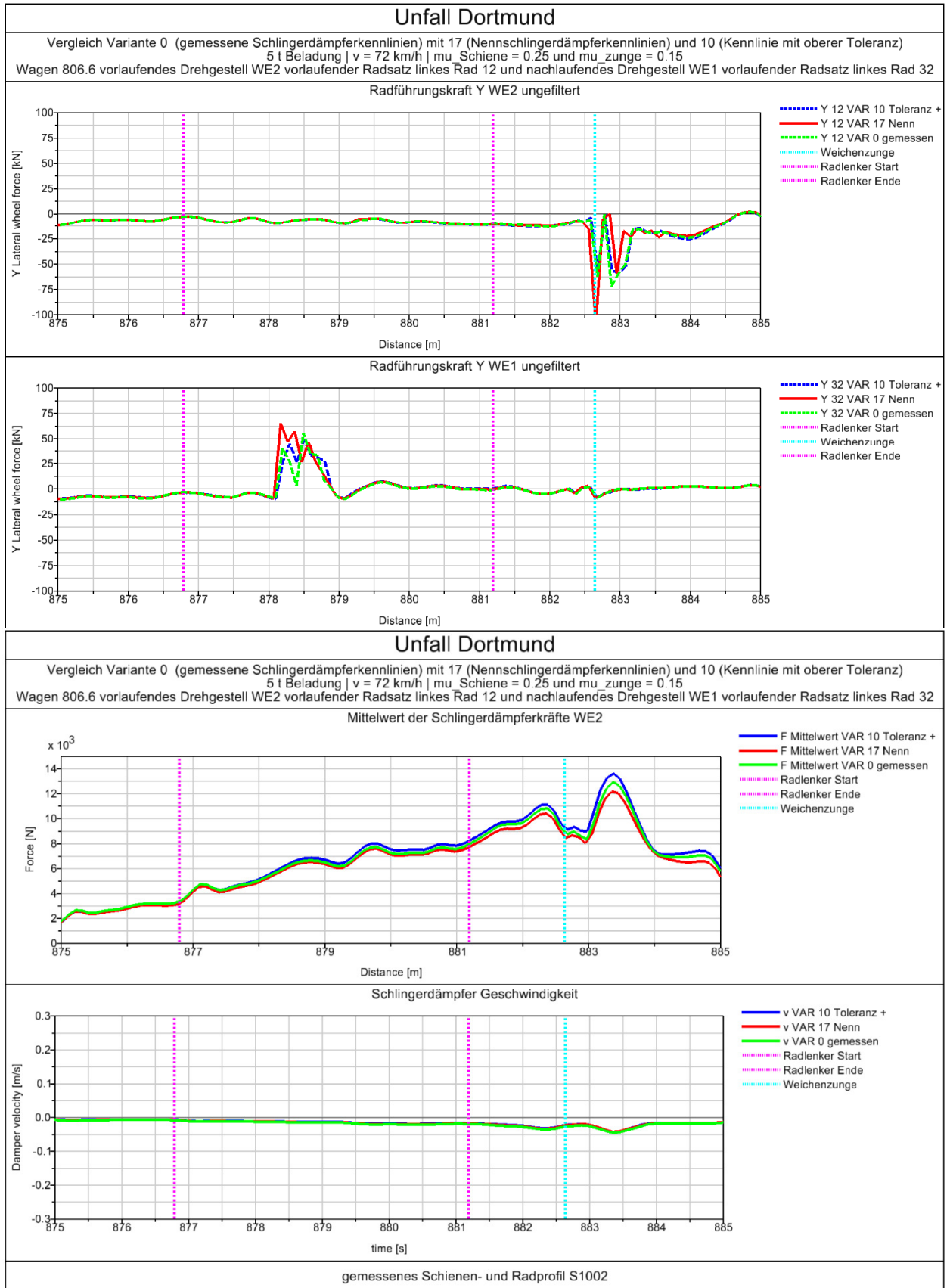


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	<b>Unfall Dortmund</b>	<b>Anlage: 2</b>
	<b>Mehrkörpersimulation ICE2</b> <b>Ergebnisse</b>	Seite: 9 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



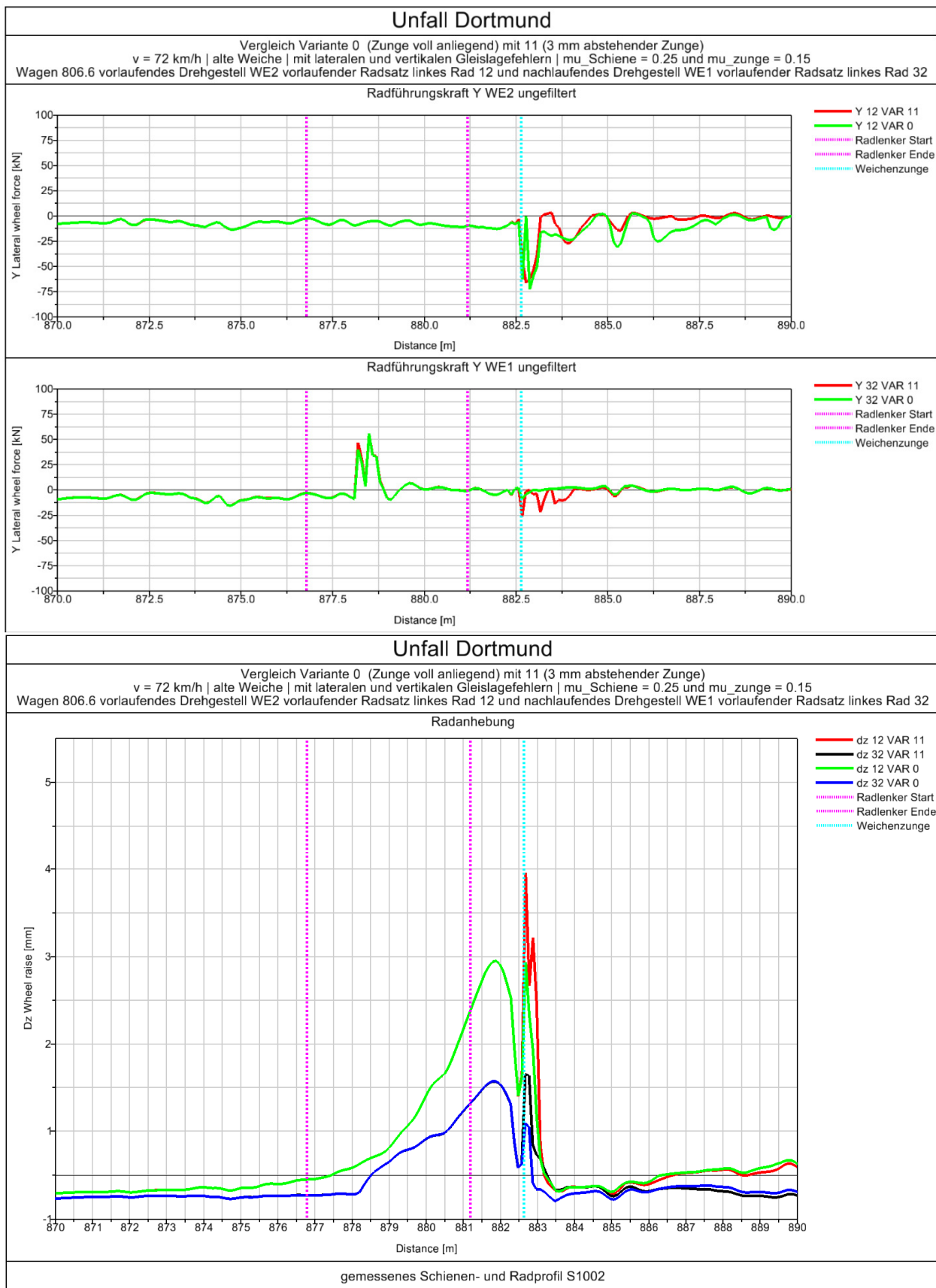
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 10 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.6 Variante 10 und 17

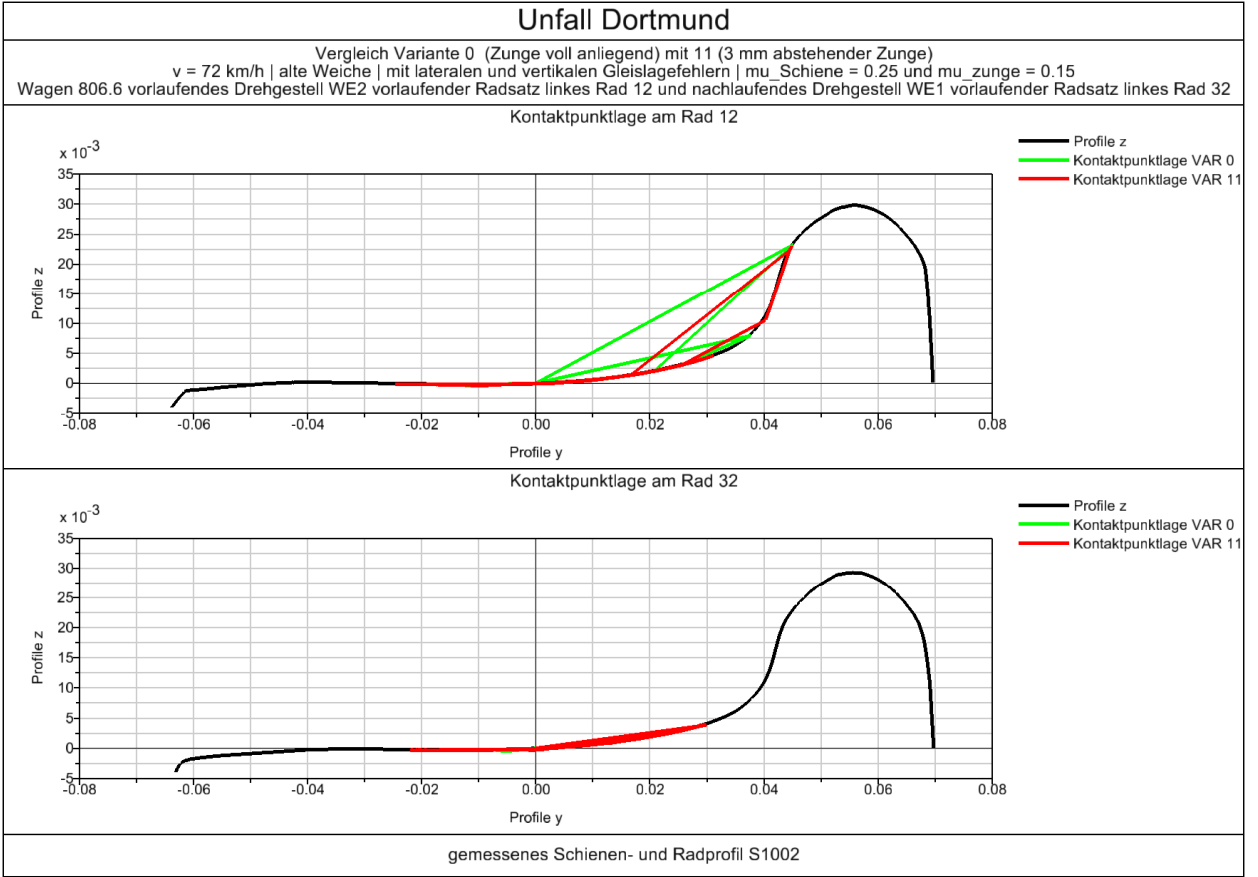


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 11 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.7 Variante 11

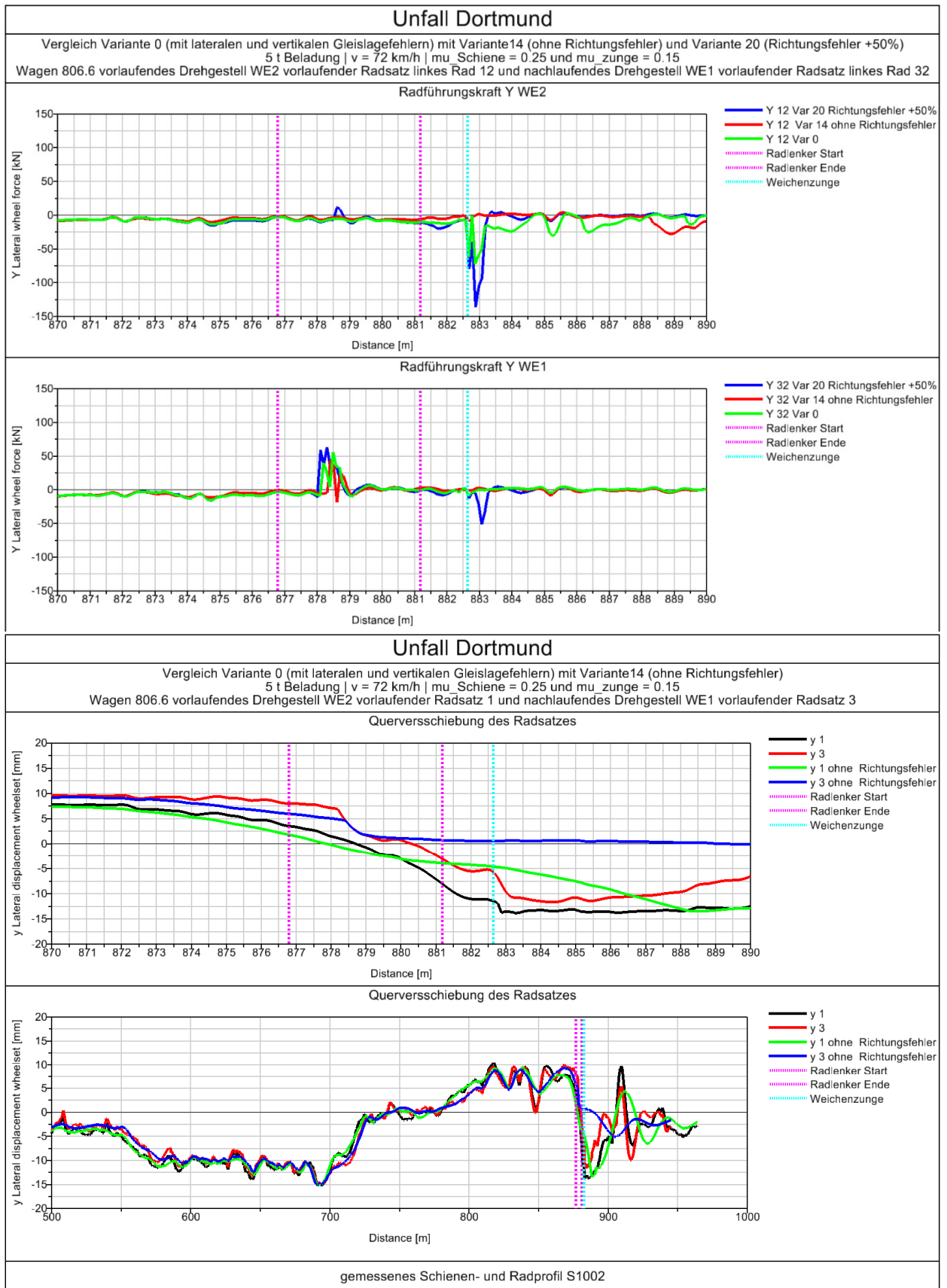


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 12 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 13 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

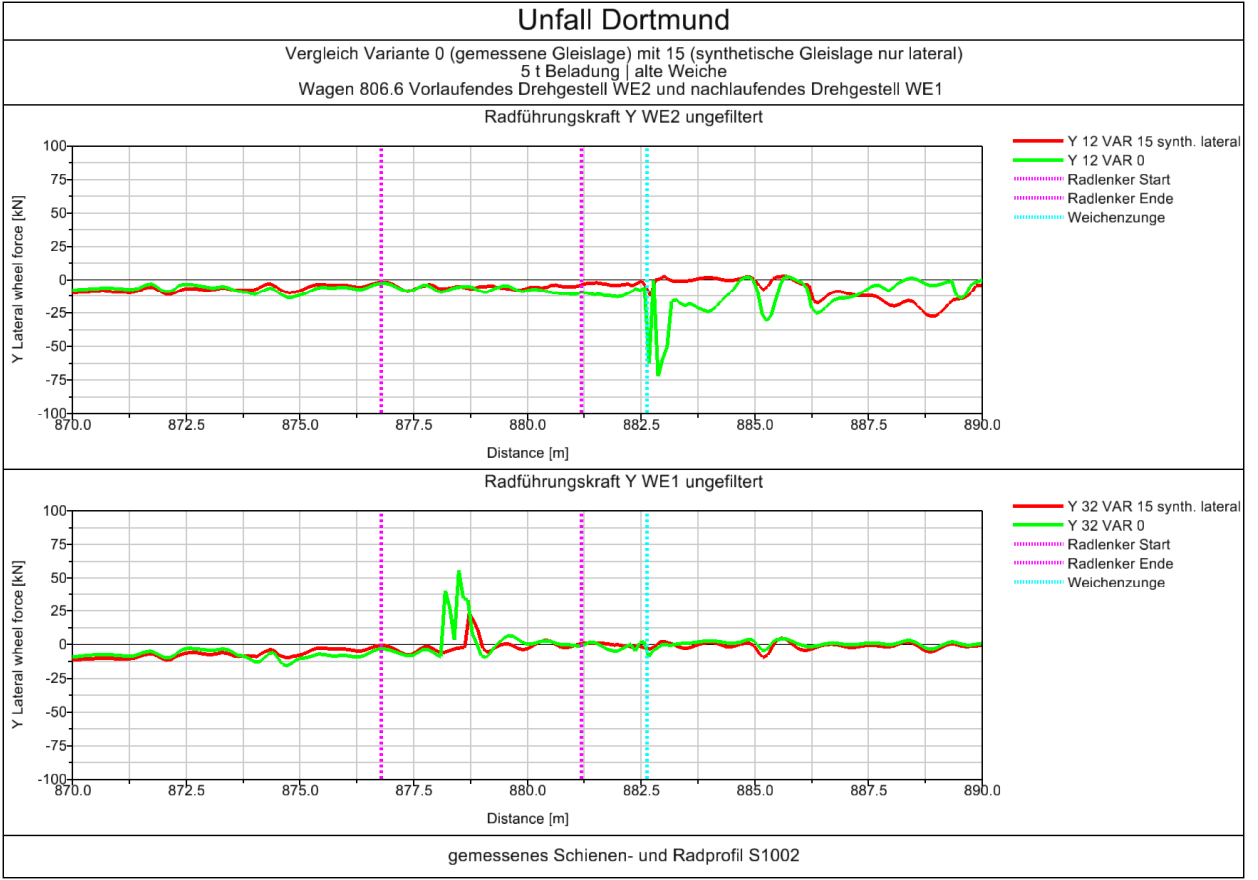
## 2.9 Variante 14





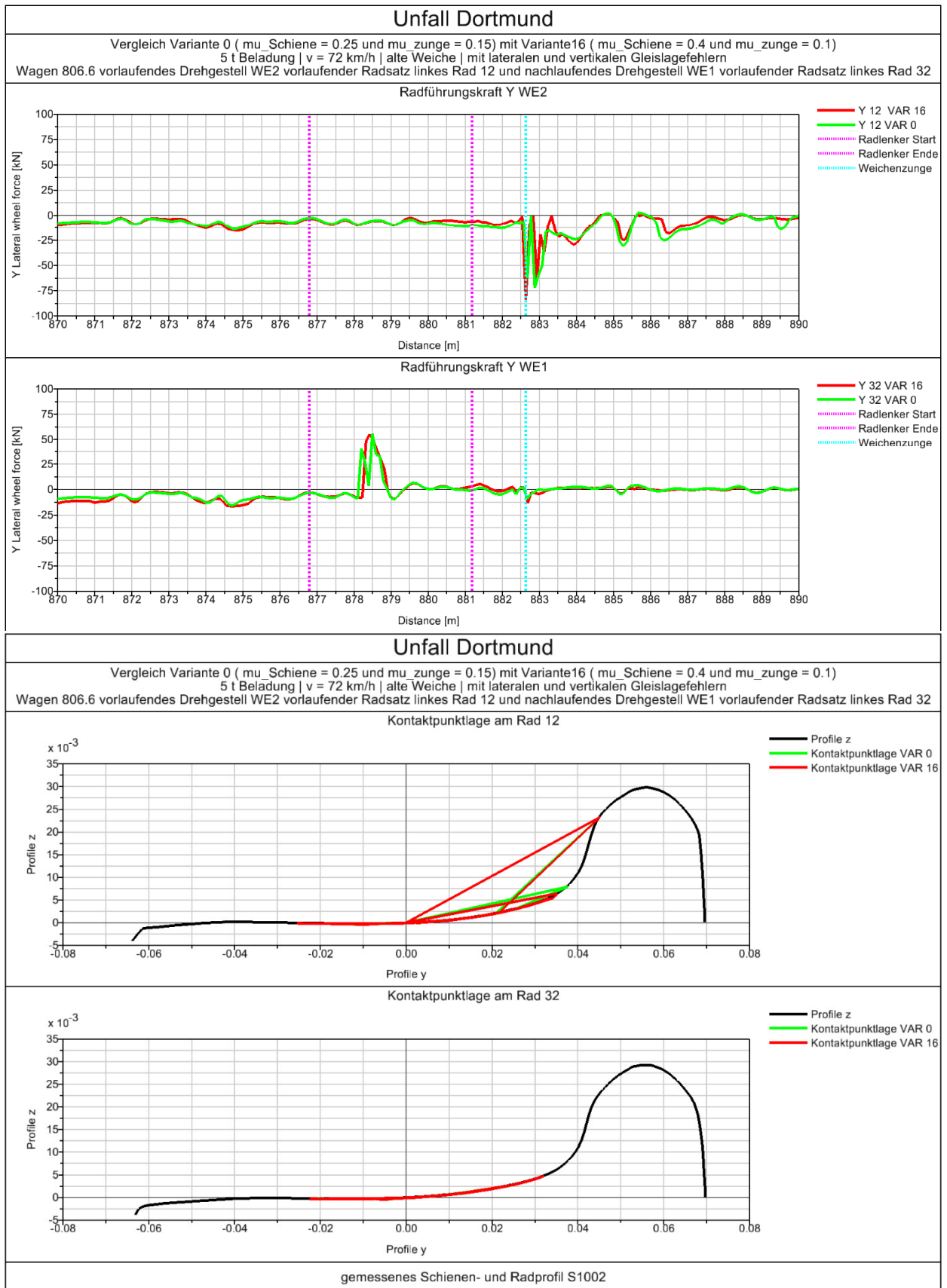
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 14 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23- UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.10 Variante 15



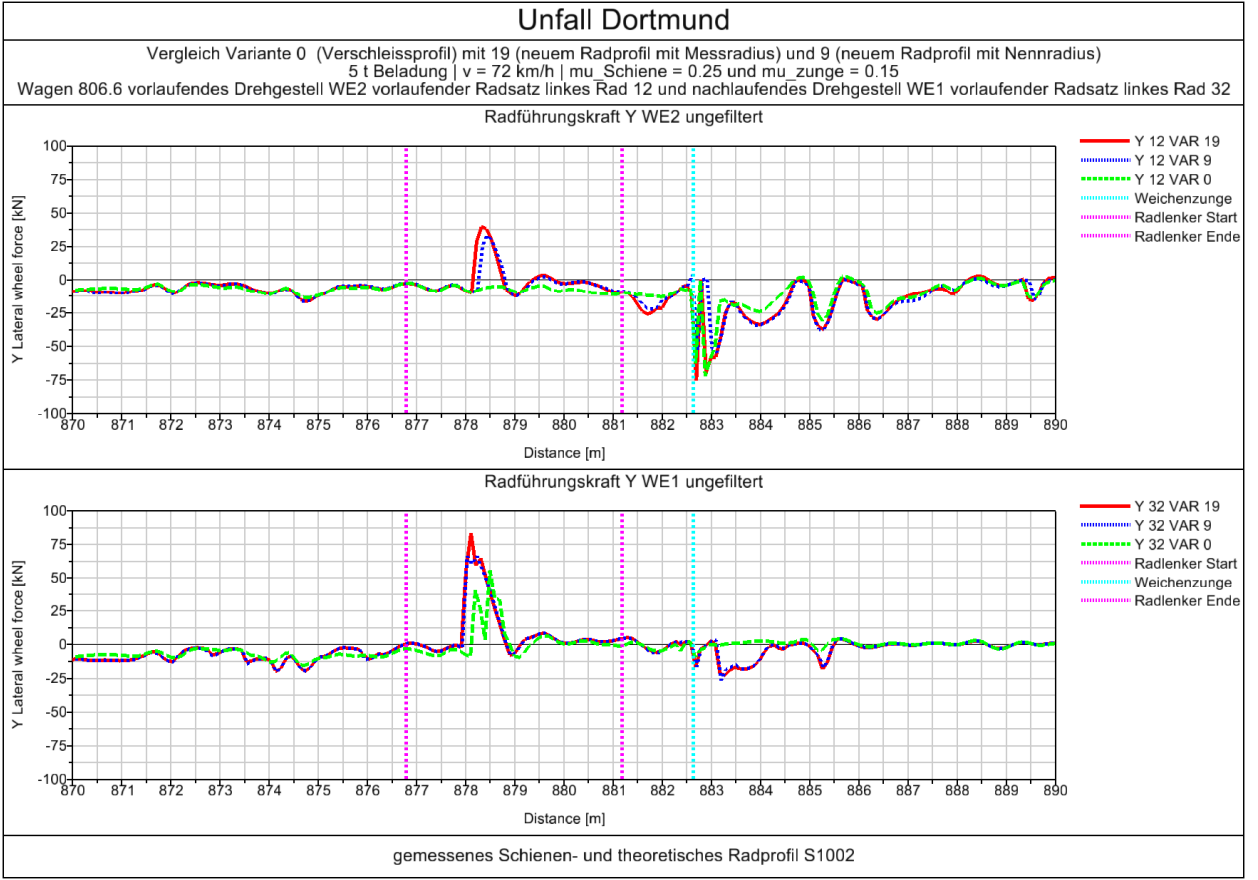
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 15 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.11 Variante 16



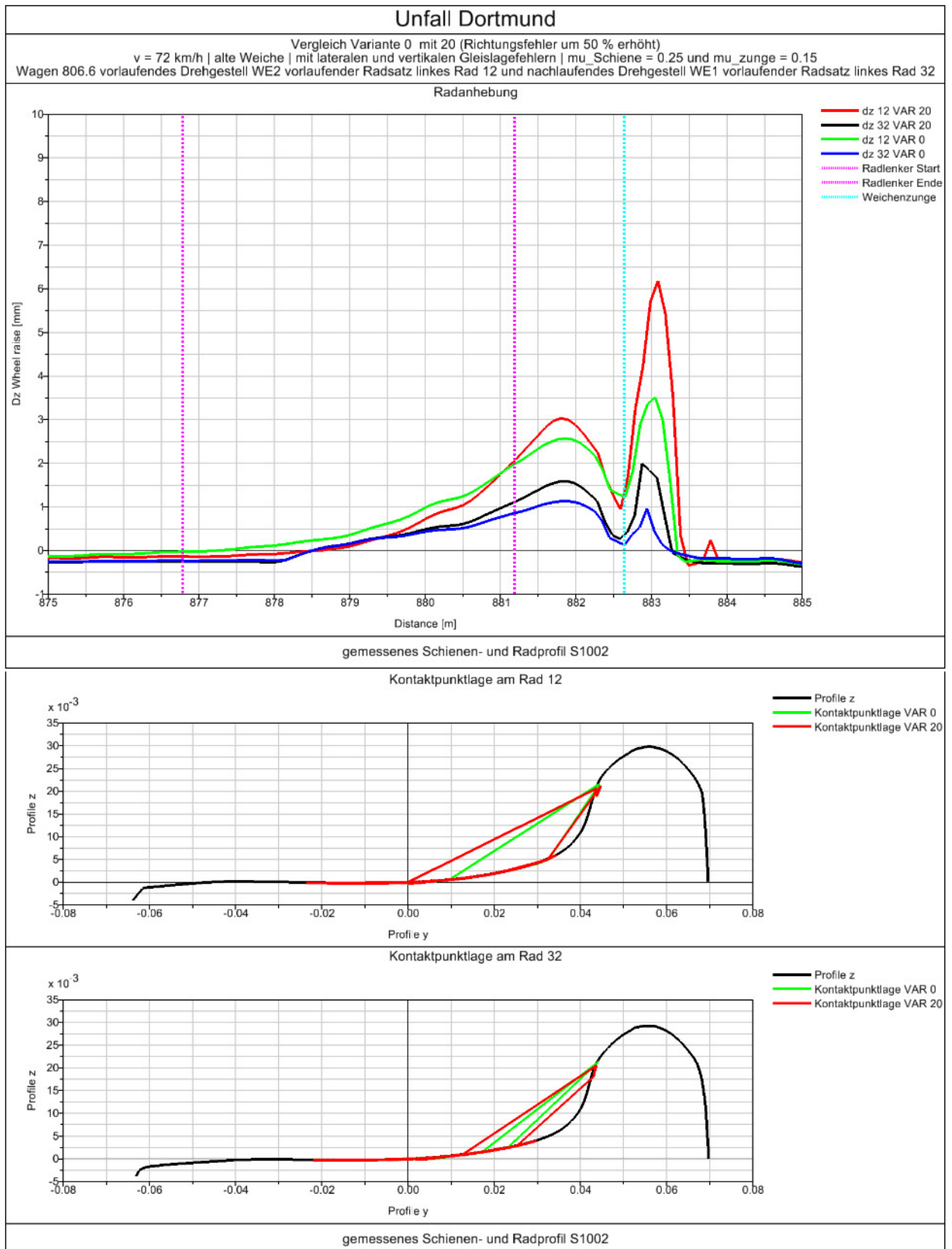
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 16 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.12 Variante 19



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 17 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

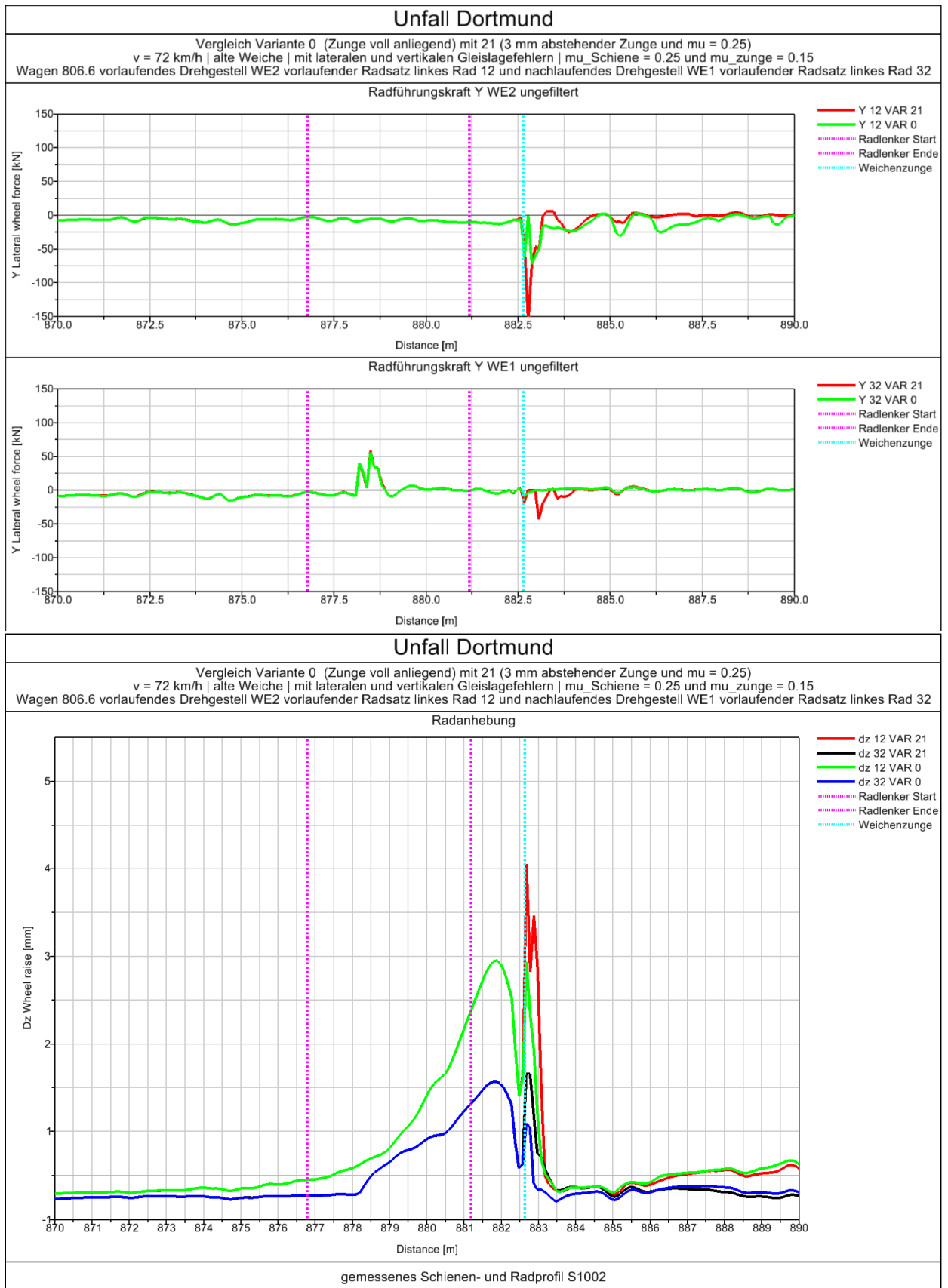
## 2.13 Variante 20 <sup>1</sup>



<sup>1</sup> siehe auch Kapitel 2.9

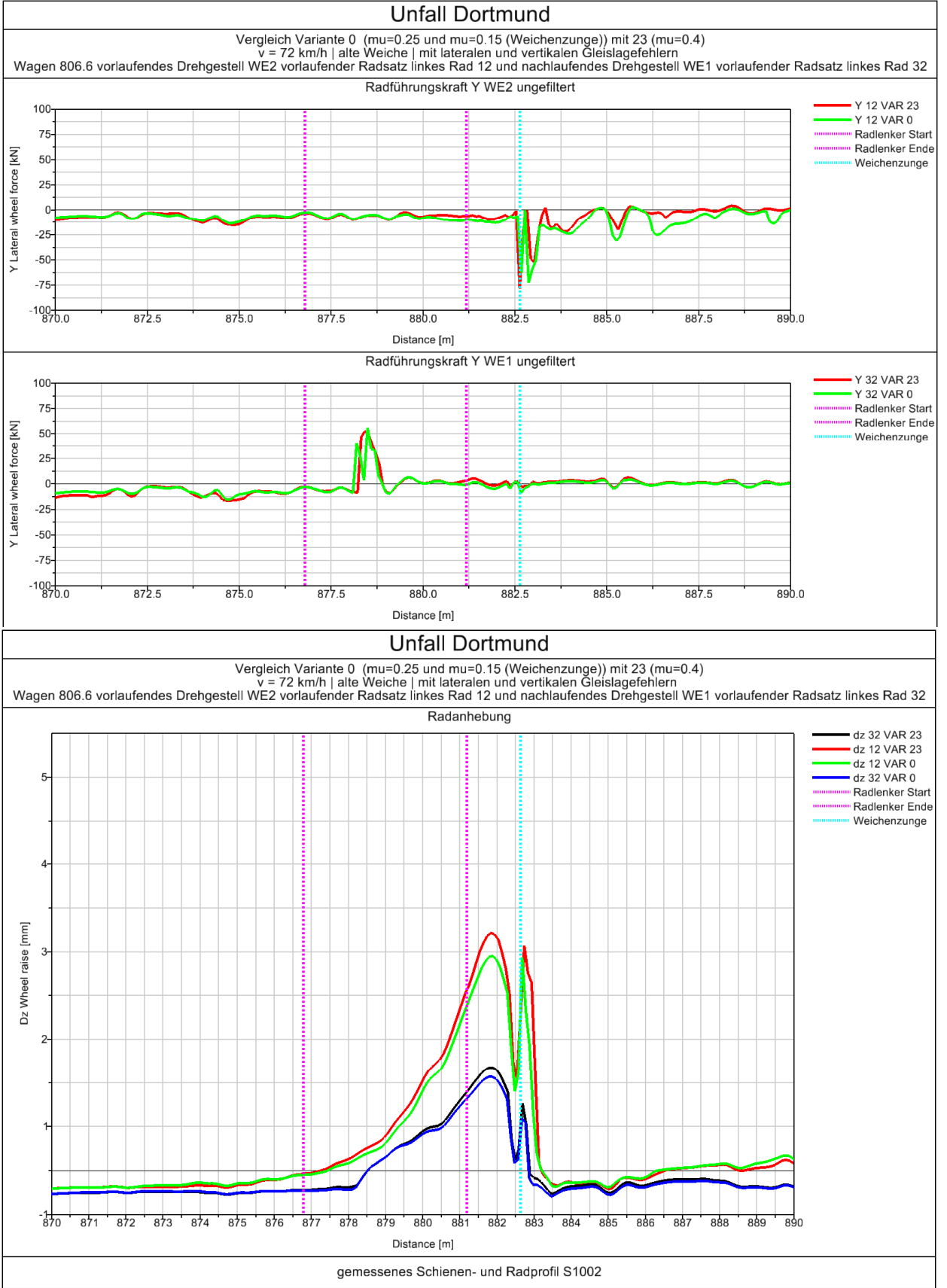
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 18 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.14 Variante 21



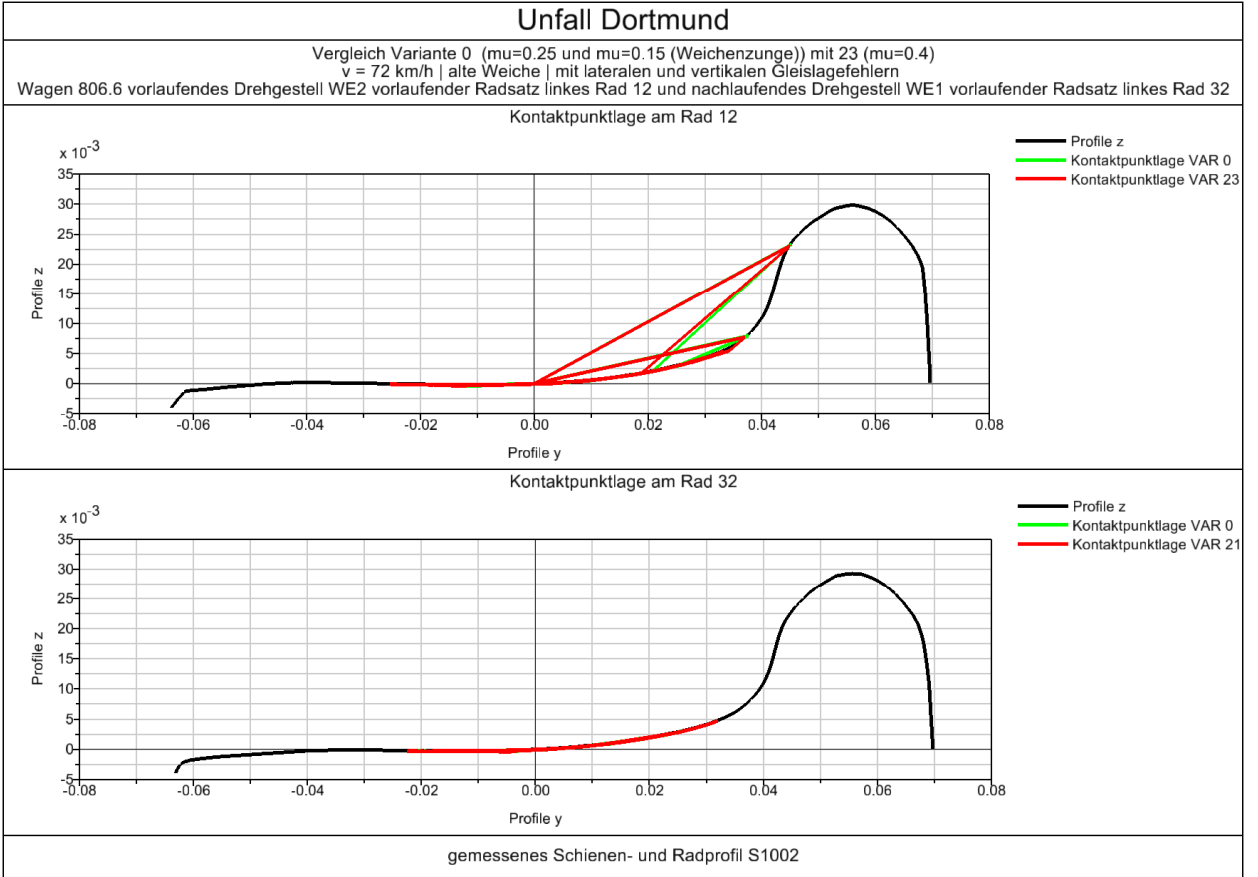
DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 19 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.15 Variante 23



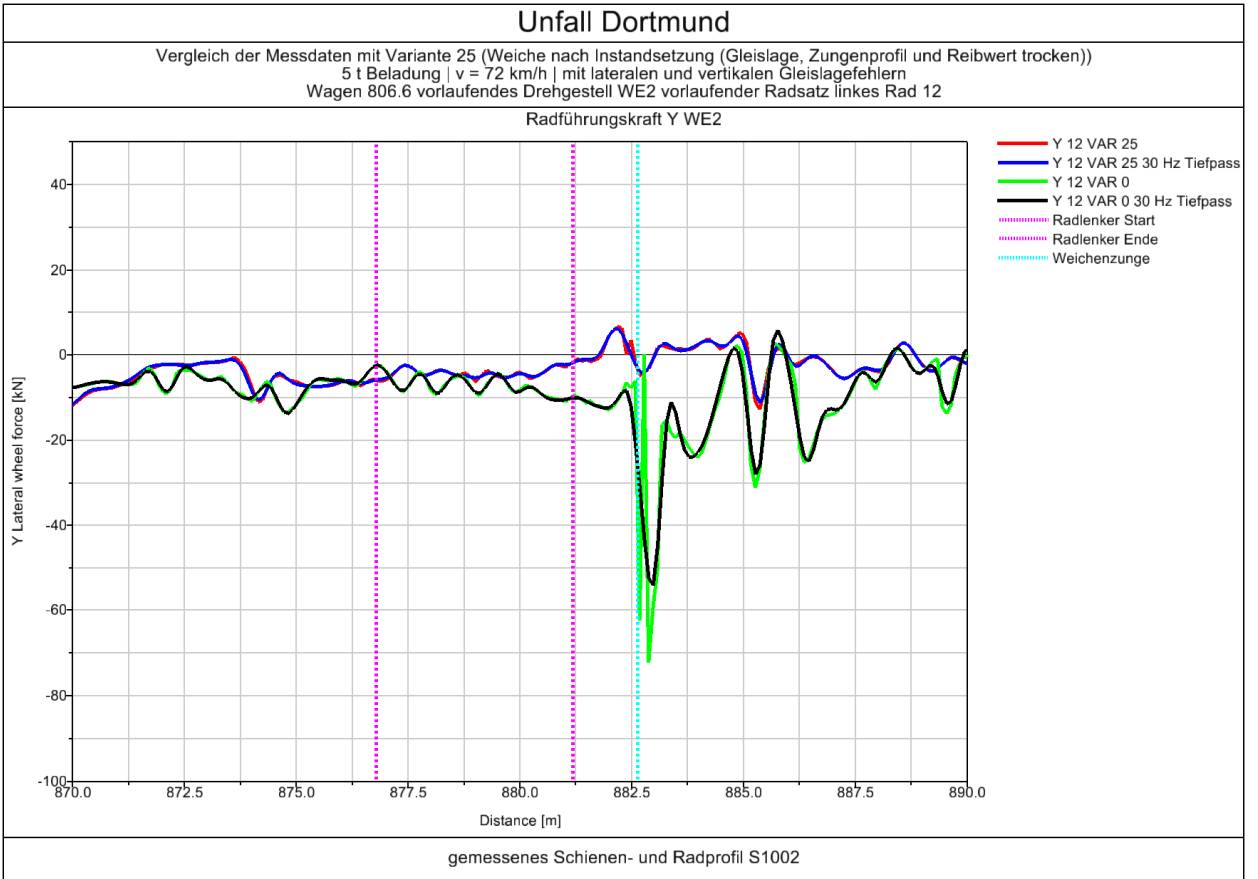


DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 20 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 21 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23-UN-0810_V02 Name: <span style="background-color: black; color: black;">XXXXXXXXXX</span>

## 2.16 Variante 25



DB Systemtechnik GmbH Prüfung Festigkeit I.T-IVP 23	Unfall Dortmund	Anlage: 2
	Mehrkörpersimulation ICE2 Ergebnisse	Seite: 22 von 22 Bericht: 17-53741-I.T-IVP23- UN-0810_V02 Name: [REDACTED]

## 2.17 Variante 26

