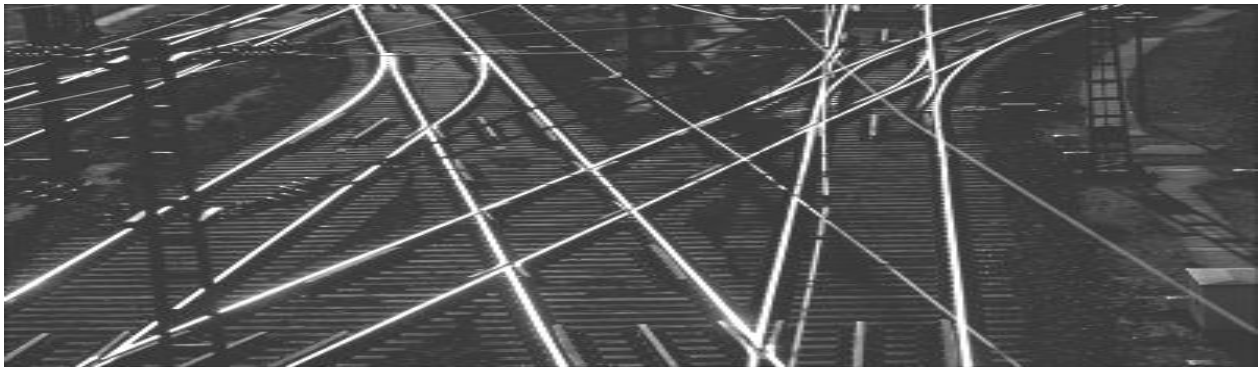




Untersuchungsbericht

Aktenzeichen: 60uu2013-06/200-3323

Stand: 08.11.2019 Version: 1.0



Gefährliches Ereignis im Eisenbahnbetrieb

Ereignisart:	Zugentgleisung
Datum:	29.06.2013
Zeit:	0:47 Uhr
Benachbarte Betriebsstellen:	Kayhauserfeld - Oldenburg Hbf
Streckennummer:	1520
Kilometer:	6,452

Veröffentlicht durch:

Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung

Heinemannstraße 6

53175 Bonn

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1 Zusammenfassung	8
1.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses	8
1.2 Folgen.....	8
1.3 Ursachen	8
2 Vorbemerkungen.....	8
2.1 Organisatorischer Hinweis	8
2.2 Ziel der Eisenbahn-Unfalluntersuchung	9
2.3 Mitwirkende	9
3 Ereignis.....	10
3.1 Hergang	10
3.2 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden	11
3.3 Wetterbedingungen.....	11
4 Untersuchungsprotokoll.....	11
4.1 Zusammenfassung von Aussagen	11
4.1.1 Stellungnahme des Triebfahrzeugführers	11
4.1.2 Stellungnahme der Örtlich zuständigen Fahrdienstleiterin (ÖZF-in).....	12
4.1.3 Stellungnahme der ÖZF-in (nachfolgende Schicht)	12
4.2 Notfallmanagement	12
4.3 Untersuchung der Infrastruktur	12
4.3.1 Beschreibung der Entgleisungsstelle	13
4.3.2 Inspektionen gemäß Konzernrichtlinie Ril 821 -Oberbau inspizieren-.....	15
4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik.....	22
4.5 Untersuchung der betrieblichen Handlungen	22
4.5.1 Betriebliche Handlungen des Tf	22
4.5.2 Betriebliche Handlungen der Fdl	24

4.6	Untersuchung von Fahrzeugen	25
4.7	Simulationen zum Entgleisungsvorgang	29
4.8	Interpretation der Unfallspuren.....	31
5	Auswertung und Schlussfolgerungen.....	31
5.1	Betrieb	31
5.2	Fahrzeug.....	32
5.3	Infrastruktur.....	32
6	Bisher getroffene Maßnahmen.....	35

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Lageplan mit Entgleisungsbereich	11
Abb. 2: Blick auf die Entgleisungsstelle	13
Abb. 3: Detailansicht der ersten Entgleisungsspuren	14
Abb. 4: periodische Gleislagefehler	14
Abb. 5: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 28.06.2013	16
Abb. 6: Messschrieb vom 28.06.2013	17
Abb. 7: Entwicklung der Gleislagefehler am BÜ in km 6,466	18
Abb. 8: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 27.04.2012	19
Abb. 9: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 04.06.2013	20
Abb. 10: Grafische Auswertung der EFR-Daten	23
Abb. 11: Rotorblatttransport auf Wagen der Bauart Uiks 635	25
Abb. 12: Wagenskizzen Uiks 635	26
Abb. 13: Schäden am entgleisten Radsatz 1	27
Abb. 14: Vorderer Radsatz, Entgleisungsspuren am rechten Rad	28
Abb. 15: In SIMPACK modelliertes Einzelfahrzeug Uiks 635	29
Abb. 16: Sicherheitsempfehlung zur Zugentgleisung in Gröbers	34
Abb. 17: Sicherheitsempfehlung zur Zugentgleisung in Lorch (Rhein)	35
Abb. 18: Auszug aus der TM 1-2017-10135 I.NPF 1	36
Abb. 19: Auszug aus der Fachtechnischen Stellungnahme der DB Netz AG	37

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
ALV	Anlagenverantwortlicher
Asig	Ausfahrtsignal
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BPol	Bundespolizei
BÜ	Bahnübergang
BZ	Betriebszentrale
DSK	Datenspeicherkassette
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBL	Eisenbahnbetriebsleiter
EBO	Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung
EFR	Elektronische Fahrtenregistrierung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ERA	Europäische Eisenbahn Agentur
ESO	Eisenbahnsignalordnung
EUB	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
EUV	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EVZS	für die Entstörungsveranlassung zuständigen Stelle
Fb	Fahrbahn
Fdl	Fahrdienstleiter
HG	Höchstgeschwindigkeit
LST	Leit- und Sicherungstechnik
NBez	Netzbezirk
NE	Nichtbundeseigene Eisenbahn
Nmg	Notfallmanager

özF	Örtlich zuständiger Fahrdienstleiter
Ril	Richtlinie
SB	Sicherheitsbehörde
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
Tf	Triebfahrzeugführer
Tfz	Triebfahrzeug
VzG	Verzeichnis örtlich zulässiger Geschwindigkeiten

1 Zusammenfassung

1.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses

Am 29.06.2013 gegen 0:47 Uhr entgleiste ein Wagen des DGS 83799 des Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU) „Eisenbahngesellschaft Ostfriesland – Oldenburg mbH (e.g.o.o.)“ während der Fahrt von Abelitz nach Magdeburg-Rothensee, auf der Strecke 1520 in km 6,452, zwischen Kayhauserfeld und Oldenburg, kurz hinter dem Bahnübergang (BÜ) „Försterweg“.

1.2 Folgen

Personenschäden sind nicht zu beklagen. In Folge der Entgleisung entstanden Schäden an der Infrastruktur, insbesondere am Oberbau und den Gleisschaltmitteln. Am entgleisten Wagen wurden der hintere Radsatz sowie dessen Achslager beschädigt.

1.3 Ursachen

Ursächlich für die Entgleisung waren phasengleiche, sich periodisch wiederholende Gleislagefehler im Bereich des BÜ. Eisenbahnfahrzeuge, die diesen Gleisbereich überfahren, werden dadurch individuell zu höheren Schwingungen angeregt. Bei Übereinstimmung der Anregungsfrequenz mit der Hubeigenfrequenz eines Fahrzeuges können die vertikalen Kräfte infolge der auftretenden Resonanz so groß werden, dass mindestens ein Rad entlastet wird, es abhebt, und der Radsatz dadurch entgleist.

2 Vorbemerkungen

2.1 Organisatorischer Hinweis

Mit der Richtlinie 2004/49/EG, bzw. der nachfolgenden Richtlinie (EU) 2016/798, über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft (Eisenbahnsicherheitsrichtlinie) und des Rates, wurden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union verpflichtet, unabhängige Untersuchungsstellen für die Untersuchung bestimmter gefährlicher Ereignisse einzurichten.

Die Richtlinie wurde mit dem 5. Gesetz zur Änderung eisenbahnrechtlicher Vorschriften vom 16.04.2007 umgesetzt und die Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes (EUB) eingerichtet.

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 wurde die EUB, bestehend aus der Leitung der EUB im Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und der Untersuchungszentrale der EUB im Eisenbahn-Bundesamt (EBA), 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 der Errichtung 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 zu finden.

2.2 Ziel der Eisenbahn-Unfalluntersuchung

Ziel und Zweck der Untersuchungen ist es, die Ursachen von gefährlichen Ereignissen aufzuklären und hieraus Hinweise zur Verbesserung der Sicherheit abzuleiten. Untersuchungen der EUB 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 gegebenenfalls 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 anderen Mitgliedstaaten der EU in Form von Sicherheitsempfehlungen mitgeteilt.

2.3 Mitwirkende

An dem Ereignis waren folgende Eisenbahnunternehmen beteiligt:

- DB Netz AG als Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)

- Eisenbahngesellschaft Ostfriesland – Oldenburg mbH (e.g.o.o) als EVU

An der Untersuchung wurde die Firma SIMTES aus Bielefeld beteiligt.

3 Ereignis

3.1 Hergang

Am 29.06.2013 befuhr DGS 83799, bestehend aus einem Triebfahrzeug und 23 Güterwagen, auf der Fahrt von Abelitz nach Magdeburg-Rothensee die Strecke 1520 (Oldenburg – Leer).

Nur wenige Meter nachdem der Zug den BU „Försterweg“ passiert hatte, entgleiste im km 6,452 der an 17. Stelle laufende Wagen mit einem Radsatz zur linken Gleisseite. Da der Triebfahrzeugführer (Tf) die Entgleisung nicht bemerkt hatte, wurde die Fahrt des Zuges fortgesetzt. Beim Befahren des nachfolgenden BÜ in km 5,762 lief der entgleiste Radsatz auf die rechte Gleisseite über. Auch hier wurde die Fahrt im entgleisten Zustand weiter fortgesetzt. Auf dem folgenden BÜ in km 4,010 kam es dann zur selbständigen Eingleisung des Radsatzes. Durch den auf mehrere Kilometer entgleisten Radsatz wurden der Oberbau und Schaltmittel am Gleis beschädigt oder zerstört, was zu betrieblichen Störmeldungen beim Fdl Oldenburg führte. Offensichtlich sind zwischenzeitlich mehrere Stunden vergangen bis die in Oldenburg aufgetretenen Störmeldungen als Folgeschäden einer Entgleisung identifiziert und dem DGS 83799 zugeordnet werden konnten. Nur so erklärt sich, dass erst gegen 06:30 Uhr der Zug ca. 15 km südlich von Stendal im Bf Tangerhütte zur Überprüfung gestellt wurde. Hierbei wurde der Zug jedoch nicht vollständig untersucht, da die Untersuchung am vierten Wagen abgebrochen wurde. Dadurch konnten die infolge der Entgleisungen entstandenen Schäden am 17. Wagen nicht festgestellt werden. Gegen 7:48 Uhr fuhr der Zug in Tangerhütte weiter. Eine vollständige Untersuchung des Zuges wurde erst nach der Ankunft im Bf Magdeburg-Rothensee durchgeführt. Hierbei wurde festgestellt, dass der an 17. Stelle hinter dem Triebfahrzeug (Tfz) laufende, unbeladene Güterwagen der Gattung Uiks an dem in Fahrtrichtung ersten Radsatz Entgleisungsschäden aufwies.

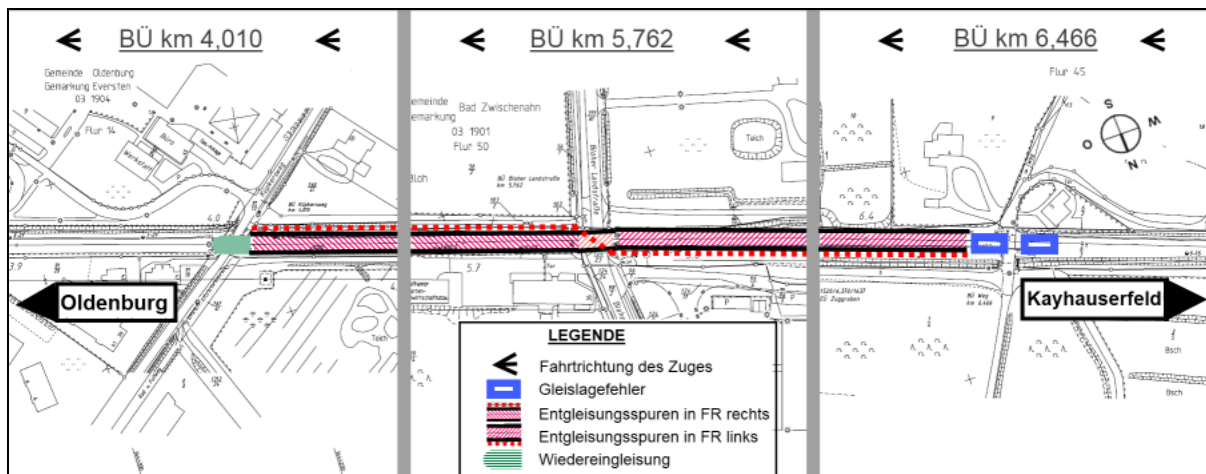


Abb. 1: Lageplan mit Entgleisungsbereich

Quelle: IVL-Plan DB Netz AG bearbeitet durch BEU

3.2 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden

Todesopfer oder Verletzte sind keine zu beklagen. Die geschätzte Gesamthöhe der entstandenen Sachschäden beträgt ca. 972.000 €.

3.3 Wetterbedingungen

Zum Zeitpunkt des Ereignisses war es regnerisch, bei Temperaturen um 13°C.

4 Untersuchungsprotokoll

4.1 Zusammenfassung von Aussagen

4.1.1 Stellungnahme des Triebfahrzeugführers

Der Tf des DGS 83799 gab an, er könne in Bezug auf die Entgleisung nichts äußern, da er davon nichts bemerkt habe. Erst in Magdeburg-Rothensee habe der Schaden in Anwesenheit der Bundespolizei erkannt und mit der Entgleisung in Zusammenhang gebracht werden können. Zuvor habe es eine Nachfrage des Fahrdienstleiters (Fdl) in Oldenburg gegeben. Er sei sinngemäß gefragt worden, nachdem er am Ausfahrtsignal (Asig) zum Stillstand gebracht worden war, ob er richtig drin sei, was er bejaht habe. Darauf hin habe ihn der Fdl gefragt, ob er vollständig drin sei. Er habe sinngemäß geantwortet, dass er dann wohl eine Zugtrennung haben müsste und schon früher gestanden hätte. Der Fdl habe geantwortet, dass das wohl richtig sei und dass er dann wohl eine Blockstörung haben müsste. Darauf hin habe ihm der Fdl das Signal zur Ausfahrt gegeben. In Tangerhütte sei er dann mit seinem Zug gestellt und aufgefordert worden, seinen Zug zu überprüfen. Nach der Überprüfung des an

vierter Stelle laufenden Wagens sei zur Lok zurückgegangen, um eine Richtlinie (Ril) zu holen. Auf der Lok habe er dann aber einem Anruf von der Betriebszentrale (BZ) Leipzig bekommen, dass er in Tangerhütte schlecht stehe und besser nach Magdeburg-Rothensee weiterfahren solle, wo ihn auch schon die Beamten der Bundespolizei erwarten würden. Dies habe er auch getan. Der weitere Verlauf sei aus den Unterlagen der Bundespolizei bekannt.

4.1.2 Stellungnahme der Örtlich zuständigen Fahrdienstleiterin (ÖzF-in)

Die ÖzF-in Stendal gab gegenüber ihrem Arbeitgeber an, der Tf habe seinen Zug in Tangerhütte untersuchen sollen. Sie habe den Zug in Gleis 2 des Bf Tangerhütte gestellt. Den Sachverhalt habe sie dem ablösenden ÖzF übergeben.

4.1.3 Stellungnahme der ÖzF-in (nachfolgende Schicht)

Die ÖzF-in Stendal gab gegenüber ihrem Arbeitgeber an, dass DGS 83799 bei ihrem Dienstbeginn schon im Bf Tangerhütte gestanden habe. Während dieses Haltes sei der Zug durch den Tf untersucht worden. Durch den Tf sei die Fertigmeldung an die BZ Leipzig gemeldet worden und nach Rückfrage des Bereichsdisponenten der BZ Berlin sei die Ausfahrt des Zuges in Richtung Magdeburg erfolgt.

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) 123 näher beschrieben und geregelt. Auf die Untersuchung wurde verzichtet, da weder Personen zu retten, noch Folgesach- oder Umweltschäden abzuwenden waren.

4.3 Untersuchung der Infrastruktur

Bei der Strecke 1520 (Oldenburg (Olbd) Hbf – Leer (Ostfriesland)) handelt es sich um eine eingleisige, elektrifizierte Hauptbahn der Streckenklasse D4. Die auf der Strecke zugelassene Höchstgeschwindigkeit (Hg) beträgt 120 km/h. Im Bereich des Abschnittes von km 11,6 bis km 1,5 darf die Strecke gem. dem Verzeichnis der örtlich zugelassenen Geschwindigkeiten (VzG) in beiden Fahrtrichtungen mit 120 km/h befahren werden. Als Oberbauart im Bereich der Entgleisungsstelle ist W14-54-B70-1667 eingebaut. Der BÜ in km 6,466 verfügt über STRAIL Innenplatten und befindet sich in einem Bogen mit einem Radius von 9.500 m.

Fliehkräfte, wie sie bei einer Fahrt in engeren Bögen auftreten, sind am BÜ sowie dem angrenzenden Entgleisungsbereich vernachlässigbar, weil die Trassierung nahezu einer Geraden entspricht. Die Streckenbelastung liegt bei etwa 36.000t/Tag.

4.3.1 Beschreibung der Entgleisungsstelle

Die ersten Entgleisungsspuren in Form von Anschlägen an den Befestigungsmitteln der Schienen und Schwellen wurden ca. 14 m nach passieren des BÜ „Försterweg“ in km 6,466 festgestellt. Der aus Richtung Kayhauserfeld kommende Zug entgleiste hier mit einem Rad-satz nach links.

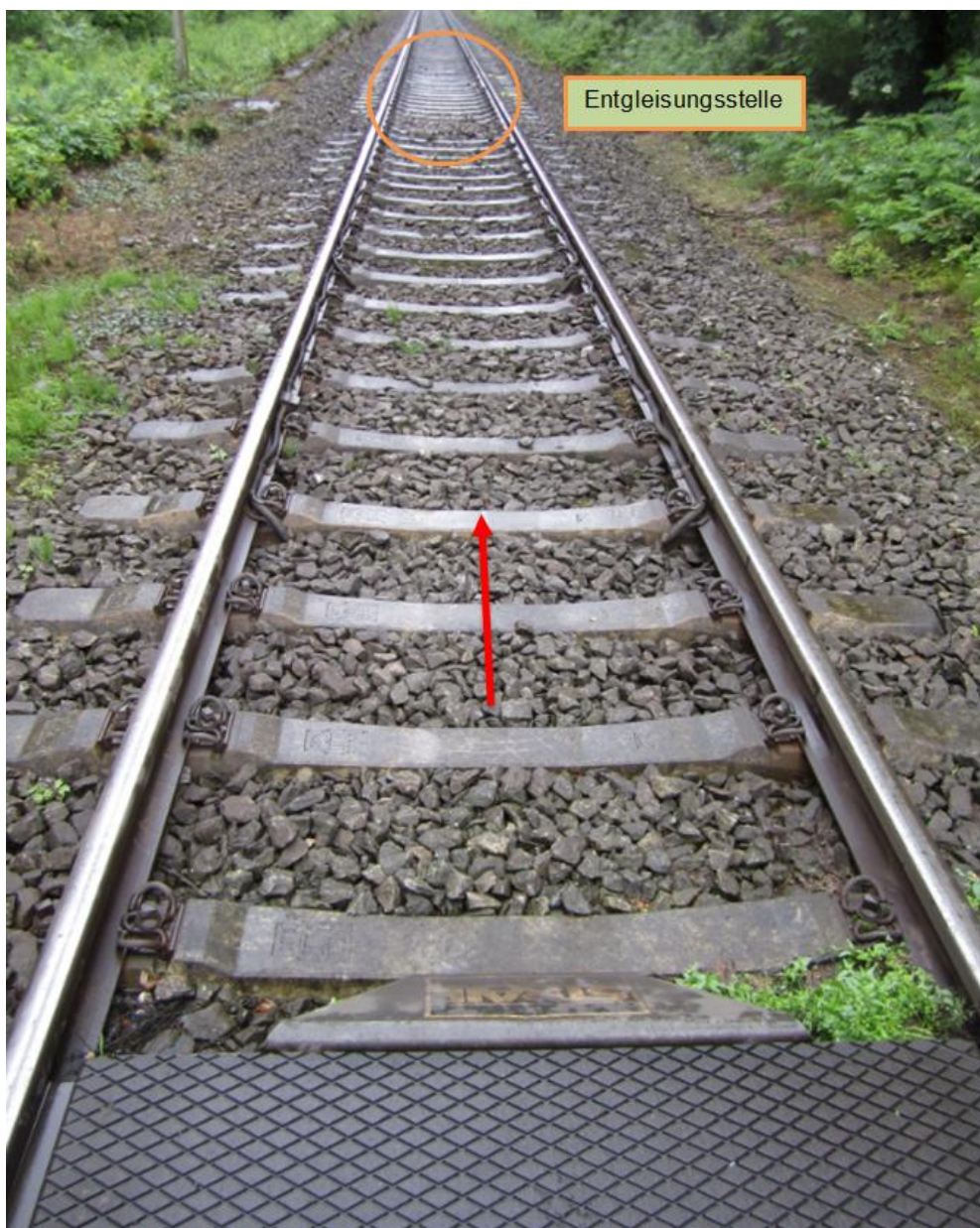


Abb. 2: Blick auf die Entgleisungsstelle

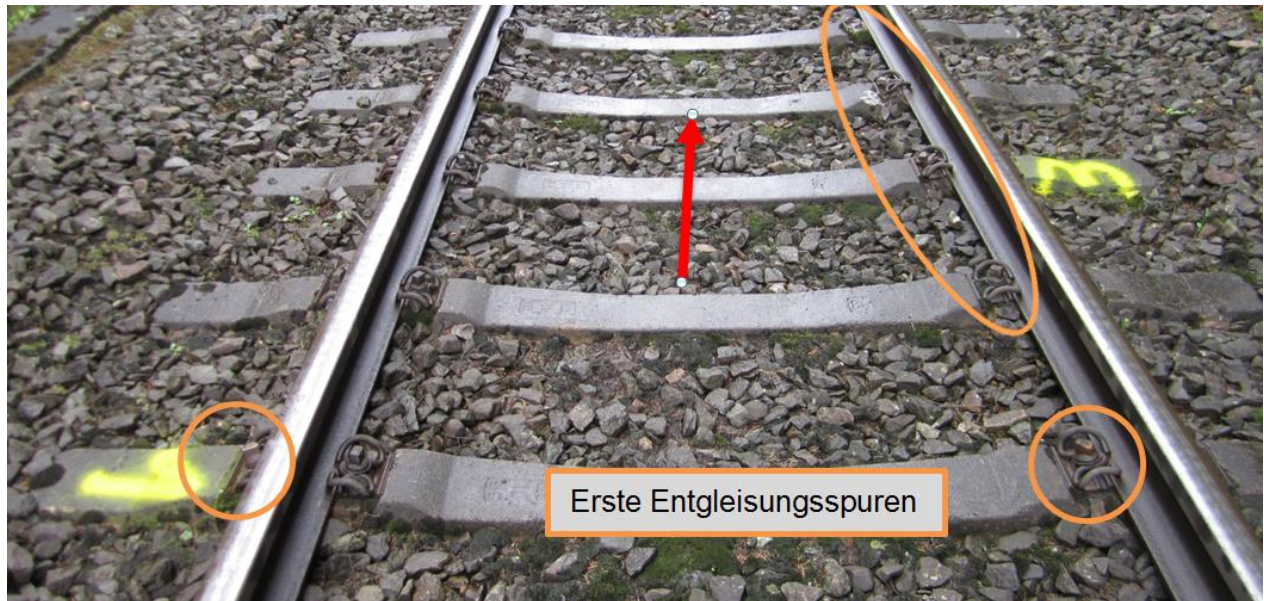


Abb. 3: Detailansicht der ersten Entgleisungsspuren

Aufkletterspuren von Radkränzen wurden weder an der bogenäußeren als auch der bogeninneren Schiene gefunden, was hinsichtlich des Entgleisungsvorgangs eher auf ein spontanes, kurzzeitiges Abheben bzw. Springen des Fahrzeugs hindeutet. Im BÜ-Bereich, sowie davor und dahinter, waren optisch mehrere hintereinanderliegende Gleislagefehler, sowohl an der rechten, als auch der linken Schiene erkennbar.



Abb. 4: periodische Gleislagefehler

Betriebliche Einschränkungen waren im Bereich der Gleislagefehler und der Entgleisungsstelle nicht vorhanden.

Die vorgefundene Situation am BÜ lässt darauf schließen, dass das ankommende Niederschlagswasser der querenden Straße in den Bahnseitengraben entwässern soll. Es war auffällig, dass der Vegetationsbewuchs um den BÜ herum und den angrenzenden Gleisabschnitten sehr ausgeprägt war. Die Bahnseitengräben, sofern vorhanden, waren zugewachsen und aufgrund der Profilveränderung in der Funktion eingeschränkt. Im Gleisbett am BÜ waren mehrere Bereiche mit Grasbewuchs (Abb.5) erkennbar, was darauf hindeutet, dass der Untergrund nicht ausreichend entwässert wird. Dies wiederum beeinflusst die Tragfähigkeit des Gleises und kann zu Gleislagefehlern führen, wie sie hier vorgefunden wurden.

4.3.2 Inspektionen gemäß Konzernrichtlinie Ril 821 -Oberbau inspizieren-

4.3.2.1 Prüfung der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeugen nach Ril 821.2001

Im Rahmen der Unfalluntersuchung erfolgte die Betrachtung der letzten drei Prüfungen der Gleisgeometrie mit Gleismessfahrzeugen vor der Entgleisung. Auch durch Überführungsfahrten zusätzlich gewonnene Messergebnisse flossen in die Bewertungen mit ein.

Die Regelinspektion gemäß Ril 821.2001 wurde fristgerecht einmal jährlich beauftragt, durchgeführt und dokumentiert. Fristüberschreitungen waren nicht festzustellen. Einen Tag vor der Entgleisung des Zuges wurde die Gleislage im Bereich des BÜ „Försterweg“ im Rahmen einer Überführungsfahrt von einem Gleismesszug RaiLab außerplanmäßig vermessen. Auffällig bei dieser Messfahrt waren drei SR_{100} Überschreitungen in der Längshöhe, die in Abständen von wenigen Metern auftraten (siehe Abb. 5 und 6). SR_{100} ist nach Ril 821.1000 der Wert, der den technisch/wirtschaftlichen Abnutzungsvorrat beeinhaltet. Bei seiner Überschreitung ist eine Instandsetzung abhängig von der Fehlergröße spätestens bis zur nächsten Regelinspektion erforderlich. Eine unmittelbare Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit nach Ril 821 war noch nicht zu erwarten.

Untersuchungsbericht

Zugentgleisung, 29.06.2013, Kayhauserfeld - Oldenburg Hbf

1520-0 Oldenburg – Leer			28.06.2013 10:46			RL13062801.srh (14)		
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 <1430/>SR100 [mm]	Spw 1435 Mittelwert <TSI [mm]
4,020 + 000		15						
4,015 + 000		15						
4,700 + 000		16						
4,695 + 000		16						
6,464 + 000		14						
6,479 + 000		15						
6,482 + 000		14						
10,688 + 000				106				

Abb. 5: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 28.06.2013

Quelle: DB Netz AG, bearbeitet durch EUB

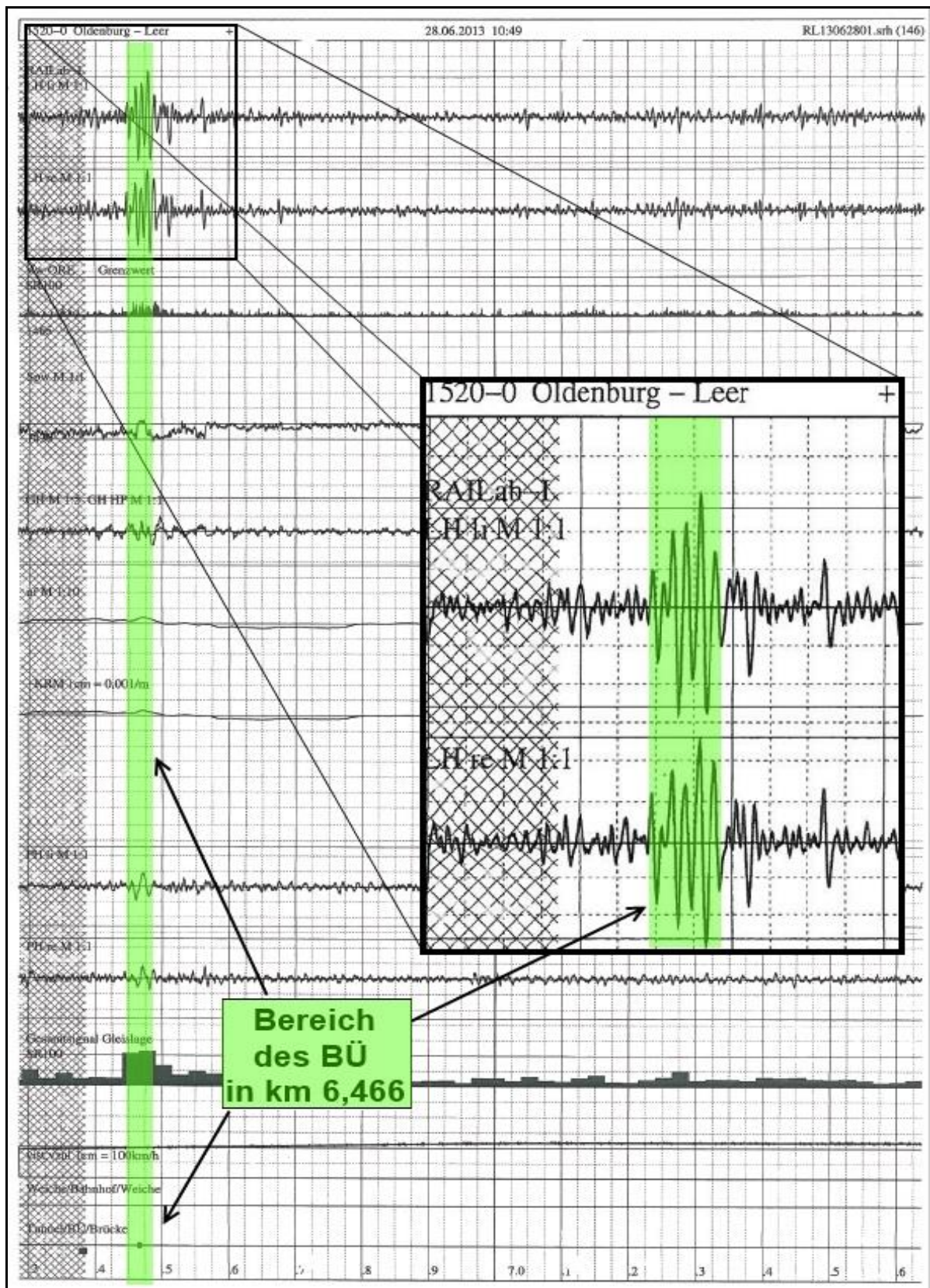


Abb. 6: Messschrieb vom 28.06.2013

Quelle: DB Netz AG, bearbeitet durch EUB

Die nachfolgende Tabelle in Abb. 7 zeigt die Entwicklung der Gleislagefehler am BÜ „Försterweg“ im Bereich vor der Entgleisungsstelle von April 2010 bis Juni 2013. Hiernach wurde die Gleislage bei der Regelinspektion am 13.04.2010 erstmals derart auffällig, dass an der rechten und linken Schiene jeweils Längshöhenfehler von 13 mm dokumentiert wurden. Damit wurde der für den Geschwindigkeitsbereich $80 \text{ km/h} < v \leq 120 \text{ km/h}$ in der Ril 821.2001 genannte SR_{100} Wert erreicht, jedoch am Tag der Messung noch nicht überschritten. Eine grundlegende Verbesserung der Gleislage ist anhand der weiteren Gleislagefehlerentwicklung am BÜ seit diesem Zeitpunkt nicht erkennbar.

Datum	Richtung	km	Mangel	Schiene	Mängelbereich
13.04.10	Oldenburg - Leer	6,475 bis 6,500	13 mm LH 13 mm LH	links rechts	BÜ, Punktueller paralleler Einzelfehler über beide Schienen, SR 100 erreicht aber noch nicht überschritten
04.04.11	Oldenburg - Leer	6,475 bis 6,500	14 mm LH 14 mm LH	links rechts	BÜ, Punktueller paralleler Einzelfehler über beide Schienen
23.04.12	Oldenburg - Leer	6,484 6,483	16 mm LH 15 mm LH	links rechts	BÜ, Punktueller paralleler Einzelfehler über beide Schienen
27.04.12	Leer – Oldenburg	6,484 6,483 6,479	16 mm LH 14 mm LH 15 mm LH	links rechts links	BÜ, Punktueller paralleler Einzelfehler über beide Schienen BÜ, Weiterer punktueller Einzelfehler im Abstand von ca. 5 m
04.06.13	Leer - Oldenburg	6,473 6,459	15 mm LH 14 mm LH	links links	BÜ, Zwei Einzelfehler im Abstand von ca. 14 m Länge
28.06.13	Oldenburg – Leer	6,464 6,479 6,482	14 mm LH 15 mm LH 14 mm LH	links links rechts	BÜ, Drei Einzelfehler auf ca. 18 m Länge
LH = Gleislagefehler in der Längshöhe $SR_{100} > 13 \text{ mm} / SR_{lim} > 17 \text{ mm}$ bei $v \text{ zul } 80 < v \leq 120 \text{ km/h}$					

Abb. 7: Entwicklung der Gleislagefehler am BÜ in km 6,466

Ein Jahr später wurden bei der Regelinspektion am 04.04.2011 im Bereich des BÜ erneut Gleislagefehler bei der Längshöhe dokumentiert. Sowohl an der rechten, als auch der linken Schiene wurden jeweils Längshöhenfehler von 14 mm dokumentiert und somit SR_{100} an beiden Schienen überschritten. Gemäß Ril 821.2001 sind derartige Mängel zu bewerten. Am

18.04.2011 erfolgte die Befundung durch den Anlagenverantwortlichen (ALV) in der Inspektionsniederschrift „SAP Befundliste“. Hieraus geht hervor, dass die SR₁₀₀ Gleislagefehlerbehebung bis 30.03.2012 zu erledigen war. Als Priorität war N (ohne betriebliche Beeinflussung) angegeben. Am 18.06.2011 erfolgte die maschinelle Instandsetzung der Gleislage zwischen km 6,433 und km 6,480 mit einem Sprinter.

Im Abstand von einem Jahr erfolgte am 23.04.2012 die nachfolgende Regelinspektion. Trotz dokumentierter maschineller Instandsetzung vom 18.06.2011 zeigten sich weiterhin SR₁₀₀ Überschreitungen bei der Längshöhe in der Größenordnung von 15 mm (linke Schiene) bzw. 16 mm (rechte Schiene). Bei der am 09.05.2012 durchgeführten Befundung der Gleislagemessung durch den ALV wurden die Gleislagefehler am BÜ nicht erwähnt. Grund hierfür ist nach Aussage des ALV die Vermeidung einer Doppelbefundung, da diese Gleislagefehler bereits beim Gleisbegang vom 15.02.2012 befundet wurden. Erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass am 27.04.2012, drei Tage nach der Regelinspektion, eine Überführungsfahrt eines Messzuges von Leer nach Oldenburg stattfand, und sich am BÜ ein weiterer Gleislagefehler (15 mm) mit SR₁₀₀ Überschreitung abzeichnete. Beide Fehler lagen etwa 5 m auseinander.

1520-0 Oldenburg – Leer				27.04.2012 08:42				RL 12042701.srh (3)
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 <1430>SR100 [mm]	Spw 1435 Mittelwert <TSI [mm]
6,484 + 000		16						
6,483 + 000		14						
6,479 + 000		15						
6,045 + 000		14						

Abb. 8: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 27.04.2012

Quelle: DB Netz AG, bearbeitet durch EUB

Für 2013 erfolgte die jährliche Regelinspektion gemäß Ril 821.2001 anstatt im April um zwei Monate verspätet im Juni. Die Ril 821.2001 Abschnitt 3 Tabelle 1 lässt hier in Ausnahmefällen auch einen Inspektionsabstand von 16 Monaten zu. Begründet war die Verzögerung durch den Ausfall des Messfahrzeugs. Auch bei dieser am 04.06.2013 durchgeführten Inspektion zeigen sich zwei SR₁₀₀ Überschreitungen in ähnlicher Konstellation wie am 27.04.12.

1520-0 Leer - Oldenburg			04.06.2013 18:30			RL13060412.srh (6)		
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 <1430/>SR100 [mm]	Spw 1435 Mittelwert <TSI [mm]
10,002 + 000								
6,473 + 000		15						
6,459 + 000		14						

- Anlage 4.1 -

2x SR 100

Abb. 9: Überschreitungsprotokoll (Auszug) vom 04.06.2013

Quelle: DB Netz AG, bearbeitet durch EUB

Bei der am 04.06.13 durchgeführten Befundung der Gleislagemessung in SAP durch den ALV wurden die Gleislagefehler am BÜ nicht erwähnt. Grund hierfür war nach Aussage des ALV auch hier die Vermeidung einer Doppelbefundung, da diese Gleislagefehler bereits vorliegen würden. Die weitere, am 28.06.13 wegen Messzugausfall im Netzbezirk (NBez) Leer, durchgeführte Gleisgeometriemessung (siehe Abb. 6 und 7) ist für den betroffenen Gleisabschnitt nicht als Regelinspektion anzusehen. Trotzdem sind die Messergebnisse für die Ursachenfindung relevant, da sich die Gleislage im Zeitraum vom 04. – 28.06.2013 wesentlich verändert hatte. Erstmals wurden hierbei im BÜ-Bereich drei SR₁₀₀ Überschreitungen mit 14 bzw. 15 mm in kurzen Abständen zueinander auf ca. 18 m Länge festgestellt. Die vorhandenen Längshöhenfehler traten somit quasi periodisch auf. Der die Messfahrt begleitende ALV hat auf die bei der Inspektion der Strecke aufgezeichneten SR_{lim} Überschreitungen mit der Einrichtung von Langsamfahrstellen zwar vorschriftenkonform reagiert, die Brisanz der periodischen Gleislagefehler am Bahnübergang wurde aber nicht erkannt. Ein Grund dafür kann sein, dass für derartige Fehler zum Zeitpunkt der Messfahrt in der DB-Richtlinie keine konkreten Handlungsanweisungen vorgegeben waren.

4.3.2.2 Inspektion Gleisbegehung nach Ril 821.2003

Im Rahmen der Unfalluntersuchung wurden die letzten drei Gleisbegehungen vor der Entgleisung betrachtet.

Die zuerst betrachtete Gleisbegehung führte am 15.02.12 ein Werkmeister Fahrbahn (Fb) durch. Im Bereich des BÜ „Försterweg“ wurden vor und hinter dem BÜ jeweils eine Senke (Längshöhenfehler) festgestellt. Gemäß der Befundung in der Inspektionsniederschrift sollte die Mängelbeseitigung durch Handstopfung bis 31.08.2012 erfolgen, als Priorität war L (Be-

triebliche Beeinflussung) festgesetzt. Eine Instandsetzung bis 31.08.2012 konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Am 22.08.2012 erfolgte eine weitere turnusmäßige Gleisbegehung, diesmal durch den ALV. Für die weiterhin vorhandenen Gleislagefehler war in der SAP - Befundliste für den Längshöhenfehler hinter dem BÜ zunächst eine Handstopfung bis 30.03.13, und korrigiert bis 30.11.13 eingeplant. Der ALV senkte die Priorität von L (Betriebliche Beeinflussung) auf N (ohne Betriebliche Beeinflussung; niedrigste Dringlichkeit). Eine Instandsetzung konnte weder bis 30.03.12 noch bis zum Tag der Entgleisung, am 29.06.13, nachgewiesen werden.

Für die Beseitigung der Gleislagefehler an mehreren Bahnübergängen, wie auch dem „Försterweg“ (Meldung 12485809) sowie einiger Gleisabschnitte, wurde zusätzlich eine zusammenhängende Gleisdurcharbeitung geplant und in den Befund eingestellt. Die erforderliche Instandsetzungsmaßnahme sollte nun mit einer Präventions-Durcharbeitung, zuerst bis 30.06.13 und nach Korrektur bis 30.08.13, erledigt werden. Auch hier wurde die Priorität vom ALV von L auf N geändert.

Die Entgleisung am 29.06.2013 kam diesen geplanten Instandsetzungsarbeiten jedoch zuvor.

Bei der Gleisbegehung am 12.02.2013 durch einen Werkmeister Fb wurden im BÜ Bereich „Försterweg“ keine neuen Befunde eingestellt. Hier wurde vom ALV erneut auf die Vermeidung von Doppelbefundungen hingewiesen, da die Befundung und Abarbeitung der Mängel vom 22.08.2012 noch ausstanden. Weiterhin wurde DB Netz vom Landkreis Ammerland aufgefordert, den Entwässerungsgraben von km 6,5 – km 6,8 zu reinigen. Gemäß SAP Befundmeldung vom 15.02.2013 war dies bis 30.05.2014 mit der Priorität N (ohne betriebliche Beeinflussung) zu erledigen. Nachweise über die Durchführung der Arbeiten liegen der BEU nicht vor.

4.3.2.3 Inspektion Gleisbefahrung gemäß Ril 821.2004

Betrachtet wurden die drei letzten Gleisbefahrungen vor der Entgleisung. Hierbei wurden keine weiteren Mängel im Bereich des BÜ „Försterweg“ dokumentiert.

Zusammenfassung

Eine zusammenfassende Betrachtung der Inspektionshistorie zeigt, dass sich die Gleislagefehler vor dem Entgleisungsbereich im absoluten Messwert bei den letzten Inspektionen

nicht wesentlich unterschieden. Die Längshöhenfehler bewegten sich zwischen 14 und 16 mm und stellten somit für den relevanten Geschwindigkeitsbereich bis 120 km/h eine Überschreitung von SR_{100} dar. Gemäß dem Regelwerk der DB Netz AG besteht hier zunächst keine unmittelbare Pflicht, sofortige kompensierende Maßnahmen, wie z.B. die Absenkung der örtlich zulässigen Geschwindigkeit durch Einrichtung einer Langsamfahrstelle, zu veranlassen. SR_{100} Überschreitungen sind jedoch, abhängig von der Fehlergröße, spätestens bis zur nächsten Regelinspektion instand zu setzen. Konkrete Regelungen für kombiniert auftretende Gleislagefehler enthielten die DB Regelwerke nicht. Ob und in welcher Form Gleislagemängel beseitigt wurden, konnte die DB Netz AG nicht nachweisen. Festzustellen ist, dass Instandsetzungsmaßnahmen, insofern diese stattfanden, nicht nachhaltig waren, da seit 2011 am BÜ permanent Gleislagefehler mit SR_{100} Überschreitungen existent waren.

4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik

Der BÜ „Försterweg“ ist mit einer Bahnübergangssicherungsanlage der Bauform EBÜT 80 LzH-Fü technisch gesichert. Er wird vom Fdl Oldenburg fernüberwacht. Bei der in Oldenburg verbauten Stellwerkstechnik handelt es sich um die Bauform Sp Dr L30. Hinweise, dass die Leit- und Sicherungstechnik ursächlich für das gefährliche Ereignis war, lagen nicht vor. Deshalb wurde auf eine weitergehende Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik verzichtet.

4.5 Untersuchung der betrieblichen Handlungen

4.5.1 Betriebliche Handlungen des Tf

Das Triebfahrzeug (223 156-1) ist mit einer punktförmigen Zugbeeinflussung (PZB) ausgerüstet, die Daten der Elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR) wurden im Rahmen der Unfalluntersuchung ausgelesen und von der BEU ausgewertet. Die Daten wurden ordnungsgemäß auf einer Datenspeicherkassette (DSK) aufgezeichnet. Die PZB-Fahrzeugeinrichtung war eingeschaltet. Am Zugdatensteller waren die Bremsart 8 und 96 Brems Hundertstel eingestellt.

Es wurde der Betriebsspeicher des Abschnitts vom Bahnhof Kayhauserfeld bis Oldenburg Hbf ausgewertet. Die abgebildeten Uhrzeiten sind systemintern und geben die DSK-Zeit wieder, die von der tatsächlichen Uhrzeit abweichen kann. Für die Auswertung wurde der aufgezeichnete Weg normiert, d.h. die Wegdarstellung wurde der Streckenkilometrierung angepasst. Als Bezugspunkt wurde der Standort des Zuges vor dem Ausfahrtsignal (Asig) des Bahnhofs Oldenburg Hbf gewählt.

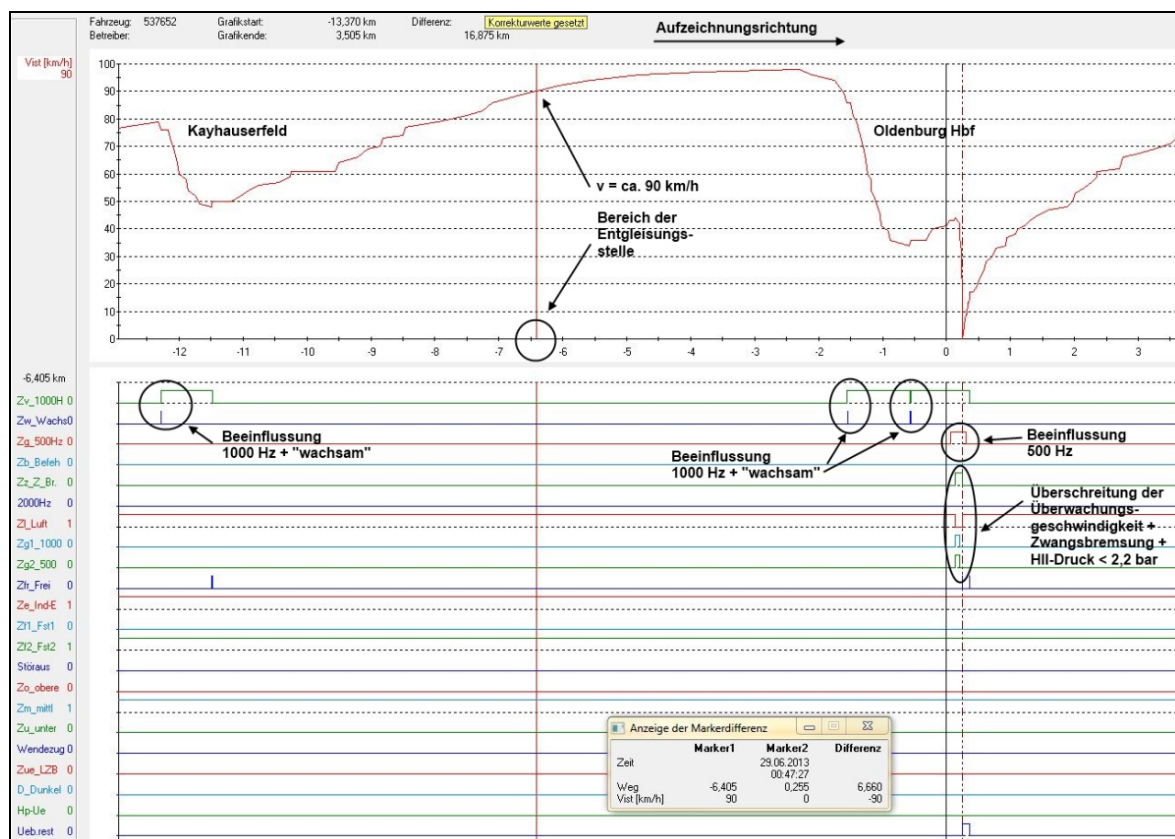


Abb. 10: Grafische Auswertung der EFR-Daten

Vor der Einfahrt in den Bahnhof Kayhauserfeld kam es nach DSK um 00:36:37 Uhr zu einer Beeinflussung durch einen 1000 Hz – Gleismagnet. Diese quittierte der Tf ordnungsgemäß mit Bedienung der der Taste „Wachsam“. Im Folgenden wurde die Geschwindigkeit des Zuges bis auf ca. 48 km/h abgesenkt. Nach einem Fahrweg von ca. 795 m ab 1000 Hz-Beeinflussung wurde diese durch den Tf um 00:37:27 Uhr mit Bedienung der Taste „frei“ abgebrochen. Anschließend wurde die Geschwindigkeit des Zuges nahezu konstant bis auf ca. 98 km/h erhöht. Während dieser Beschleunigungsphase kam es dann ca. in km 6,4 zur Entgleisung des Wagens. Das Entgleisen des Wagens ist aus den EFR-Daten nicht erkennbar. Die Daten lassen jedoch Rückschlüsse auf die in diesem Bereich gefahrene Geschwindigkeit zu. Demnach lag die Geschwindigkeit des Zuges im Bereich der Entgleisungsstelle bei ca. 90 km/h mit noch steigender Tendenz.

Mit Erreichen der Höchstgeschwindigkeit von ca. 98 km/h wurde im weiteren Verlauf ein Absenken der Geschwindigkeit registriert. Bei etwa 89 km/h wurde um 00:44:51 Uhr eine Beeinflussung durch einen 1000 Hz-Gleismagnet aufgezeichnet, auf die der Tf mit Bedienung der Taste „Wachsam“ und dem weiteren Absenken der Geschwindigkeit reagierte. Nach

einem Fahrweg von ca. 990 m ab Beeinflussung kam es dann um 00:46:08 Uhr bei einer Geschwindigkeit von ca. 34 km/h zu einer erneuten 1000 Hz-Beeinflussung, die abermals mit Bedienung der Taste „Wachsam“ quittiert wurde. Im Anschluss daran wurde ein leichter Anstieg der Geschwindigkeit bis auf ca. 43 km/h aufgezeichnet. Nach ca. 635 m Fahrweg ab letzter 1000 Hz-Beeinflussung wurde um 00:47:05 Uhr die Beeinflussung durch einen 500 Hz-Gleismagnet abgebildet. Nach weiteren ca. 65 m Fahrstrecke kam es ca. 5 s nach Beeinflussung 500 Hz bei einer Geschwindigkeit von 43 km/h zu einer Zwangsbremmung. Diese resultierte aus der Überschreitung der 500 Hz-Prüfgeschwindigkeit. Der Zug kam daraufhin um 00:47:27 Uhr, ca. 125 m nach erfolgter Zwangsbremmung, kurz vor dem Ausfahrtsignal des Bahnhofs Oldenburg Hbf zum Stillstand. Gegen 00:52:56 Uhr wurde die Fahrt des Zuges dann fortgesetzt.

Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten für die Strecke und den Zug wurden im untersuchten Abschnitt nicht überschritten. Auf die in Annäherung auf das Asig erfolgte Zwangsbremmung wird nicht näher eingegangen, da diese für das Ereignis (Entgleisung in km 6,4) nicht kausal von Bedeutung ist. Nach Auskunft des EIU wurde der Zug am Asig des Bahnhofs Oldenburg Hbf gestellt. Hier kam es dann zum unter 4.1 beschriebenen Gespräch zwischen Fdl und Tf.

4.5.2 Betriebliche Handlungen der Fdl

Die betrieblichen Handlungen des Fdl Oldenburg standen in keinem Zusammenhang mit der Entgleisung des Zuges auf freier Strecke. Deshalb wurde auf Untersuchungen dahingehend verzichtet. Offensichtlich bemerkte der Fdl anhand der Störmeldungen im Stellwerk, die aus den Zerstörungen der Gleisschaltmittel resultierten, dass Unregelmäßigkeiten im Zusammenhang mit der Zugfahrt 83799 aufgetreten sein könnten. Deshalb stellte er wohl den Zug am Asig in Oldenburg Hbf und fragte den Tf, ob dieser richtig und vollständig drin sei. Als dieser ihm wie unter 4.1 beschrieben antwortete, ließ er den Zug weiterfahren. Im weiteren Verlauf meldete der Fdl die Störung der für die Entstörungsveranlassung zuständigen Stelle (EVZS). Ein LST – Mitarbeiter, der sich daraufhin zur Störungsbeseitigung an die BÜ begab, stellte gegen 5:40 Uhr die Entgleisungspuren fest. Über Einzelheiten der anschließenden Recherche und dem damit verbundenen Informationsaustausch liegen der BEU keine Erkenntnisse vor. Letztendlich wurde der Zug 83799 gegen 6:30 Uhr im Bahnhof Tangerhütte zwar gestellt, jedoch ohne den entgleisten Wagen zu identifizieren. Dies kann nur auf einen mangelnden Informationsfluss zwischen den Beteiligten zurückzuführen sein. Als Resultat daraus wurde dem Zug in Tangerhütte gegen 07:48 Uhr die Weiterfahrt gestattet, ohne dass Klarheit über eventuelle Schäden an den Fahrzeugen bestand.

4.6 Untersuchung von Fahrzeugen

DGS 83799 war gebildet aus einem Tfz der Baureihe 223 und 23 Wagen. Der Zug hatte eine Gesamtlänge von 497 m und ein Gesamtgewicht von 891 t bei insgesamt 82 Achsen. Im Zug waren 95 Brems Hundertstel vorhanden, für die Fahrt erforderlich waren 69 Mindestbrems Hundertstel. Die ersten 13 Wagen des Zuges bestanden aus verschiedenen Fahrzeuggattungen. Von der 14. Stelle bis zum Zugschluss liefen 10 baugleiche und unbeladene Wagen der Gattung Uiks. Hierbei handelte es sich um zweiachsige Güterwagen, welche über spezielle Aufbauten und Halterungen für die Aufnahme von Rotorblättern für Windkraftanlagen verfügten. Die Wagen waren mit Doppelschakenfahrwerken ausgestattet, deren Radsatzabstand 9 Meter betrug. Zur Aufnahme der Ladung besaßen die Wagen abnehmbare Drehschemel, so dass auf den 10 Wagen insgesamt drei Rotorblätter transportiert werden konnten.

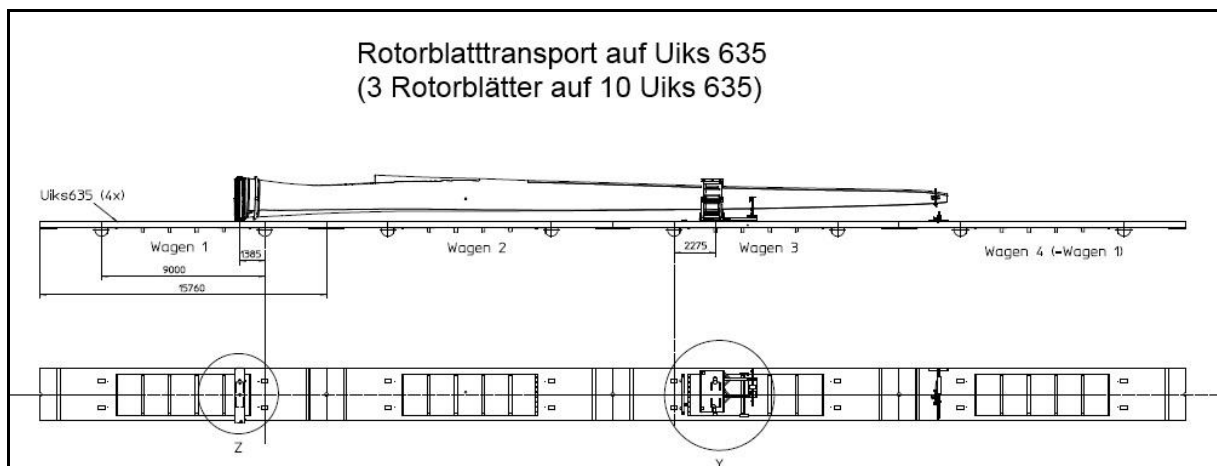


Abb. 11: Rotorblatttransport auf Wagen der Bauart Uiks 635

Quelle: e.g.o.o. Eisenbahngesellschaft

Die Kopfstücke der Wagen konnten hochgestellt oder abgesenkt werden, ihr Eigengewicht betrug ohne Drehschemel 12.400 kg, mit Drehschemel 12.800 kg. Bei abgesenkten Kopfstücken verfügte ein Wagen über eine Länge über Puffer von 15,76 m. In beladenem Zustand betrug die Höchstgeschwindigkeit 100 km/h, unbeladen 120 km/h.

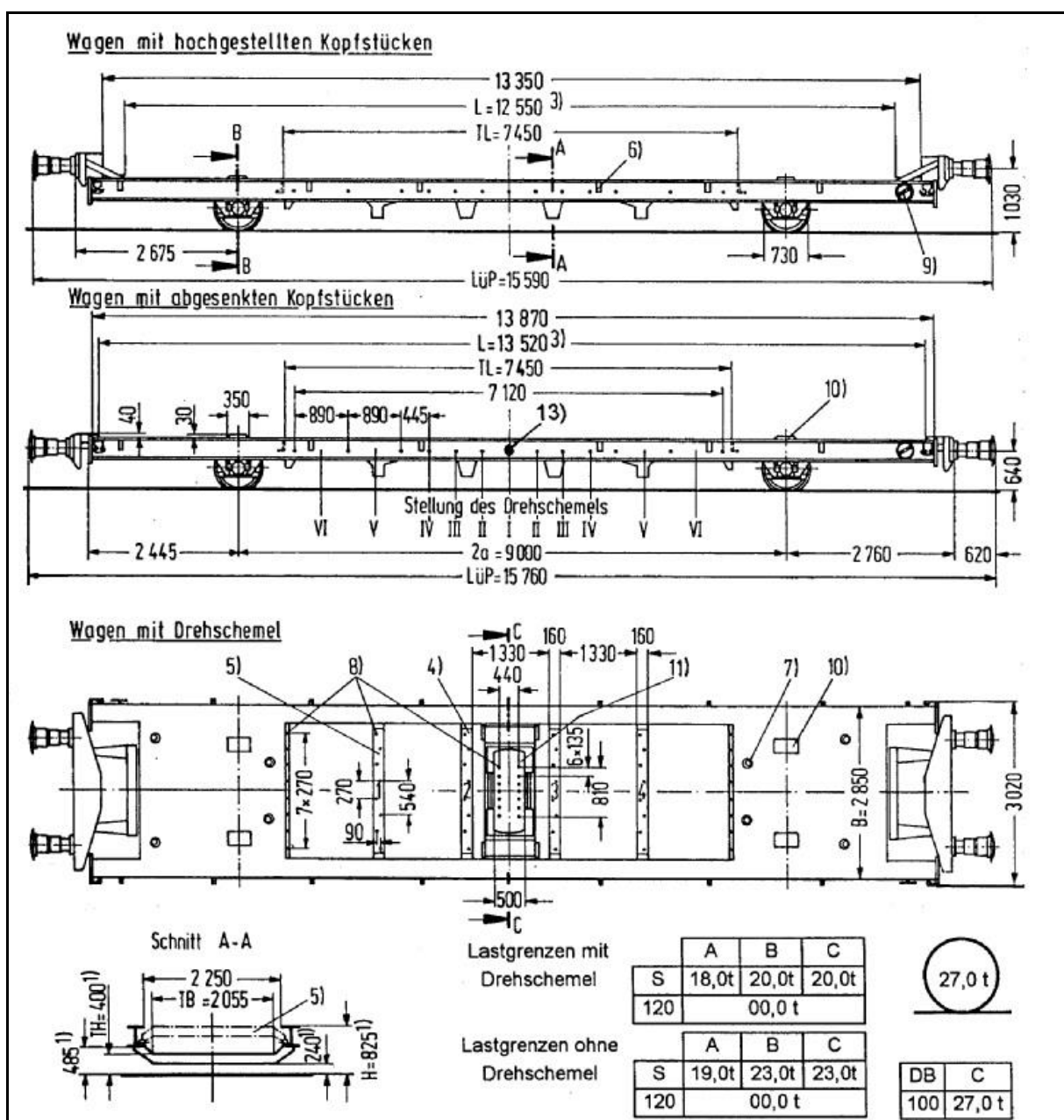


Abb. 12: Wagenskizzen Uiks 635

Quelle: e.g.o.o. Eisenbahngesellschaft

Der entgleiste Güterwagen Uiks 25 80 9914 917-5 lief an 17. Stelle des Zuges, etwa in der Mitte des Verbundes der 10 baugleichen Wagen. Halter des Wagens war die Firma NCS (Nuclear Cargo + Service) mit Sitz in Hanau. Die letzte Revision vor der Entgleisung erfolgte im Juli 2011 bei der DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH im Werk Paderborn. Im Rahmen der Revision wurden beide Radsätze des Wagens ausgetauscht.

Eine erste Besichtigung des Zuges durch einen Mitarbeiter der EUB fand am 29.06.2013 im Bf Magdeburg-Rothensee statt. Bei dieser Untersuchung wurde an allen Wagen u.a. der Zustand der Radsätze, Bremsschläuche, der Kuppelverbindungen sowie die Stellung der Luftabsperrhähne augenscheinlich überprüft. Ergebnis dieser Untersuchung war, dass die in Fahrtrichtung gesehen erste Achse des Wagens 25 80 9914 917-5, nachfolgend als Achse 1 bezeichnet, Entgleisungsspuren aufwies.

Weitergehende Untersuchungen dieses Fahrzeuges führten Mitarbeiter der EUB am 05.07.2013 und am 24.07.2013, ebenfalls in Magdeburg-Rothensee, mit folgenden Ergebnissen durch:

- Bei der Zugeinrichtung über Achse 1 war die Zughakenführung im oberen Bereich leicht aufgeboben. Die Kunststoffplatte der unteren Zughakenführung wies in Folge von Materialstauchungen leichte Aufwölbungen auf. Die Kupplungsspindel war ungleichmäßig aufgedreht, der Kupplungsbügel wies Anschlagspuren auf, und der Kupplungsschwengel war darüber hinaus verbogen.
- Bei der Achslagerführung bei Achse 1 waren in Folge der Entgleisung die Radsatzhalter verbogen und die Hartmanganplatten der Radsatzlagerführungen beschädigt. Der in Fahrtrichtung gesehen rechte Radsatzhaltersteg war beidseitig angerissen, der linke Radsatzhaltersteg war vorne ab-, und hinten eingerissen (vgl. Abb. 13). Es waren leichte Anschlag- und Kratzspuren im rechten Bereich an der Wagenkastenunterseite infolge des durchschlagenden Radsatzes erkennbar.

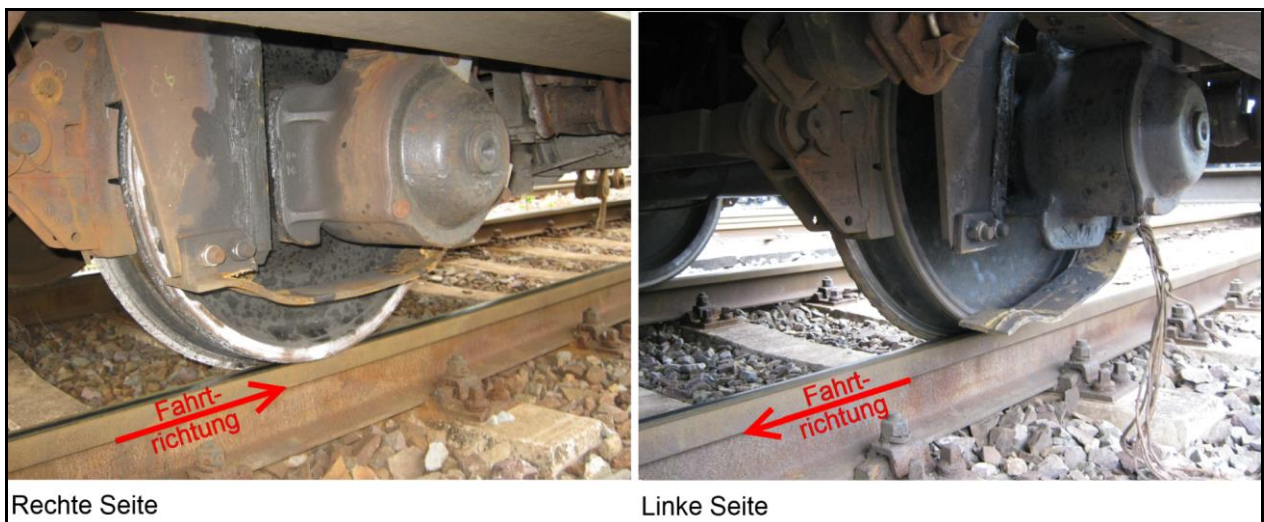


Abb. 13: Schäden am entgleisten Radsatz 1

- Die Achslager waren in einem ordnungsgemäßen Zustand und leichtgängig. Hinweise auf eine thermische Überbeanspruchung waren nicht erkennbar. Das Achslager auf der linken Fahrzeugseite war verdreht.
- Die Parabelfedern waren augenscheinlich in einem guten Zustand, gebrochene Federblätter waren nicht vorhanden.
- Am Radsatz 1 waren Entgleisungsspuren auf den Laufflächen, an den Spurkränzen, der Radsatzwelle und den Lagergehäusen erkennbar. Das Erdungskabel des linken Rades war abgerissen. Radsatz 2 wies keine erkennbaren Beschädigungen auf. Bei der Vermessung beider Radsätze konnte keine Überschreitung der Toleranzwerte festgestellt werden.



Abb. 14: Vorderer Radsatz, Entgleisungsspuren am rechten Rad

Diese am Fahrzeug festgestellten Schäden werden als nicht unfallursächlich, sondern als Folgen der Entgleisung eingestuft.

4.7 Simulationen zum Entgleisungsvorgang

Eine eindeutige Klärung der Unfallursache konnte durch die eingeleiteten Untersuchungen nicht herbeigeführt werden. Grund hierfür ist einerseits, dass nach dem zum Zeitpunkt der Entgleisung geltenden Regelwerk der DB Netz AG im Bereich der Entgleisungsstelle keine gravierenden Gleislagefehler, z.B. in Form von SR_{lim} Überschreitungen nachweisbar waren, die auf eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Oberbaus, und damit auf ein erhöhtes Entgleisungsrisiko hätten schließen lassen. Andererseits wurden bei den fahrzeugtechnischen Untersuchungen des entgleisten Wagens keine Mängel festgestellt, die als Ursache für die Entgleisung anzusehen waren. Anhaltspunkte, dass Mängel im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik oder betriebliche Fehlhandlungen Einfluss auf die Entgleisung hatten, lagen ebenfalls nicht vor.

Ein Hinweis auf die mögliche Entgleisungsursache war das Auftreten von drei in kurzen Abständen auftretenden SR_{100} Überschreitungen im Bereich des BÜ. Deshalb sollte deren Auswirkung als Unfallursache durch Simulationsrechnungen ermittelt werden. Hierbei sollte die Reaktion des Fahrzeuges bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten und variierenden Beladungszuständen auf Gleislagefehler verschiedener Anzahl und Größen untersucht werden. Im November 2013 wurde die Fa. „SIMTES – Simulation technischer Systeme“ aus Bielefeld mit der Durchführung entsprechender Simulationsrechnungen beauftragt. Nachdem alle erforderlichen fahrzeug- und oberbautechnischen Daten vorlagen, konnte mit Hilfe des Programms SIMPACK Version 9.5 ein Mehrkörper-Simulationsmodell zur Simulation des dynamischen Fahrverhaltens des entgleisten Fahrzeugs erstellt werden.

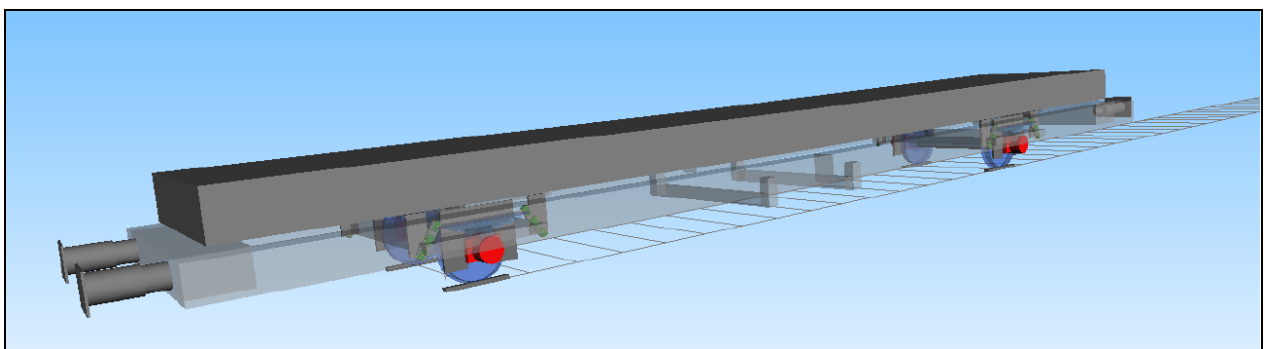


Abb. 15: In SIMPACK modelliertes Einzelfahrzeug Uiks 635

Quelle: Simulationsbericht SIM012014BE

Um auch die gegenseitigen Einflüsse der Einzelwagen über die Zug- und Stoßeinrichtungen bewerten zu können, erfolgte im Rahmen der Simulation der Aufbau eines aus drei Uiks 635 bestehenden Zuges.

Mit den gemessenen Gleislagedaten und der Trassierung wurden im Streckenabschnitt von km 6,520 bis km 6,440 u.a. die Rad/Schiene-Kräfte, der Entgleisungskoeffizient Y/Q und das Radanheben bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Fahrzeugkonfigurationen ermittelt.

Die im Rahmen der Simulationsrechnungen gewonnenen Erkenntnisse des im Anhang 1 beigefügten Simulationsberichtes SIM012014BE zum Unfall in Oldenburg vom 29.06.2013 sind nachfolgend aufgeführt:

- Im relevanten Geschwindigkeitsbereich von 80 km/h und 100 km/h und bei der Entgleisungsgeschwindigkeit von 87 km/h wird durch die Simulationsrechnungen eine erhebliche Entgleisungsgefahr nachgewiesen (Y/Q bis 0,97, vollständige Radentlastung, Radanheben bis 31 mm). Bei geringen zusätzlichen Störungen (Kräfte, Querbewegungen, Fahrzeugabweichungen von dem idealen Zustand) ist von einer Entgleisung des Fahrzeugs auszugehen. Bei den durchgeführten Simulationsrechnungen konnte allerdings kein Entgleisungsvorgang simuliert werden.
- Die wesentliche Ursache für die Entgleisung liegt in der Gleislageanregung. Obwohl keine Grenzwertüberschreitungen der Einzelfehler der Gleislage vorliegen, ergibt sich aufgrund des periodischen Auftretens von SR 100 Fehlern eine Anregung des Fahrzeugs, die zu erheblichen Schwingungen des Wagenkastens und damit zur Entgleisung geführt hat.

Weitere Untersuchungen erfolgten durch Variationsrechnungen zu verschiedenen synthetischen, periodischen Gleislagefehlern und Fahrzeugzuständen. Die Variationsrechnungen umfassten u.a. Veränderungen der Federblattsteifigkeit, Puffersteifigkeit, Geschwindigkeit, des Beladungszustandes sowie Variationen der Gleislagestörung. Ein Ergebnis dieser Untersuchung war, dass sowohl die Blattfedersteifigkeit als auch der Beladungszustand die Eigenfrequenz des Fahrzeugs, und damit seine individuelle Empfindlichkeit auf periodische Gleislagefehler beeinflusst. Das Risiko der Entgleisung erhöht sich mit steigender Federsteifigkeit, während es sich durch höhere Radaufstandskräfte verringert. Ein weiteres Ergebnis war, dass Veränderungen der Puffersteifigkeiten und des Kupplungszustandes Einfluss auf die Übertragung von Vertikal- und Querkraften zwischen zwei Fahrzeugen haben. Insgesamt ist festzustellen, dass allgemein gültige Aussagen über die Empfindlichkeit und Reaktion von Fahrzeugen auf periodische Gleislagefehler kaum möglich sind, weil sich Fahrzeuge, z.B. durch verschiedene Verschleißzustände, grundsätzlich voneinander unterscheiden.

Die Variationsrechnungen zeigten auch einen Zusammenhang zwischen der Anzahl periodisch auftretender Gleislagefehler und dem daraus entstehenden Entgleisungsrisiko auf. Hierzu wird im Simulationsbericht folgendes festgestellt:

- Die Variation der Gleislagestörungen mit einer harmonischen Halbwelle bzw. Vollwelle zeigt, dass die **Anzahl von periodischen Gleislagestörungen** unter bestimmten Bedingungen einen **fast ebenso großen Einfluss** auf das Entgleisungsrisiko wie **die Höhe der Gleislagestörung** besitzt. Die Bedingungen können beispielsweise sein, dass die Wellenlänge des Längshöhenfehlers mit dem Radsatzabstand übereinstimmt und dass die angeregten Eigenfrequenzen mit der Frequenz der Anregung (geschwindigkeitsabhängig) übereinstimmt.

Weitere Informationen zur Vorbereitung, Durchführung und Bewertung der Simulationsrechnungen sind dem Simulationsbericht SIM012014BE zu entnehmen, der als Anlage 1 Bestandteil dieses Untersuchungsberichtes ist.

4.8 Interpretation der Unfallspuren

Vor und hinter dem BÜ „Försterweg“ in km 6,466 befanden sich bereits über einen längeren Zeitraum Gleislagefehler in der Längshöhe, die augenscheinlich erkannt werden konnten. Etwa 14 m hinter dem BÜ waren in Fahrtrichtung des Zuges nach links, erste Entgleisungsspuren sichtbar, die sich bis zum nachfolgenden BÜ in km 5,8 fortsetzten. Auf dem BÜ wechselte der Wagen die Seite und entgleiste nach rechts. Die Entgleisungsspuren auf der rechten Gleisseite setzten sich bis zum folgenden BÜ in km 4,0 weiter fort. Auf dem BÜ kam es zum selbständigen Eingleisen des Wagens, der anschließend ohne bekannte weitere Schäden zu verursachen bis Magdeburg weiterlief. Durch den entgleisten Lauf wurde die Infrastruktur auf etwa 2,5 km beschädigt. Erst nachdem der Zug in Magdeburg-Rothensee angekommen war, konnten die Wagen untersucht werden. Hierbei wurden Schäden am ersten Radsatz des an 17. Stelle laufenden Fahrzeugs festgestellt. Dies spricht insgesamt dafür, dass dieser Radsatz im Bereich der Gleislagefehler am BÜ in km 6,466 entgleiste.

5 Auswertung und Schlussfolgerungen

5.1 Betrieb

Betriebliche Einschränkungen waren im Entgleisungsbereich nicht vorhanden, die zulässige Geschwindigkeit nach VzG wurde eingehalten.

In Folge der Entgleisung beschädigte der Wagen Teile des Oberbaus und Gleisschaltmittel, was zu einer Störung an der Gleisfreimeldeanlage zwischen Kayhauserfeld und Oldenburg führte. Welcher Zug die Schäden konkret verursacht hatte, war zunächst unklar. Die Schäden wurden gegen 5:40 Uhr von Mitarbeitern LST vor Ort festgestellt, was eine umgehende Untersuchung aller möglichen Verursacherzüge hätte nach sich ziehen müssen. Auch DGS 83799, der den betroffenen Entgleisungsabschnitt gegen 0:47 Uhr befahren hatte, wurde als möglicher Verursacher identifiziert und konnte im Bf Tangerhütte bei Stendal gestellt werden. Hier wurde die Untersuchung des Zuges durch den Tf zwar begonnen, allerdings bereits nach Überprüfung von vier der dreiundzwanzig Wagen vorzeitig abgebrochen. Anschließend ließ man den Zug weiterfahren. Offensichtlich kam es im Verlauf der Informationsübertragung zwischen den Beteiligten zu Verlusten. Somit waren sich die Fdl in Stendal und der Tf über die möglichen Folgen der Weiterfahrt ohne entsprechende Untersuchungen der Fahrzeuge nicht im Klaren. Dem Tf wurde der Grund für die Untersuchung nicht genannt. Auch das mehrere Stunden zuvor geführte Gespräch zwischen dem Fdl Oldenburg und dem Tf war nicht zweckdienlich, die Ursache der Störungen und somit die Entgleisung zu erkennen. So dauerte es letztendlich ca. fünf Stunden bis die Entgleisung identifiziert wurde und weitere zweieinhalb Stunden, bis der Zug den Zielbahnhof Magdeburg-Rothensee gegen 08:19 Uhr erreichte.

5.2 Fahrzeug

Das entgleiste Fahrzeug war für den Betrieb auf der Infrastruktur der DB Netz AG zugelassen. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit betrug im entladenen Zustand 120 km/h. Eine Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit des Wagens konnte nicht festgestellt werden. Bei den am 29.06.2013, 05.07.2013 und am 24.07.2013 durchgeführten Fahrzeuguntersuchungen waren keine Schäden, Mängel oder Hinweise am Fahrzeug feststellbar, die als ursächlich für das Unfallgeschehen einzustufen waren.

5.3 Infrastruktur

Bei der Untersuchung der Infrastruktur waren im Bereich des BÜ „Försterweg“ im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang vor den ersten Entgleisungsspuren Längshöhenfehler festzustellen, die sich periodisch wiederholten. Hierbei handelte es sich um Fehler in der Längshöhe, die nach dem geltenden Regelwerk der DB Netz AG dem Beurteilungsmaßstab SR₁₀₀ zuzuordnen waren. Bei der Überschreitung des SR₁₀₀ Beurteilungsmaßstabes ist eine Instandsetzung, abhängig von der Fehlergröße, spätestens bis zur nächsten Regelinspektion vorgesehen, eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit ist bei Überschreitung von

SR₁₀₀ zunächst nicht zu erwarten. Die Betrachtung der Inspektionsergebnisse gemäß Ril 821.2001 sowie die Bewertung der bei weiteren Überführungsfahrten aufgezeichneten Messergebnisse von Gleismessfahrzeugen der letzten drei Jahre vor der Entgleisung im Bereich des BÜ „Försterweg“ macht deutlich, dass eine nachhaltige Instandsetzung der Längshöhenfehler offenbar nicht erfolgte. Bei jeder Gleislagemessung wurden SR₁₀₀ Überschreitungen dokumentiert.

Die Inspektionen erfolgten fristgerecht und die an der Entgleisungsstelle festgestellten Mängel waren auch bekannt. Wären die in der SAP Befundliste eingetragenen Ecktermine für die Beseitigung der festgestellten Längshöhenfehler fristgerecht, bzw. nachhaltig durchgeführt worden, hätte sich keine periodische Gleislagestörung mit drei kurz nacheinander folgenden Einzelfehlern entwickeln können. Zwar sind bei der Überschreitung des Beurteilungsmaßstabes SR₁₀₀ keine unmittelbaren Maßnahmen vorgesehen, aber nach den geltenden Regelwerken ist eine Instandsetzung spätestens bis zur nächsten Regelinspektion erforderlich. Der Regelinspektionsabstand beträgt auf Hauptgleisen, die mit einer Höchstgeschwindigkeit (Hg) $80 \text{ km/h} < \text{Hg} \leq 120 \text{ km/h}$ befahren werden dürfen, in der Regel 12, in Ausnahmefällen 16 Monate. Entsprechende Nachweise über eine qualifizierte Ausführung der Instandsetzungsmaßnahmen liegen der BEU nicht vor. Die Feststellung, dass sich die Längshöhenfehler bei den letzten Inspektionen nicht wesentlich voneinander unterschieden, deutet auf nicht nachhaltig bzw. unvollständig durchgeführte oder sogar unterlassene Instandsetzungsmaßnahmen hin. Die vorgefundene Entwässerungssituation sowie die begleitende Vegetation am BÜ und die dadurch herabgesetzte Tragfähigkeit des Gleises haben ebenfalls die Entstehung der Gleislagefehler begünstigt.

Jedoch erst durch die Vernachlässigung der Instandsetzungsmaßnahmen konnten sich die periodischen Gleislagefehler bei der Längshöhe derart entwickeln, dass sie letztendlich zur Entgleisung des Fahrzeugs führten.

Zu derartigen in annähernd gleichem Abstand auftretenden, also periodischen, Gleislagefehlern macht die Ril 821 dem ALV zum Unfallzeitpunkt allerdings keine Vorgaben, wie damit umzugehen ist. Die Ril 821.2001 regelt nur, wie verfahren werden muss, wenn definierte Fehlergrößen bei Einzelfehlern überschritten werden. Wie diese Fehler zueinander liegen und welche Beeinflussung von ihnen ausgeht, findet in der Ril keine Betrachtung. Unter Kapitel 5 „Prüfgrößen und Beurteilungsmaßstäbe“ der Ril 821.2001 ist unter Absatz 2 lediglich erwähnt, dass bei der Einzelfehlerbeurteilung kombiniert auftretende Einzelfehler besonders zu berücksichtigen sind. Wie der ALV beim Auftreten derartiger Mängel allerdings zu handeln hat, wird in der Richtlinie nicht geregelt und liegt allein in seinem Ermessen.

Auffällig sind Parallelen zu weiteren Ereignissen, bei denen leichte und unbeladene Güterwagen mit Einzelachsen im Geschwindigkeitsbereich $80 \text{ km/h} < Hg \leq 120 \text{ km/h}$ in Abschnitten mit mehreren hintereinanderliegenden, periodischen Gleislagefehlern in der Längshöhe entgleisten. Hierzu zählen u.a. die Zugentgleisungen in Gröbers am 11.02.2011, in Löhne am 13.12.2012 und in Lorch (Rhein) am 09.06.2013. Weil in diesen Fällen die Unfallursache nicht eindeutig geklärt werden konnte, sollten für das Ereignis in Lorch und das hier untersuchte Ereignis in Kayhauserfeld Simulationsrechnungen durchgeführt werden. Ziel hierbei sollte der Nachweis sein, dass periodisch auftretende Längshöhenfehler, je nach gefahrener Geschwindigkeit des Zuges, Bauart und Beladung der Fahrzeuge, zu Entgleisungen führen können. In beiden Simulationsrechnungen konnte eine erhebliche Entgleisungsgefahr nachgewiesen werden.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse wurde in den jeweiligen Untersuchungsbericht zu den Zugentgleisungen in Gröbers und Lorch (Rhein) folgende, an das Eisenbahninfrastrukturunternehmen gerichtete, Sicherheitsempfehlungen aufgenommen:

lfd. Nr.	Sicherheitsempfehlung	betrifft Unternehmen
1	Die Richtlinie 821.2001 legt hinsichtlich der Standardabweichung s des Gesamtsignals der Längshöhe, der gegenseitigen Höhenlage und der Pfeilhöhe berechnet über 250 m mit einer Schrittweite von 25 m keine Werte fest, bei deren Erreichen zwingend Unterhaltungsmaßnahmen zu erfolgen haben. Eine Überarbeitung sollte dahin gehend erfolgen, dass für die Standardabweichung ebenfalls SR 100, SRLim oder Grenzwerte festgesetzt werden.	DB Netz AG

Abb. 16: Sicherheitsempfehlung zur Zugentgleisung in Gröbers

3/2017	<p>Gleislagestörungen werden gemäß Ril 821.2001 Abschnitt 5 nach Einzelfehlern beurteilt, wobei kombiniert auftretende Einzelfehler besonders zu betrachten sind. Unter diesen kombiniert auftretenden Einzelfehlern sind auch kurz hintereinander folgende, also zyklische, Längshöhenfehler einzustufen. In Ril 821.1000 Abschnitt 2 und in Ril 821.2001 Tabelle 2 sind Beurteilungsmaßstäbe für Einzelfehler nach der SR Logik definiert und in den folgenden Abschnitten anzuwendende Handlungsanweisungen für den ALV hinterlegt. Für kombiniert auftretende Einzelfehler fehlen konkrete Handlungsanweisungen. Der ALV wird gemäß Ril 821 aufgefordert, kombiniert auftretende Gleislagefehler besonders zu berücksichtigen und nach eigenem Ermessen zu handeln.</p> <p>Es wird empfohlen, das Regelwerk hinsichtlich der kombiniert auftretenden Einzelfehler zu präzisieren.</p> <p>Ziel dieser Maßnahme ist, dem ALV anstatt der Ermessensentscheidung konkrete Handlungsanweisungen beim Auftreten von kombiniert auftretenden Einzelfehlern vorzugeben. Mit dieser Maßnahme soll einerseits bereits die Entwicklung von betriebsgefährdenden kombinierten Gleislagefehlern erkannt und gehemmt werden und andererseits konkrete Maßnahmen zur Gewährleistung eines sicheren Eisenbahnbetriebes definiert werden.</p>	Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)
--------	--	---

Abb. 17: Sicherheitsempfehlung zur Zugentgleisung in Lorch (Rhein)

6 Bisher getroffene Maßnahmen

Auf Basis der Simulationsergebnisse bei den Zugentgleisungen in Lorch und Kayhauserfeld sowie den Erkenntnissen von weiteren Entgleisungsereignissen konnten als deren Ursache periodische Gleislagefehler bei der Längshöhe identifiziert werden. Da die Konzernrichtlinien der DB Netz AG keine ausreichenden Handlungsanweisungen zum Umgang mit periodischen Längshöhenfehlern enthielten, sah die EUB Handlungsbedarf, was in der Sicherheitsempfehlung 3/2017 (Abb. 17) des im Januar 2017 veröffentlichten Untersuchungsberichts zur Zugentgleisung zwischen Kaub und Lorch (Rhein) mündete. Die DB Netz AG als Infrastrukturbetreiber reagierte darauf und regelte den Umgang zur Thematik „Beurteilung perio-

discher Längshöhenfehler“ durch die Technische Mitteilung (TM) 1-2017-10135 I.NPF 1. Die Inkraftsetzung der TM erfolgte am 19.04.2017 mit folgender Maßgabe:

Unbeladene zweiachsige Güterwagen sind aufgrund der geringen Dämpfung der Einzelachsfahrwerke empfindlich gegenüber periodischen Vertikalanregungen. Bereits relativ kleine, kurz nacheinander wirkende Längshöhenfehler können bei bestimmten Fahrgeschwindigkeiten zur Anfachung von Resonanzschwingungen der zweiachsigen Güterwagen bis hin zur vollständigen Radentlastung mit anschließender Entgleisung führen. Dies ist in den letzten Jahren mehrfach geschehen. Daher empfiehlt die Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes, die Regelungen der Ril 821.2001 bezüglich kombiniert auftretender Gleislagefehler zu präzisieren.

Vor diesem Hintergrund wird in Abstimmung mit dem Eisenbahn-Bundesamt ergänzend zur Ril 821.2001 folgende Regelung getroffen:
Werden innerhalb eines 50 m langen Gleisabschnitts mindestens 3 Einzelfehler mit SR100-Überschreitungen der Längshöhe festgestellt und beträgt der Abstand zwischen erstem und letztem SR100-Fehler mindestens 25 m, liegt eine SRlim-Überschreitung vor. Dabei werden SR100-Fehler der linken und rechten Schiene gezählt und aufaddiert. Infolge der SRlim-Überschreitung ist die zulässige Fahrgeschwindigkeit im betroffenen Abschnitt unverzüglich auf 70 km/h zu reduzieren.

Abb. 18: Auszug aus der TM 1-2017-10135 I.NPF 1

Hierzu ist anzumerken, dass die Fehlerkombination im hier untersuchten Fall auch mit Anwendung dieser TM keine Überschreitung dargestellt hätte. Die im Überschreitungsprotokoll der Messfahrt vom 28.06.2013 (siehe Abb. 5 und 6) dokumentierten SR_{100} Überschreitungen im Bereich des BÜ km 6,466 in Kayhauserfeld wären trotz der neu formulierten Regelung weiterhin nicht als periodisch und somit nicht als SR_{lim} -Überschreitung eingestuft worden. Grund hierfür ist, dass es sich zwar um (mindestens) drei Einzelfehler handelt, jedoch der Abstand zwischen dem ersten und dem letzten Einzelfehler mit etwa 18 m weit unter der vom Fachdienst der DB Netz AG festgelegten Mindestanregungslänge von 25 m liegt. Die Begründung der DB Netz AG für die Ermittlung der Mindestanregungslänge ist nachfolgend dargestellt.

Begründung:

Um die unbeladenen zweiachsigen Güterwagen in einen kritischen Fahrzustand (Resonanz) zu bringen, werden ausreichend Energie (Fehler > SR100 und Fahrgeschwindigkeit > 80 km/h) und eine über mehrere Schwingungen etwa konstante Anregungsfrequenz in der Nähe der relevanten Starrkörpereigenfrequenzen der Fahrzeuge (1-2 Hz) benötigt.

Bei 80 km/h entsprechen 2 Hz einer Wellenlänge von etwa 11 m. Um mehr als zwei Anregungszyklen im relevanten Frequenzbereich zu erhalten, muss also der Abstand zwischen erstem und letztem SR100-Fehler größer als 22 m sein. Deshalb werden eine Mindestanzahl von 3 SR100-Überschreitungen und eine Mindestanregungslänge von 25 m festgelegt.

Abb. 19: Auszug aus der Fachtechnischen Stellungnahme der DB Netz AG

Nach einem entsprechenden Hinweis der BEU im Januar 2019 wurde auch von der DB Netz AG erkannt, dass die Fehlerkombination in Kayhauserfeld bei Anwendung der TM 1-2017-10135 I.NPF 1 nicht als SR_{lim} Überschreitung detektiert worden wäre. In der Folge beabsichtigt die DB Netz AG eine Änderung der TM dahingehend, dass der Mindestabstand von drei aufeinanderfolgenden SR_{100} Überschreitungen von 25 m auf 18 m reduziert werden soll, und die neue Regelung zügig in das Regelwerk Ril 821 überführt wird. Unter dieser veränderten Maßgabe werden zukünftig periodische SR_{100} Überschreitungen bei Längshöhenfehlern, wie sie beispielsweise in Kayhauserfeld und Lorch vorgefunden wurden und zur Entgleisung führten, als SR_{lim} -Überschreitungen eingestuft. Bis zum Zeitpunkt des Berichtsabschlusses wurde von DB Netz AG weder eine Anpassung der TM noch eine Überführung des Sachverhalts in die Richtlinie 821 vorgenommen.

Bericht

Simulationsrechnungen zum Unfall in Oldenburg vom 26.06.2013 sowie Variantenrechnungen zu verschiedenen Gleislagen

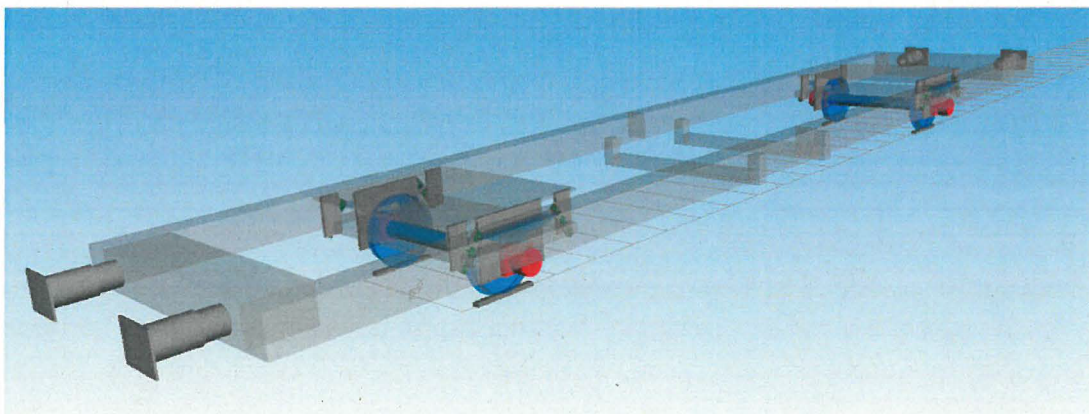
Bericht: SIM052015BE

Datum: 18.12.2015

Auftraggeber: Eisenbahn-Bundesamt
Zentrale der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Rolf Naumann

simtes – Simulation technischer Systeme
Senner Waldweg 18
33659 Bielefeld



Inhaltsverzeichnis

1. Aufgaben und allgemeine Angaben	5
2. Beschreibung des Unfallhergangs.....	6
3. Gleislage	7
3.1. RAILab Messungen: Auswertung und Vergleich mit Fahrzeugmoden	7
3.2. Trassierung	12
3.3. Gleislagen nach ERRI B176.....	12
4. Kontaktgeometrie.....	12
5. Modellerstellung	13
5.1. Koordinatensystem	14
5.2. Wagenkasten	14
5.3. Fahrwerk	16
5.3.1. Radsatz	17
5.3.2. Radsatzlager	17
5.3.3. Achshalter und Anschläge.....	18
5.3.4. Schakenaufhängung.....	18
5.3.5. Blattfeder	19
5.3.6. Zug- / Stoßeinrichtung	21
5.4. Aufbau Einzelfahrzeug.....	23
5.5. Aufbau 3-Wagen-Modell.....	23
6. Analyse.....	24
6.1. Radsatzlasten	24
6.2. Fahrstabilität.....	25
6.3. Eigenverhalten	26
7. Auswertung	26
8. Analyse Unfallursache	27
8.1. Ergebnisse	27
9. Zusammenfassung	28
10. Unterschriften.....	29

Quellenverzeichnis

- [1] DIN EN 14363 Bahnanwendungen – Zulassungsprozess bezüglich der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche; Deutsche Fassung prEN 14363:2013.
- [2] UIC Eisenbahntechnische Publikationen, Berichte & Technische Dokumente (vormalig ERRI) B 176 „DREHGESTELLE MIT RADIAL EINSTELLBAREN RADSÄTZEN“, ETF Paris, Frankreich, 1989 – 1993.
- [3] Bericht „Radprofilabzeichnung zur Eisenbahn-Unfalluntersuchung“, Dokument 14-20688-I.TVI23-PR01, Prüfstelle DB Systemtechnik, Prüflabor: Prüfungen Fahrtechnik, vom 25.03.2014.
- [4] EN 14067-1 Bahnanwendungen Aerodynamik Teil 1: Formelzeichen und Einheiten Deutsche Fassung EN 14067-1:2003.
- [5] Zacher, M.: *Bericht „Untersuchungen zur Plausibilität der Simulationsrechnungen von SIMTES zu den Unfällen von leeren 2-achsigen Güterwagen bei Lorch und Oldenburg.“* Dokument 14-I-NVT 8 Entgleisungen Lorch und Oldenburg vom 09.12.2014, DB Netz AG, I.NVT8 Systemschnittstelle Infrastruktur, Völckerstraße 5, 80939 München.
- [6] Lee, Eung-Shin: *Untersuchung des Entgleisungsverhaltens von Güterwagen mit Mehrkörpersystem (MKS)- Modell unter Berücksichtigung der COULOMBSchen Reibung der geschichteten Blattfeder*, Dissertation an der Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme, TU Berlin, Prof. Hecht, 2003.
- [7] ORE Bericht ORE C 138 Bericht Nr. 8, 1984 *Zulässige Höchstwerte der Y- und Q-Kräfte und Entgleisungskriterium*, Utrecht, September 1984.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Unfallfahrzeug Uiks 635.....	6
Abbildung 2-2: Entgleisungsstelle Bahnübergang bei km 6,4 – km 6,5.....	6
Abbildung 2-3: Beschädigungen am Radsatzhalter des Unfallfahrzeugs.....	7
Abbildung 3-1: Ausschnitt Überschreitungsprotokoll RAILab Messung vom 28.06.13	7
Abbildung 3-2: RAILab Gleislage vom 28.06.2013 km 7069 – km 5925.....	8
Abbildung 3-3: Ausschnitt RAILab Gleislage vom 28.06.13 km 6520 – km 6440	9
Abbildung 3-4: Eigenfrequenzen des Fahrzeugs und Anregungsfrequenzen durch Gleislage.....	11
Abbildung 5-1: Beschriftung Unfallfahrzeug.....	13
Abbildung 5-2: Zeichnung Gesamtansicht Fwg 635.01.000.002.....	13
Abbildung 5-3: Definition des Koordinatensystemes aus EN 14067-1 [4].....	14
Abbildung 5-4: Zeichnung Untergestell Fwg 635.03.000.002.....	15
Abbildung 5-5: Modell Wagenkasten	15
Abbildung 5-6: Doppelschakenaufhängung aus Fwg 637.0.02.000.001.....	16

Abbildung 5-7: SIMPACK Submodell Fahrwerk	17
Abbildung 5-8: Radsatz BA 077 aus Zeichnung Fwg 802.02.002.77	17
Abbildung 5-9: Rollenachslager BA 088 aus Zeichnung Fwg 825.02.002.88	18
Abbildung 5-10: Beschränkung durch Achshalter aus Fwg 637.0.02.000.001	18
Abbildung 5-11: Modellierung Doppelschakenaufhängung	19
Abbildung 5-12: Blattfeder aus Fwg 637.0.02.020.001	19
Abbildung 5-13: SIMPACK Modellierung Blattfeder	20
Abbildung 5-14: Kennlinie und Hysterese der Blattfeder	20
Abbildung 5-15: Bild Puffer und Zughaken des Unfallzuges und Pufferzeichnung aus Zeichnung Fwg 000.06.003.20 <i>Hülsenpuffer drehbar 105mm Hub 620mm Länge 59Mp Endkraft</i>	21
Abbildung 5-16: Arbeitsdiagramm Hülsenpuffer aus Fwg 000.06.003.20 und SIMPACK Modell ..	21
Abbildung 5-17: Pufferpaar	22
Abbildung 5-18: SIMPACK Pufferkennlinie mit den Varianten <i>weich</i> und <i>hart</i>	22
Abbildung 5-19: Zugeinrichtung und Kennlinie nach 3Fwg000.0.05.017.113	22
Abbildung 5-20: SIMPACK Modell Einzelfahrzeug Uiks 635	23
Abbildung 5-21: SIMPACK 3-Wagen-Modell Uiks-Uiks-Uiks 635	23
Abbildung 6-1: Simulationsrechnungen Ruhelage Einzelfahrzeug	24
Abbildung 6-2: Laufstabilität SQ, SY-Kräfte $v=100$ km/h $v=120$ km/h	25
Abbildung 6-3: Laufstabilität SQ, SY-Kräfte $v=140$ km/h $v=160$ km/h	25
Abbildung 8-1: Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Radanheben Wagen 2 und 3, Fahrzeug Uiks635 mit Hysterese, ohne RS-Halter	27
Anlage A-3: 2: Q-Kräfte TP 20 Hz Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Uiks635 mit Hysterese mit RS-Halter	34

1. Aufgaben und allgemeine Angaben

Es sollen Simulationsrechnungen zur Zugentgleisung Oldenburg am 29.06.13 durchgeführt werden. Die Unfallursache konnte nicht eindeutig geklärt werden. Hinsichtlich der Zugentgleisung sollen die in der Anfrage und dem Angebot beschriebenen Fragestellungen durch Simulationsrechnungen untersucht werden. Die Berechnungen werden mit dem Mehrkörpersimulationsprogramm SIMPACK Version 9.5 durchgeführt.

im Auftrag vom

Eisenbahn-Bundesamt
Zentrale der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
Untersuchungsbezirk Essen

Herschelstraße 3
30159 Hannover

Ansprechpartner: |
Mail:

durchgeführt von

simtes – Simulation technischer Systeme
Prof. Dr.-Ing. Rolf Naumann

Senner Waldweg 18
33659 Bielefeld

Bearbeiter: Dr. Naumann

Umfang des Berichtes und der Anlagen:

Bericht: Seiten 29
Anlagen: Seiten 6

2. Beschreibung des Unfallhergangs

Am Samstag, 29.06.2013 um 00:47 Uhr, entgleiste die Zugfahrt DGS 83799 (Abelitz - Magdeburg) auf der Strecke Oldenburg - Leer, Strecken-Nr. 1520-0, etwa in km 6,4 im Streckenabschnitt Kayhauserfeld – Oldenburg (Oldb.) mit einer Achse eines leeren Tiefladewagens der Gattung Uiks Bauart 635. Der Zug bestand aus mehreren Wagen dieser Bauart und wird für den Transport von Rotorblättern für Windräder eingesetzt. In Abbildung 2-1 ist das Unfallfahrzeug mit den Anbauteilen (Flansch) für die Sicherung der Ladung abgebildet.



Abbildung 2-1: Unfallfahrzeug Uiks 635

Die Entgleisungsstelle liegt in der Nähe eines Bahnübergangs wobei deutlich mehrere Längshöhenfehler in der Gleislage zu erkennen sind. Das Unfallfahrzeug fuhr in Richtung **fallender** Kilometrierung.

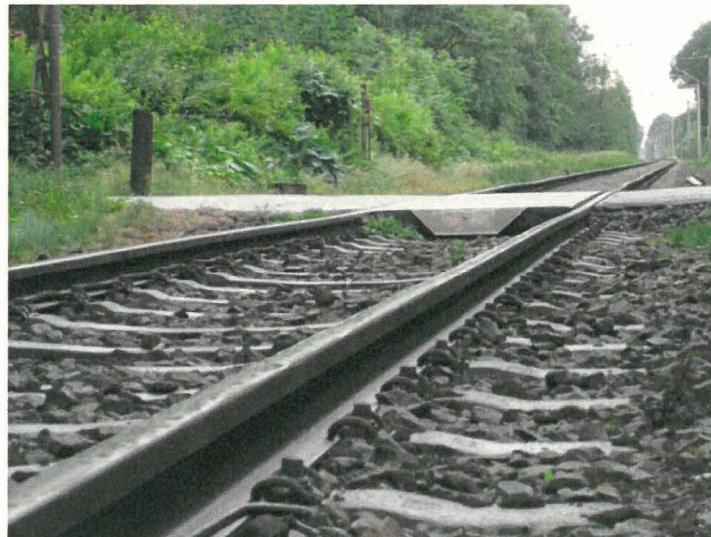


Abbildung 2-2: Entgleisungsstelle Bahnübergang bei km 6,4 – km 6,5

In Abbildung 2-3 sind die Beschädigungen des Radsatzhalters am hinteren Fahrwerk zu erkennen. Das Fahrzeug ist mehrfach entgleist und wieder eingeleist.



Abbildung 2-3: Beschädigungen am Radsatzhalter des Unfallfahrzeugs

Zwischen km 5,925 und km 7,069 liegen RAILab Gleislagedaten aus Messung vom 28.06.2013 vor, wobei im ersten Entgleisungsbereich drei SR 100 Überschreitungen zwischen 14 mm und 15 mm auf einer Länge von 18 m aufgezeichnet wurden (siehe Abbildung 2-2 hintere Gleislage). Die RAILab Messungen entsprechen einer formtreuen Gleislage im Wellenlängenbereich zwischen 1 m – 70 m. Die Messungen sind für die Simulationsrechnung in Richtung der fallenden Kilometrierung aufzubereiten.

Die Unfallursache konnte nicht eindeutig geklärt werden, da die Gleislagemessungen kein Überschreiten der SR Lim Fehler zeigen und ebenso keine offensichtlichen Mängel am Fahrzeug vorlagen. Das Auftreten von drei SR 100 Fehlern in kurzem Abstand kann ein Hinweis auf die Unfallursache sein. Daher sollen durch Simulationsrechnungen die Unfallursachen ermittelt werden.

3. Gleislage

3.1. RAILab Messungen: Auswertung und Vergleich mit Fahrzeugmoden

Basierend auf den RAILab Messungen wird die Gleislage vor der Entgleisungsstelle hinsichtlich der Periodizität und den daraus resultierenden Anregungsfrequenzen bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten untersucht.

Das Überschreitungsprotokoll der Messung zeigt die gelb markierten Gleislagestörungen (Abbildung 3-1) im Bereich der Entgleisungsstelle:

1520-0 Oldenburg – Leer			28.06.2013 10:46			RL13062801.srh (14)		
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 <1430/>SR100 (mm)	Spw 1435 Mittelwert <TSI (mm)
4,020 + 000		15						
4,015 + 000		15						
4,700 + 000		16						
4,695 + 000		16						
6,464 + 000		14						
6,479 + 000		15						
6,482 + 000		14						
10,600 + 000				106				

Abbildung 3-1: Ausschnitt Überschreitungsprotokoll RAILab Messung vom 28.06.13

Die gemessenen Gleislagedaten der Strecke 1520-0 Streckenkilometer 6,0 bis 7,0 und die Trassierung (vgl. Kap. 3.2) in diesem Abschnitt wurden von DB Netz AG für die Simulation in SIMPACK aufbereitet und vom AG zur Verfügung gestellt. Die aufbereiteten formtreuen Daten konnten problemlos in SIMPACK eingelesen und verarbeitet werden. Da die Fahrtrichtung des Unfallfahrzeugs in entgegengesetzter Fahrtrichtung des Gleismesszuges stattfand, mussten die Gleislagedaten gespiegelt werden. In Abbildung 3-2 ist der Längshöhen- und Spurweitenverlauf für den Messabschnitt dargestellt. Deutlich ist in der Umgebung der Entgleisungsstelle zwischen km 6520 und km 6440 eine gleichzeitige Erhöhung bei den Längshöhenfehlern beider Gleise zu erkennen.

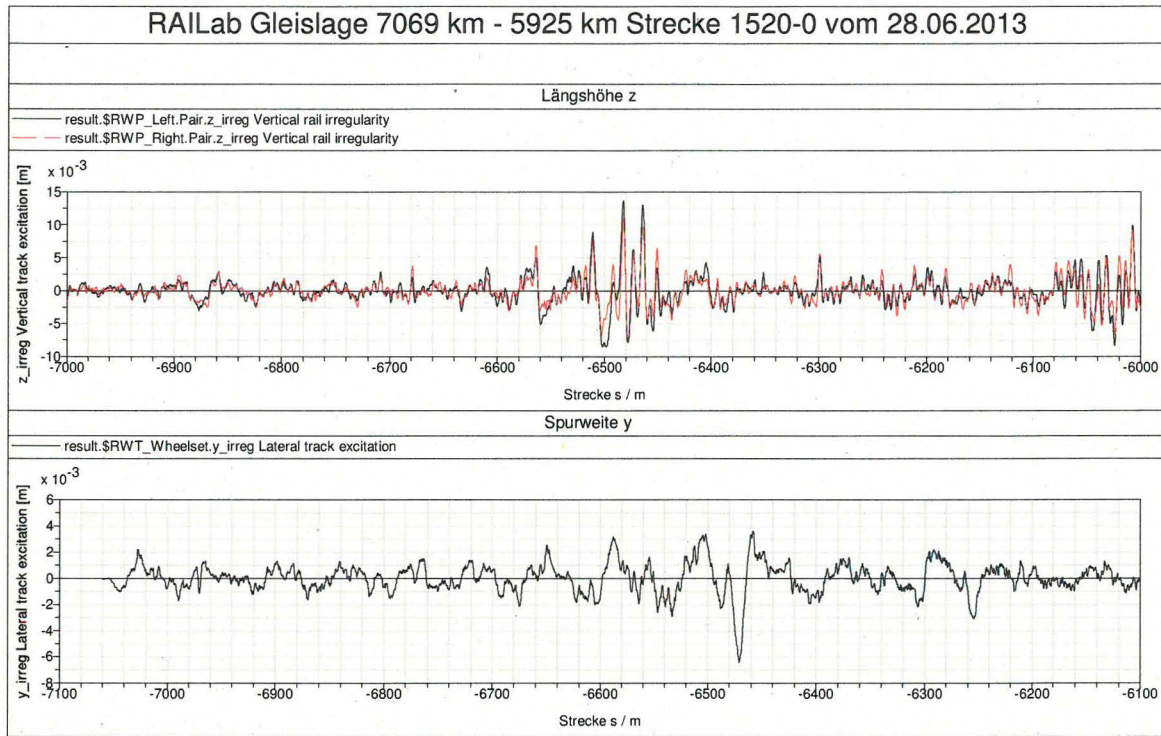


Abbildung 3-2: RAILab Gleislage vom 28.06.2013 km 7069 – km 5925

In Abbildung 3-3 ist dieser Abschnitt herausgehoben. Eine Auswertung der Längshöhenfehler zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem Auswerteprotokoll des Messzuges, wobei nicht alle Überhöhungen in dem Protokoll ausgewiesen werden, da der Grenzwert nicht überschritten wurde. Insbesondere ist eine Periodizität in dem Längshöhenfehler zu erkennen, die für das linke und rechte Gleis parallel verlaufen und insgesamt sind 4 Schwingungsperioden zu erkennen (siehe Abbildung 3-3). Es liegt somit keine Verwindung sondern eine fast ausschließlich vertikale Auslenkung vor.

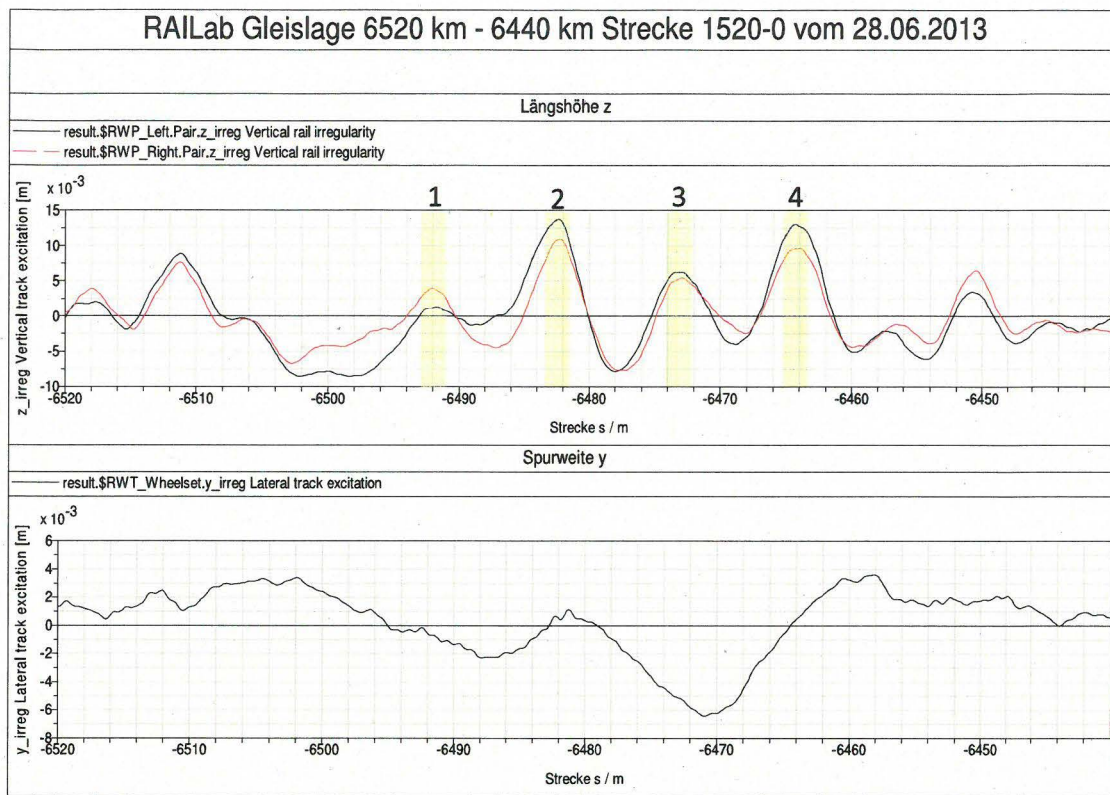


Abbildung 3-3: Ausschnitt RAILab Gleislage vom 28.06.13 km 6520 – km 6440

Die Auswertung der Periodizität λ der vorliegenden Gleislage ist in Tabelle 3-1 dargestellt. Es ergibt sich eine periodische Gleislage mit einer mittleren Wellenlänge von **9,28 m** mit vier ausgeprägten Schwingungen mit einer Amplitude zwischen **4 mm** und **13 mm**. Die Abweichungen dieser Werte zu den Werten des Überschreitungsprotokolls (siehe Abbildung 3-1) ist der Filterung und Rundung für die Beurteilung der Gleislage nach DB Ril 821 zuzuschreiben.

Tabelle 3-1: Auswertung der Periodizität der Gleislage

Längshöhenfehler Fahrtrichtung fallend ¹				
Periode	Weg s / km	z re / mm	z li / mm	λ / m
1	6,4924		3,9 mm	10
	6,4922	1,3 mm		9,6
2	6,4826	13,7 mm		9,1
	6,4824		10,9 mm	9,2
3	6,4735	6,1 mm		9
	6,4732		5,5 mm	8,8
4	6,4645	13,0 mm		
	6,4644		9,6 mm	
mittlere Periode				9,28


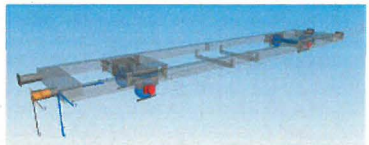
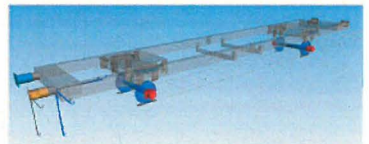


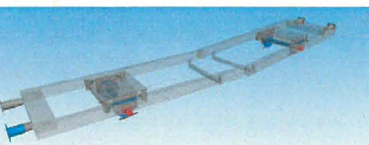
Für die Untersuchungen wird das Mehrkörper-Simulationsmodell in SIMPACK Version 9.5 für die Simulation des dynamischen Verhaltens des Fahrzeugs erstellt. In Kapitel 5 wird der Aufbau des

¹Nach DB Ril 821 „Oberbau inspizieren“ vom 01.01.2012 liegen die Bewertungsschwellen bei Strecken zwischen 80 km/h < v ≤ 120 km/h für Längshöhenfehler bei SR 100 > 13 mm und SR Lim > 17 mm.

Modells beschrieben. Entscheidend für die Bewegungen des Fahrzeugs bei einer Anregung (Gleislage) ist das Eigenverhalten des Fahrzeugs, das durch eine lineare Analyse bestimmt werden kann. Das Eigenverhalten des Fahrzeugs wird dabei durch die *Eigenmoden* beschrieben, wobei jedem Eigenmode eine *Frequenz*, eine *Dämpfung* und eine *Eigenform* (Auslenkung) zugeordnet sind. Wird das Fahrzeug periodisch mit der Eigenfrequenz angeregt, kommt es abhängig von der Dämpfung zu einer **Verstärkung der Auslenkung (Bewegung)**.

Die Eigenmodeanalyse des aufgebauten Simulationsmodells vom unbeladenen Einzelfahrzeug Uiks635 ergibt Eigenmoden (siehe Tabelle 3-2), die sich im Wesentlichen aus der Abbildung des Wagenkastens durch zwei Körper (siehe auch Kapitel 5) und den Blattfedersteifigkeiten. Das verwendete Koordinatensystem ist in Kapitel 5.1 erläutert.

Tabelle 3-2: Eigenmoden und Eigenfrequenzen des unbeladenen Fahrzeugs Uiks 625

	Eigenform	Frequenz / Hz	Dämpfungsgrad
Drehung um x-Achse / Wanken / Sway		2,12	0,54
Nicken um y-Achse / Pitch		2,36	0,30
Huben / Lift		2,61	0,34
Torsion um x-Achse		7,84	
Torsion um y-Achse		8,80	
Torsion um z-Achse		14,46	

Die Analyse der Gleislage zeigt eine periodische Anregung über die Radsätze mit einer Wellenlänge von 9 m im **Wegbereich**. Durch die Fahrt des Fahrzeugs über die Gleise mit einer bestimmten Geschwindigkeit wird daraus eine periodische Anregung im **Zeitbereich**. Fällt diese mit einer Eigenfrequenz des Fahrzeugs zusammen, wird der zugehörige Eigenmode angeregt und das Fahrzeug fängt an zu schwingen.

Aus der Gleislage ergeben sich bei verschiedenen Fahrzeuggeschwindigkeiten folgende Anregungsfrequenzen:

Tabelle 3-3: Anregungsfrequenzen der Gleislage bei verschiedenen Geschwindigkeiten

v in km/h	mittlere Anregungsfrequenz in Hz
60	1,80
70	2,09
80	2,39
90	2,69
100	2,99
110	3,29
120	3,59
130	3,89
140	4,19
150	4,49
160	4,79

Die Gegenüberstellung der Anregungsfrequenzen der Gleislage mit den Eigenfrequenzen des unbeladenen Fahrzeugs ergibt folgendes Diagramm:

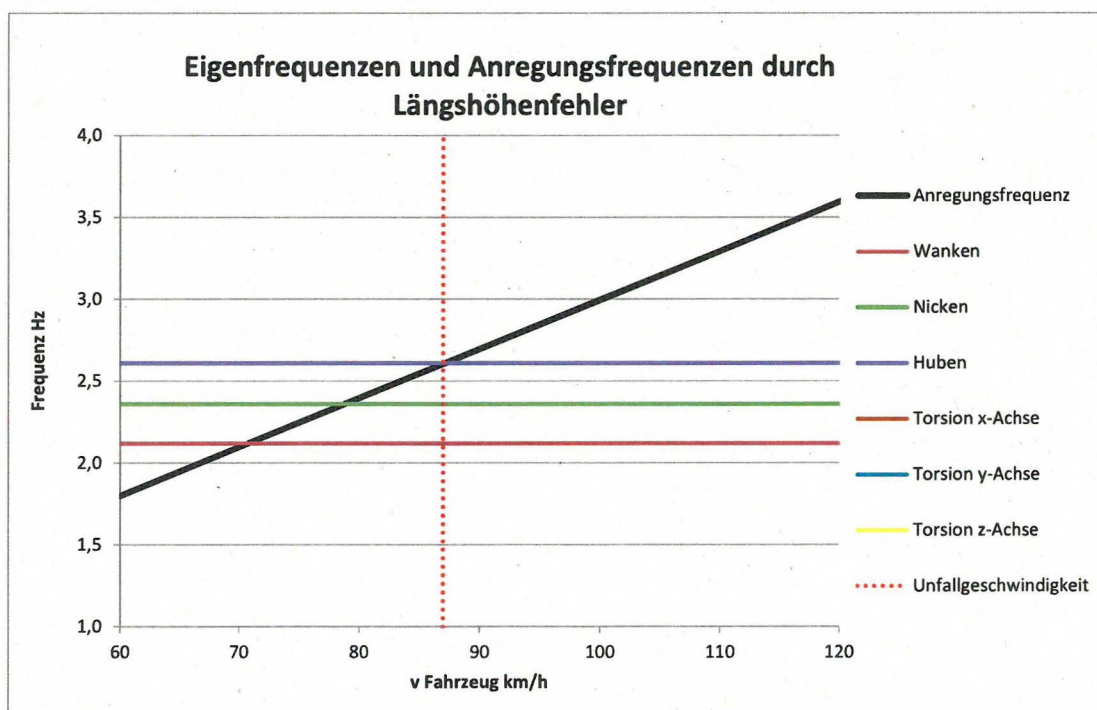


Abbildung 3-4: Eigenfrequenzen des Fahrzeugs und Anregungsfrequenzen durch Gleislage

Im relevanten Geschwindigkeitsbereich um 80 km/h liegen die Eigenschwingungen des Fahrzeugs und der Anregung übereinander. Zum Unfallzeitpunkt betrug die Fahrzeuggeschwindigkeit ca. 87 km/h, daraus ergibt sich eine Anregungsfrequenz aus der Gleislage von 2,61 Hz. Dies entspricht exakt der Eigenfrequenz der Hubbewegung des Fahrzeugs, die damit besonders angeregt wird.

3.2. Trassierung

Die Trassierung der Strecke mit Radien und Überhöhungen im Abschnitt km 6,0 bis km 7,0 wurde ebenfalls von DB Netz für die Simulation aufbereitet und wird entsprechend berücksichtigt. Der betrachtete Streckenabschnitt liegt in einem sehr großen Bogenradius ohne geplante Überhöhung, so dass sich aus fahrtechnischer Sicht ein vernachlässigbarer Einfluss aus der Bogenfahrt ergibt (entspricht einer Fahrt im geraden Gleis). Bei allen Simulationsrechnungen wurde die vorliegende Trassierungsfolge für den Fahrweg Kayhauserfeld – Oldenburg entgegen der Messrichtung des RAILab verwendet (Umrechnung notwendig).

3.3. Gleislagen nach ERRI B176

In dem Bericht ERRI B176 sind die Leistungsdichtespektren für typische Gleislageanregungen in horizontaler und lateraler Richtung definiert. In SIMPACK sind die Koeffizienten für das Spektrum einer guten (Ausbaustrecken) und einer schlechten (Nebenstrecken) Gleislage abgelegt und es können verschiedene Anregungen im Zeitbereich durch die Wahl verschiedener Startwerte erzeugt werden. Für die vergleichende Simulation mit typischen Gleislagen wurden folgende Gleislagen mit einer Wellenlänge zwischen 3 m und 25 m erzeugt:

ERRI low z: 3,6 mm ERRI low y: 2,5 mm

ERRI high z: 5,5 mm ERRI high y: 4,2 mm

Die Diagramme zu den Gleislagedaten sind in Anlage A-1 dargestellt. Für die linke und rechte Schiene werden jeweils unterschiedliche Anregungen erzeugt.

4. Kontaktgeometrie

Wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten von Schienenfahrzeugen hat der Rad-Schiene Kontakt. In SIMPACK können gemessene Rad- oder Schienenprofile für die Berechnungen verwendet werden. Üblicherweise werden die Standardprofile Radprofil S1002 und Schienenprofil UIC-60 E1 verwendet. Von dem Unfallfahrzeug wurden die Radprofile abgezeichnet und liegen in dem Bericht [3] vor. Von jedem Radsatz wurden 4 Messungen durchgeführt und die Radradien vermessen. Ein Vergleich der vorhandenen Messungen eines Radsatzes zeigt keine erheblichen Unterschiede, daher wurden die Messungen ausgewählt mit denen die Simulationsrechnungen (insbesondere die Berechnung der Kontaktgeometrien) problemlos durchgeführt werden konnten. Die Messdaten wurden für SIMPACK geeignet aufbereitet. Folgende Messungen und Daten wurden verwendet:

Tabelle 4-1: Verwendung der gemessenen Radprofile

	Radsatz 447 457 (Einbauposition 2):	Radsatz 252 981 (Einbauposition 1):
Radprofil	Messung 3 (SIMPACK Datei: Radprofil_RS_447_rechts_v3.prw)	Messung 4 (SIMPACK Datei: Radprofil_RS_252_rechts_v4.prw)
Raddurchmesser	rechts: 700 mm links: 698 mm	rechts: 703 mm links: 705 mm

Für die Simulationsrechnungen mit dem Radprofil S1002 wird bei allen Fahrzeugen ein Raddurchmesser von 704 mm verwendet.

In der Anlage A-2 sind die zugehörigen Kontaktgeometrien mit SIMPACK ausgewertet dargestellt. Für alle Simulationsrechnungen wird eine Spurweite von 1435 mm und eine Schieneneinbauneigung von 1/40 verwendet.

5. Modellerstellung

Das Unfallfahrzeug besitzt folgende Daten (siehe Abbildung 5-1):

Gattung:	Tiefladewagen Uiks
Bauart:	635 (ohne Drehschemel)
Baujahr:	nach 1970
Laufwerk:	Doppelschakenfahrwerk
Radsätze:	Bauart: BA 077 RS-Nr.: 447457+82 vorlaufend (entgleist): Bauart: BA 077 RS-Nr.: 252981-73 nachlaufend (nicht entgleist)
Gewicht:	12.400 kg (ohne Drehschemel / mit Drehschemel 12.800 kg)
Zuladung:	27 t



Abbildung 5-1: Beschriftung Unfallfahrzeug

In Abbildung 5-2 ist die Gesamtansicht des Fahrzeugs zu sehen. Daraus ergeben sich folgende Daten:

LüP:	15760 mm (Puffer abgesenkt, leeres Fahrzeug)
Radsatzstand:	9000 mm
Höhe Puffer:	640 mm (entspricht Höhe Wagenkasten (WK))
Breite WK:	2850 mm
Breite ü. a.:	3020 mm

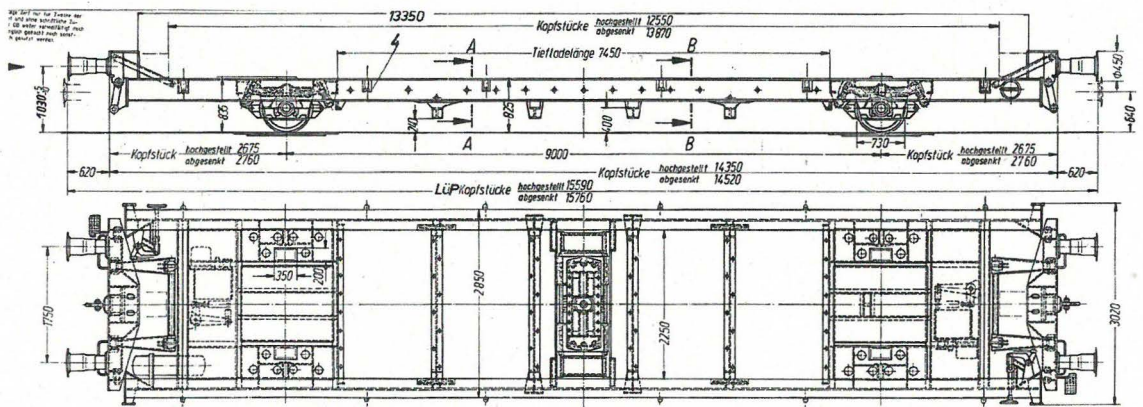


Abbildung 5-2: Zeichnung Gesamtansicht Fwg 635.01.000.002

Für die Modellerstellung werden das Verhalten und die Eigenschaften der wichtigsten Elemente durch Körper, Kraftelemente oder Gelenke abgebildet. Dies sind

- 2 Radsätze (starrer Körper)
- 4 Doppelschaken-Aufhängungen (elastisch und gelenkig gelagerte Stäbe)
- 4 Blattfedern (nichtlineare Feder-Dämpfer-Elemente)
- 4 Radsatzführung (Radsatzhalter als Körper mit Anschlägen als Kontaktelementen)
- 1 Wagenkasten (dargestellt durch zwei Körper die elastisch miteinander verbunden sind)

- 4 Puffer (Körper mit nichtlinearen Feder-Dämpfer Elementen und Kontaktgeometrie der Teller)
- 2 Zugeinrichtung (nichtlineare Feder-Dämpfer Kennlinie)

Im Folgenden wird die Modellierung der Elemente erläutert. Für die Modellerstellung wurden vom AG Unterlagen und Zeichnungssätze zur Verfügung gestellt. Für die Modellierung sind die Geometrien (Koppelpunkte), Massen, Trägheitsmomente, Steifigkeiten und Dämpfungen der Elemente notwendig. In den Unterlagen nicht enthaltene Daten wurden (vereinfacht) berechnet oder plausibel abgeschätzt.

In der Zeichnung *Beiblatt 2 zu 1 Fwg 637.0.02.000.001 Federspiel und Pufferstand Berechnung für Parabelfeder* sind die Daten für die gefederten und unabgefederten Massen enthalten, die Grundlage der vorliegenden Modellierung sind. Es ergeben sich folgende Daten:

Gewicht der unabgefederten Wagenteile:

- 2 Radsätze 1776 kg
- 4 Radsatzlager 316 kg
- 4 Parabelfedern 328 kg

Summe: **2420 kg** (je Fahrwerk 1210 kg)

Bei einem Gesamtgewicht von **12.400 kg** ergibt sich für die gefederte Masse ein Gewicht von **9980 kg**.

5.1. Koordinatensystem

Für die Modellierung und die anschließende Auswertung wird das Koordinatensystem nach EN 14067-1 [4] verwendet:

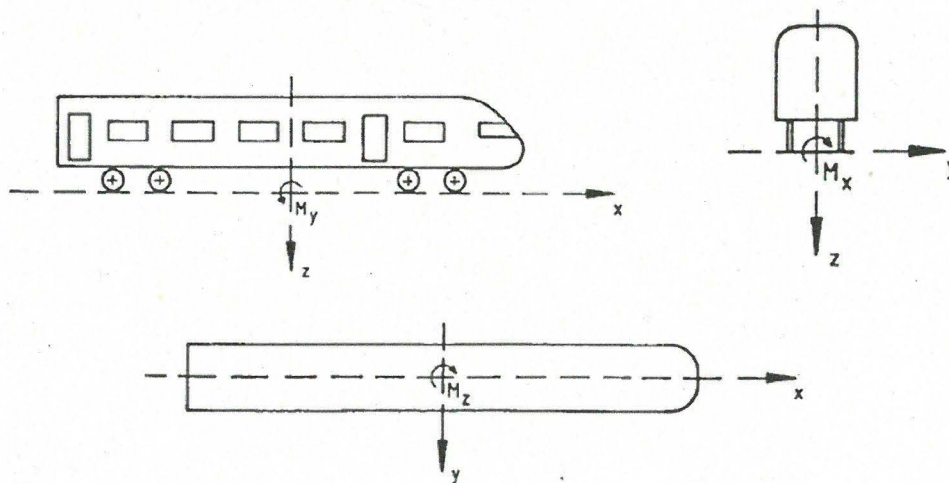


Abbildung 5-3: Definition des Koordinatensystemes aus EN 14067-1 [4]

5.2. Wagenkasten

Der Wagenkasten ist eine Rahmenstruktur bestehend aus Stahlprofilen (Abbildung 5-4). Die zwei seitlichen Längsträger werden über Querstreben miteinander verbunden und an den Enden sind jeweils Kopfstücke montiert die als Aufnahme für den Pufferträger mit den Puffern dienen.

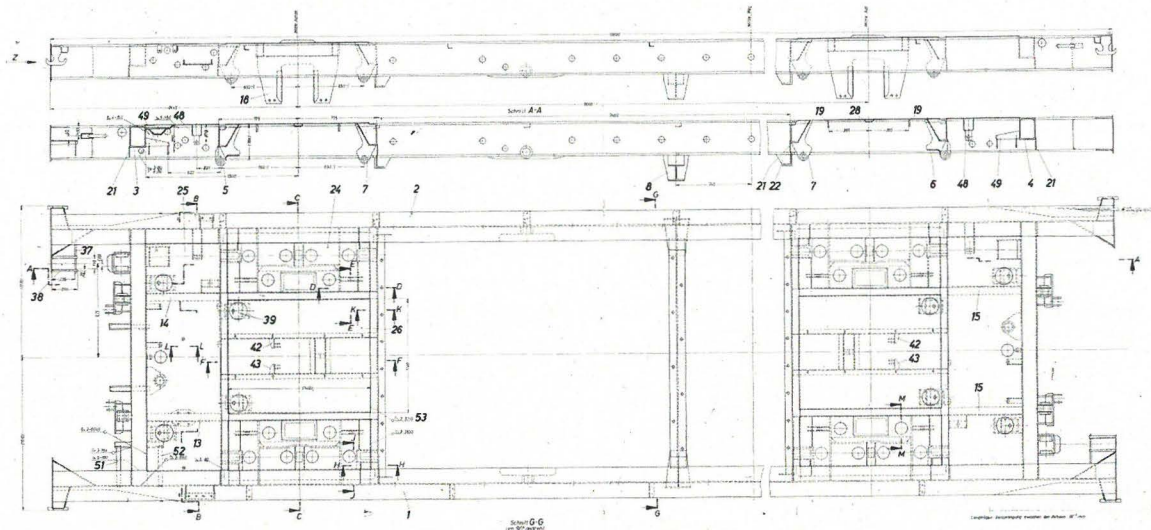


Abbildung 5-4: Zeichnung Untergestell Fwg 635.03.000.002

Das Modell des Wagenkastens besteht aus zwei Hälften, deren Struktur aus der Zeichnung des Untergestells abgeleitet wurde (Abbildung 5-5). Jede Hälfte wird als Körper modelliert der jeweils aus zwei Doppel-T-Trägern (Längsträger), Querstreben, Platten für die Fahrwerksaufnahmen und die Kopfstücke besteht. Über die Materialdichte wurden anhand dieser Geometrie das Gewicht an die Wagenkastenmasse angepasst und anschließend aus der Massenverteilung die unbekannten Trägheitsmomente in SIMPACK berechnet.

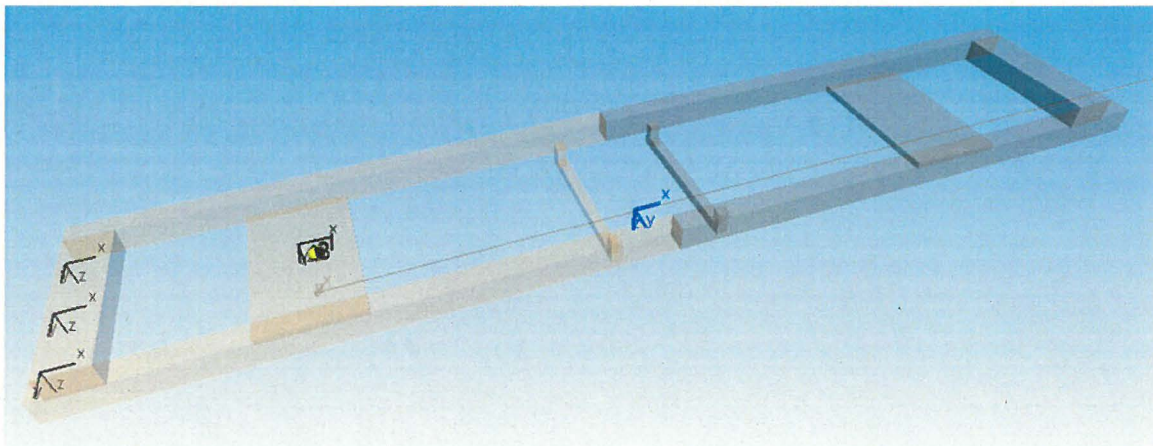


Abbildung 5-5: Modell Wagenkasten

Folgende Eigenschaften besitzt jeder Körper:

Mass = 4580.83 kg

Schwerpunktlage CG $[x, y, z] = [0.166726, 0, -0.60736]$ m

Inertia $[I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}] = [5602.89, 22575.7, 28065.8]$ kg m²

Daraus ergibt sich für den gesamten Wagenkasten:

Mass = 9161.66 kg

Schwerpunktlage CG $[x, y, z] = [4.5, 0, -0.60736]$ m

Inertia $[I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}] = [11205.8, 217182, 228163]$ kg m²

Die beiden Wagenkastenhälften sind über ein Feder-Dämpfer-Element mit 3 translatorischen und 3 rotatorischen Steifigkeiten und Dämpfungen verbunden. Basierend auf den Ergebnissen von

FE-Untersuchungen [5] wurden die Steifigkeiten so angepasst, dass sie in einem Bereich von 7 Hz – 14 Hz liegen mit einer Dämpfung zwischen 0,1 und 0,2 (siehe Abbildung 3-4).

Transportflansch: Für den Transport der Rotorblätter wird auf der Ladeebene des Wagens ein Adapter / Flansch montiert. Dieser hat ein Gewicht von 700 kg und wird als Quader an dem Wagenkasten modelliert. Aus den Zeichnungen werden folgende Schwerpunktlagen angenommen:

Schwerpunktlagen in x-Richtung: +3115 mm
y-Richtung: 32 mm
z-Richtung: Ladeebene

Das zusätzliche Flanschgewicht wird bei den Unfalluntersuchungen verwendet. Da nicht eindeutig erkennbar ist in welcher Richtung der Flansch montiert ist, werden zwei Simulationsrechnungen mit unterschiedlichen Schwerpunktlagen in x-Richtung durchgeführt.

5.3. Fahrwerk

Bei dem Fahrwerk handelt es sich um ein übliches Einzelachsfahrwerk mit Doppelschakenaufhängung gemäß Abbildung 5-6. Die Radsatzaufhängung besteht im Wesentlichen aus dem *Radsatzlager*, der *Blattfeder* mit *Federbolzen* und den *Schaken*. Kennzeichnend für die Schakenaufhängung ist die Aufhängung und Verbindung der oberen und unteren Schake durch Schakensteine wodurch eine Querbewegung des Radsatzes bei gleichzeitiger (lastabhängiger) Reibdämpfung ermöglicht wird, die durch den Achshalter (Anschlag) beschränkt wird.

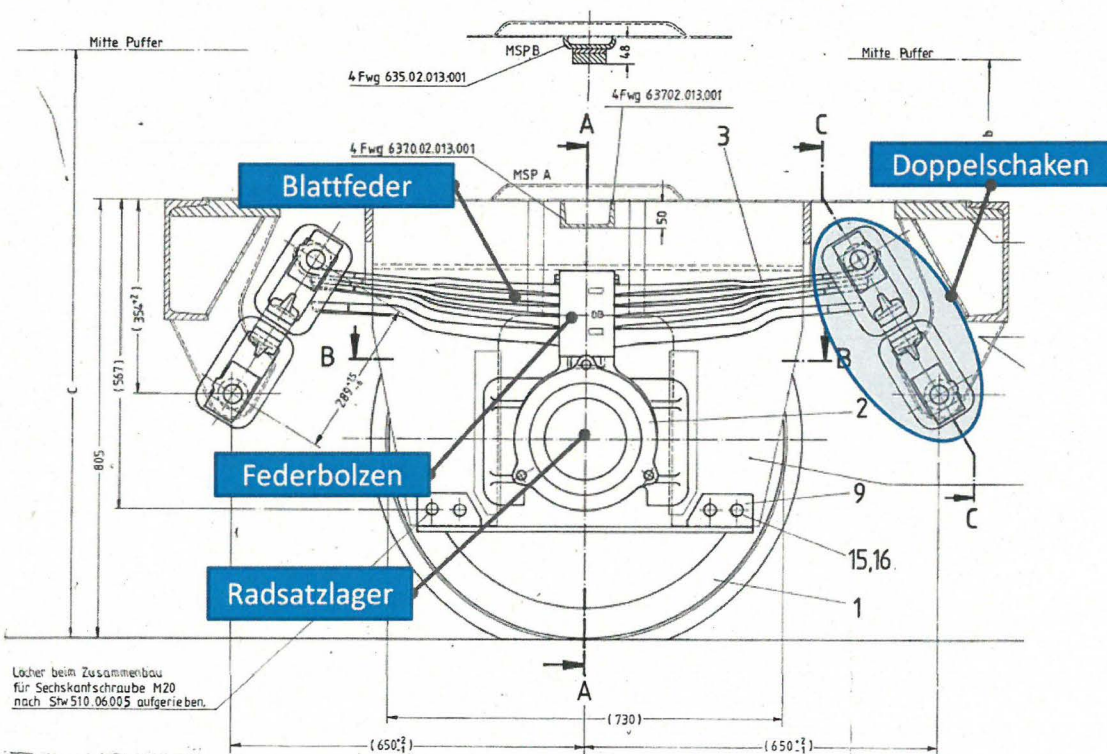


Abbildung 5-6: Doppelschakenaufhängung aus Fwg 637.0.02.000.001

In Abbildung 5-7 ist das SIMPACK Modell des Fahrwerks mit den Elementen *Radsatzwelle*, *Radsatzlager*, *Achshalter*, *Schakenaufhängung*, *Blattfeder* mit *Federbolzen* dargestellt. Die geometrischen Daten für die Koppelpunkte wurden den Zeichnungen entnommen.

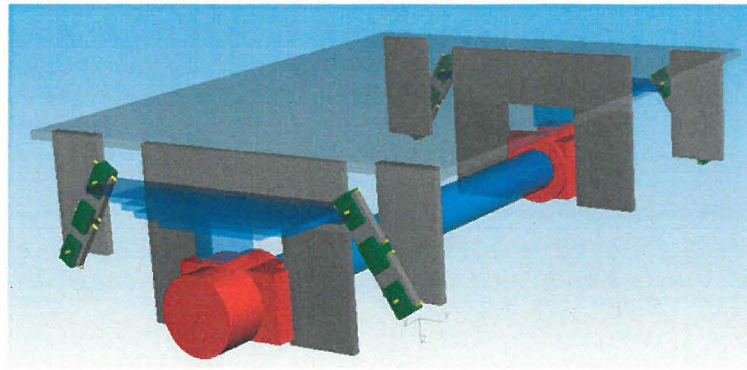


Abbildung 5-7: SIMPACK Submodell Fahrwerk

Im Folgenden werden die Modellierungselemente beschrieben.

5.3.1. Radsatz

In dem Fahrzeug sind Radsätze der Bauart BA 077 mit einem nominellen Raddurchmesser von 760 mm und einem Gewicht von 920 kg eingebaut.

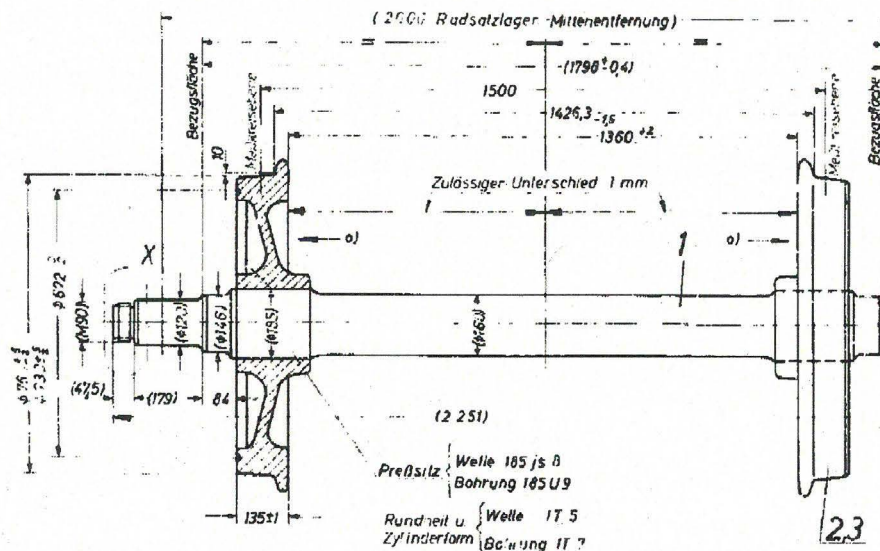


Abbildung 5-8: Radsatz BA 077 aus Zeichnung Fwg 802.02.002.77

Der Radsatz wird durch einen starren Körper mit folgenden Eigenschaften abgebildet:

Mass = 920 kg

Inertia $[I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}] = [1000, 100, 1000] \text{ kg m}^2$

Die verwendeten Radprofile sind in Kapitel 4 ausführlich beschrieben.

5.3.2. Radsatzlager

Für die Radsatzlager wird in dem Fahrzeug Uiks 635 ein Rollenachslager BA 088 mit einem Gewicht von 79 kg angenommen. (siehe Abbildung 5-9).

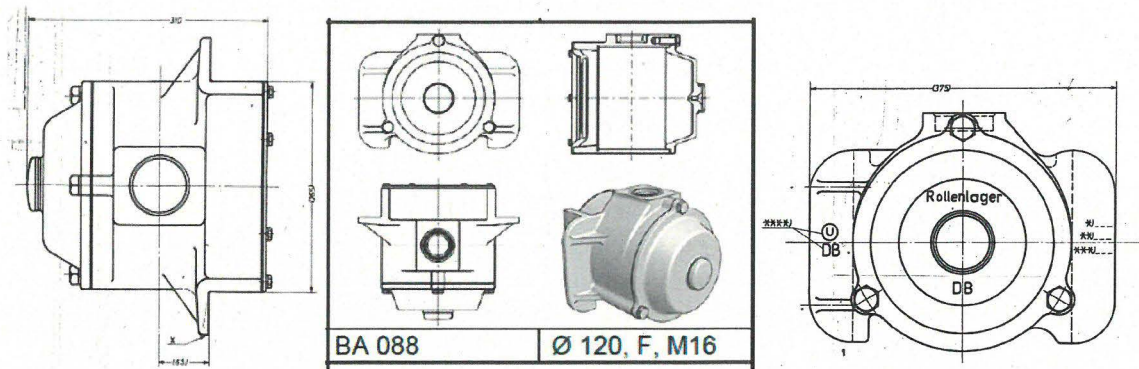


Abbildung 5-9: Rollenachslager BA 088 aus Zeichnung Fwg 825.02.002.88

Die Radsatzlager werden als starre Körper die drehbar auf der Radsatzwelle gelagert sind modelliert.

5.3.3. Achshalter und Anschläge

Durch den Achshalter erfolgt eine Beschränkung der Wege in lateraler Richtung auf 20 mm und in longitudinaler Richtung auf 22 mm (Anschläge).

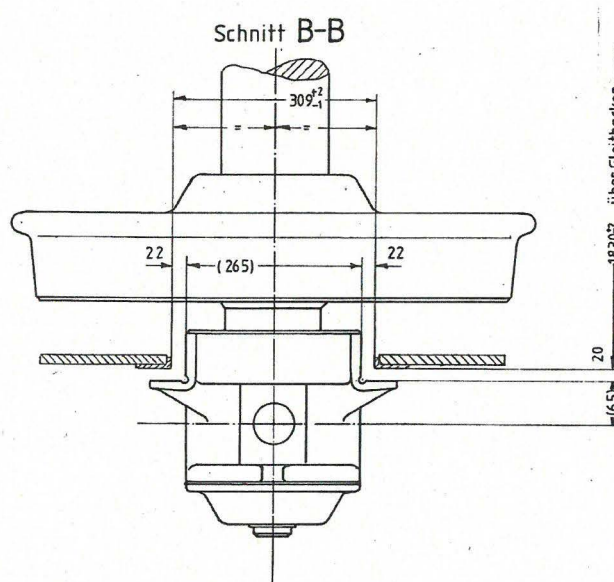


Abbildung 5-10: Beschränkung durch Achshalter aus Fwg 637.0.02.000.001

Die Anschläge werden in SIMPACK durch einseitige Feder-Dämpfer-Elemente (Contact-Element 18) mit sehr hohen Steifigkeiten ($2e6 \text{ kN/mm}$) abgebildet². Die korrekte Modellierung der Anschläge wurde durch Rechnungen (Auslenkung des RS) verifiziert.

5.3.4. Schakenaufhängung

Die Schakenaufhängung wurde in einem ersten Schritt sehr detailliert modelliert. Dabei wurde jede Schake und jeder Schakenstein durch einen Körper abgebildet (siehe Abbildung 5-11).

² Bei einer weitergehenden Modellierung könnte man die Elastizitäten des Achshalters berücksichtigen. Dies ist aber für die vorliegenden Untersuchungen nicht notwendig, da auch die elastischen Steifigkeiten der Anschläge im Vergleich zu den Steifigkeiten der Schakenaufhängung und Blattfedern wesentlich größer sind.

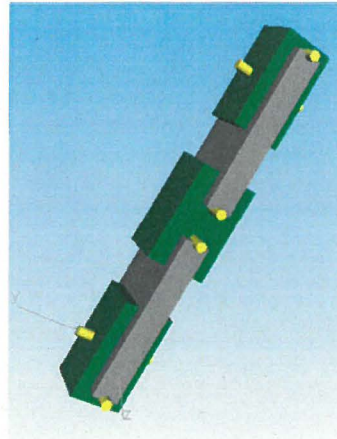


Abbildung 5-11: Modellierung Doppelschakenaufhängung

Da die Dämpfungen und Steifigkeiten zwischen den Elementen nicht bekannt ist, mussten entsprechende Werte angenommen werden. Dies führte aufgrund der vielfach auftretenden Eigenfrequenzen der Schaken zu sehr hohen Rechenzeiten; teilweise konnte keine Lösung gefunden werden. Daher wird die Doppelschakenaufhängung vereinfacht durch einen Lenker dargestellt, der mit einem Ende an der Blattfeder und mit dem anderen Ende an dem Federbock elastisch in allen sechs Freiheitsgraden (3 translatorische, 3 rotatorische Freiheitsgrade) gelagert ist. Somit werden die in den Schaken enthaltenen Dämpfungen durch die Gesamtdämpfungen und Gesamtsteifigkeiten in den Lagern abgebildet. Ein Vergleich zwischen der detaillierten und der vereinfachten Modellierung zeigt keinen Unterschied in den relevanten Größen (Rad/Schiene Kräfte / Eigenbewegung des Gesamtfahrzeugs).

Die Dämpfungen in den Schaken hat einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Fahrstabilität. Da diese nicht bekannt sind, wurden die Dämpfungen über Simulationsrechnungen so eingestellt, dass bis 140 km/h ein stabiles Fahrverhalten im geraden ungestörten Gleis vorliegt. Die Ergebnisse der Stabilitätsrechnungen sind in Kapitel 6.2 beschrieben.

5.3.5. Blattfeder

Die Federung des Wagenkastens erfolgt über die vier Blattfedern in den Fahrwerken entsprechend Abbildung 5-12.

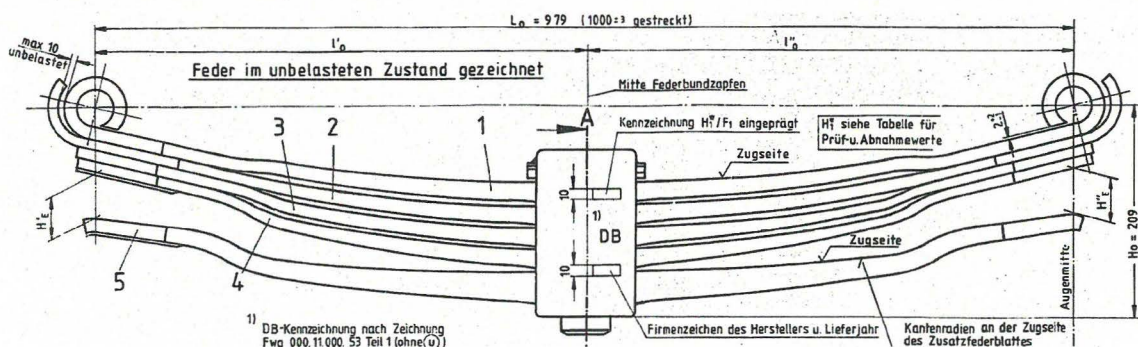


Abbildung 5-12: Blattfeder aus Fwg 637.0.02.020.001

Die Modellierung der Blattfeder erfolgt als starrer Körper mit einer Masse von 82 kg der an den Schaken aufgehängt wird und sich über eine Feder auf dem Federbolzen und damit dem

Radsatzlager abstützt (s. Abbildung 5-13). Somit wird die Kinematik durch die Schakenaufhängung gut abgebildet³.

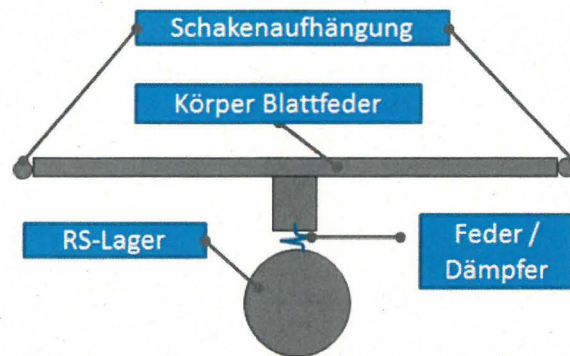


Abbildung 5-13: SIMPACK Modellierung Blattfeder

Aus dem Federdiagramm für Fahrzeuge mit DS-Gehänge (Beibl. 1 zu 1 Fwg 637.0.02.020.001) wurde die zweistufige Kennlinie entnommen und in SIMPACK modelliert.

Bei einer oftmals üblichen Modellierung der Dämpfung durch eine konstante Reibkraft (ca. $\pm 2,5$ kN) wirkt diese über den gesamten Federweg. Bei dem vorliegenden Unfallhergang ist davon auszugehen, dass große Schwingungen und damit große Federwege in der Parabelfeder auftreten. Somit kann die Hysterese der Kennlinie aufgrund der Reibung einen wichtigen Einfluss auf das Fahrzeugverhalten haben. Beim Aufschwingen (WK anheben) der Parabelfeder nimmt die Reibkraft ab, während beim Einschwingen die Reibkraft zunimmt. In [6] werden das Verhalten der Parabelfeder und die Modellierung ausführlich beschrieben. Somit ist die Abbildung der Dämpfung durch eine konstante Reibkraft bei großen Bewegungen nur eingeschränkt gültig. Daher wird die Hysterese der Parabelfeder sowie die Abhebemöglichkeit des Federbolzens modelliert. Folgende Kennlinien für das Fahrzeug Uiks werden modelliert (siehe Abbildung 5-14).

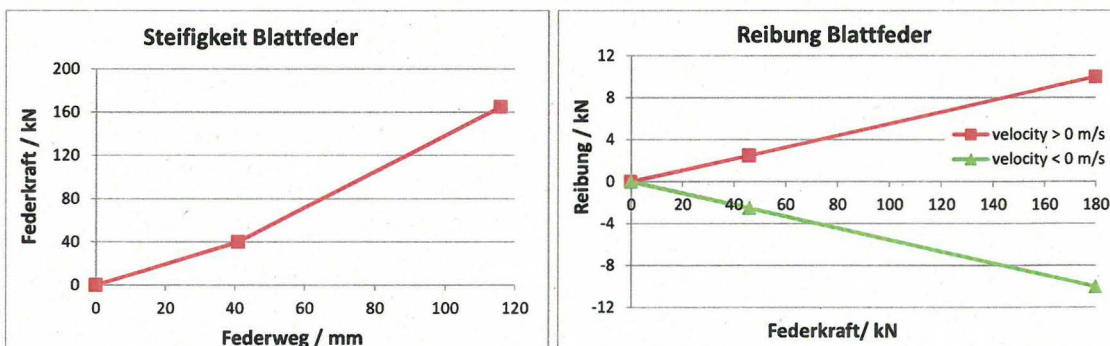


Abbildung 5-14: Kennlinie und Hysterese der Blattfeder

Anmerkung: Für die Berechnungen mit der ERRI Gleislage (siehe Kapitel 3.3) wurde eine vereinfachte Modellierung der Blattfeder mit einer konstanten geringen Reibung von 300 N verwendet.

³ Die nicht berücksichtigte Längenänderung der Blattfeder beim Einfedern hat nur einen sehr geringen Einfluss auf das Fahrverhalten; die beim Einfedern wirkende Dämpfung wird berücksichtigt (s. u.).

5.3.6. Zug- / Stoßeinrichtung

Für den Aufbau eines Zuges aus drei Wagen ist die Modellierung der Zug-/Stoßeinrichtung notwendig, hierzu gehören die Puffer und der Zughaken (s. Abbildung 5-15).

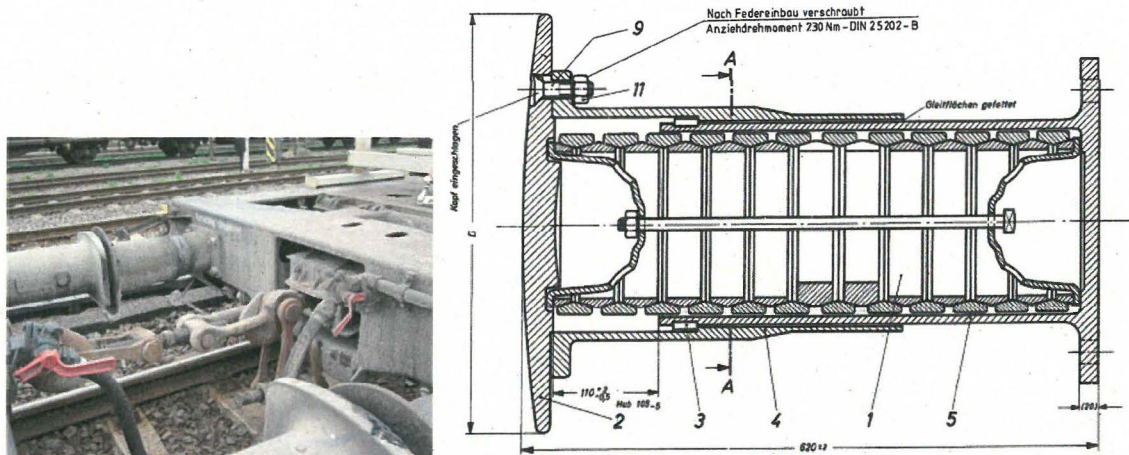


Abbildung 5-15: Bild Puffer und Zughaken des Unfallzuges und Pufferzeichnung aus Zeichnung Fwg 000.06.003.20 Hülspuffer drehbar 105mm Hub 620mm Länge 59Mp Endkraft

Die Modellierung des Puffers erfolgt über zwei Körper die über ein translatorisches Gelenk in x-Richtung miteinander verbunden sind. Zwischen den Körpern wirkt ein nichtlineares Feder-Dämpfer-Element, bei dem die in Abbildung 5-16 dargestellte Kennlinie implementiert ist. Ebenso ist der harte Anschlag nach 105 mm Hub berücksichtigt.

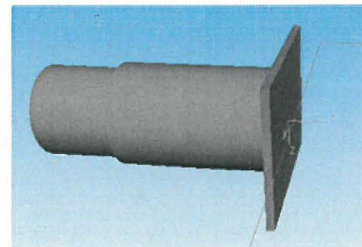
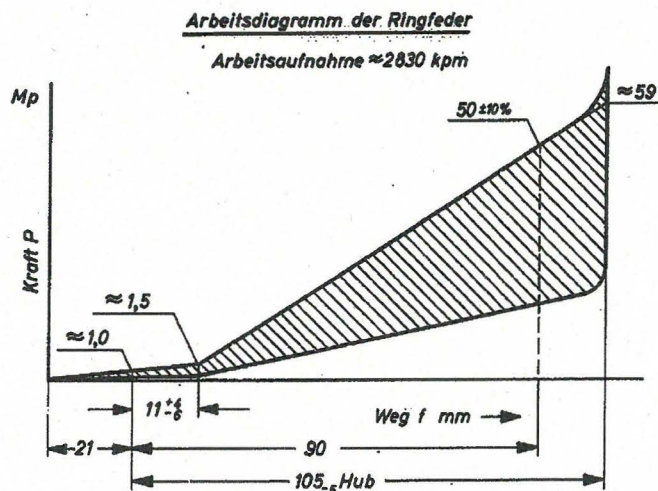


Abbildung 5-16: Arbeitsdiagramm Hülspuffer aus Fwg 000.06.003.20 und SIMPACK Modell

Die Abbildung der Pufferkontakte erfolgt in SIMPACK über den 3-D Kontakt (Element 87 Surface-Surface 3D-Contact) (Abbildung 5-17). Die Pufferteller werden als gekrümmte Fläche mit einem Puffertellerradius von $R=2750$ mm abgebildet. Bei Kontakt zwischen den Puffertellern wirkt eine Normalkraft die aus der Eindrückung des Puffers resultiert. Weiterhin wirkt eine Reibkraft parallel zum Pufferteller entgegen der Bewegungsrichtung, die aus der Normalkraft und einem Reibwert berechnet wird. Für die Pufferreibung wird eine mittlere Schmierung angenommen.

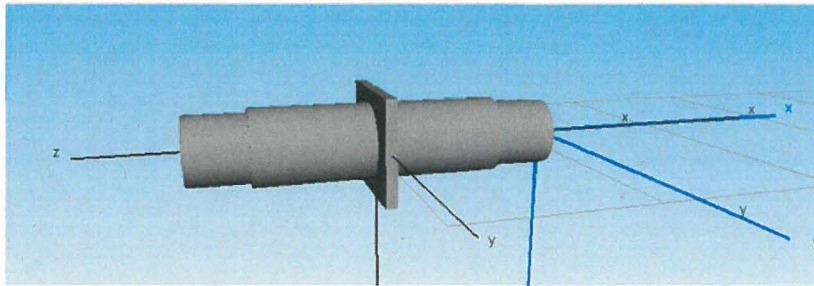


Abbildung 5-17: Pufferpaar

In Abbildung 5-18 ist die Pufferkennlinie mit den Varianten dargestellt. Für die Abschätzung des Einflusses der Puffersteifigkeiten auf das Untersuchungsergebnis werden die Steifigkeiten mit dem Faktor 0,7 (weich) und dem Faktor 1,3 (hart) multipliziert, alle anderen Parameter werden nicht geändert.

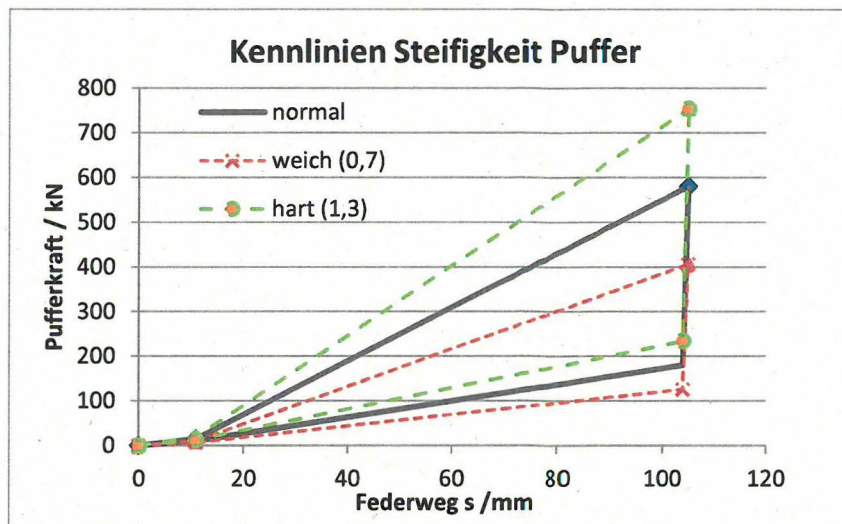


Abbildung 5-18: SIMPACK Pufferkennlinie mit den Varianten *weich* und *hart*

Für die Modellierung der Zugeinrichtung wird der Typ 540.5 1000 kN mit Ringfedern verwendet. Die Zugeinrichtung besitzt eine Arbeitsaufnahme von 20kJ und einen Hub von 65 mm sowie eine Maximalkraft von ca. 600 kN (s. Abbildung 5-19).

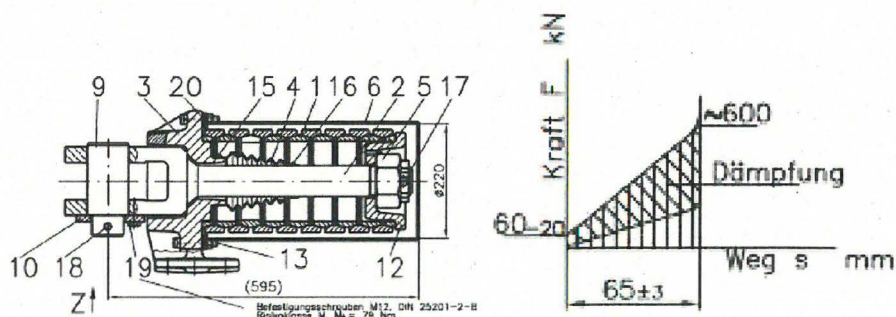


Abbildung 5-19: Zugeinrichtung und Kennlinie nach 3Fwg000.0.05.017.113

Bei dem 3-Wagen-Modell wurden die Wagen auf Berührung gekuppelt. Bei der Variantenrechnung *Kupplung lose* wird ein Abstand von 40 mm (freier Weg) angenommen.

5.4. Aufbau Einzelfahrzeug

Aus den verschiedenen Submodellen kann ein Einzelfahrzeug aufgebaut werden. Mit dem Einzelfahrzeug werden die Verifikationsrechnungen durchgeführt (Radsatzlasten, Eigenmoden, Laufstabilität). In Abbildung 5-20 ist das SIMPACK Modell des Einzelfahrzeugs Uiks 635 dargestellt. Das Fahrzeug besitzt folgende Eigenschaften:

Mass:	12401.4 kg
Schwerpunktlage CG [x, y, z]:	[0, 2.55772e-005, -0.566929] m
Massenträgheitsmomente [Ixx, Iyy, Izz]:	[14806.4, 306315, 320228] kg m ²

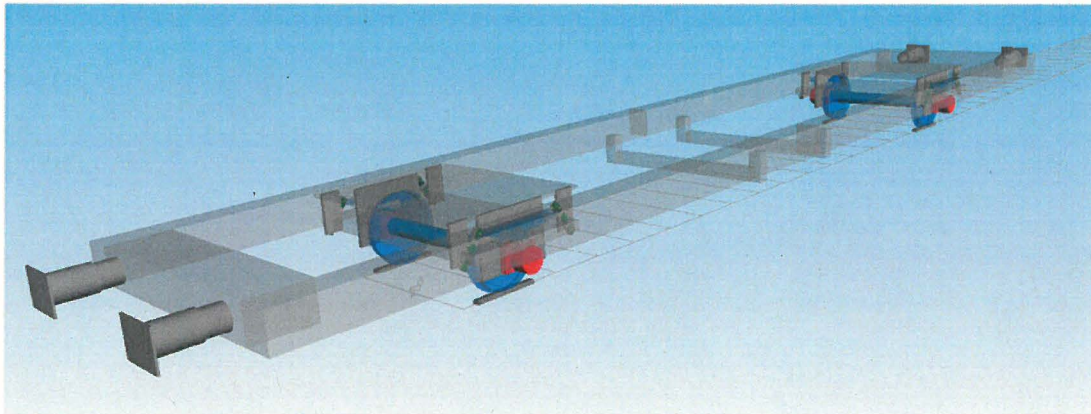


Abbildung 5-20: SIMPACK Modell Einzelfahrzeug Uiks 635

5.5. Aufbau 3-Wagen-Modell

Aus den Einzelfahrzeugen wird mit den Puffern und den Zugeinrichtungen ein Zug bestehend aus 3-Wagen Uiks 635 aufgebaut (Abbildung 5-21). Dem ersten Wagen in dem Zugverband wird eine konstante Geschwindigkeit zugewiesen, alle anderen Fahrzeuge werden von dem ersten Wagen gezogen.

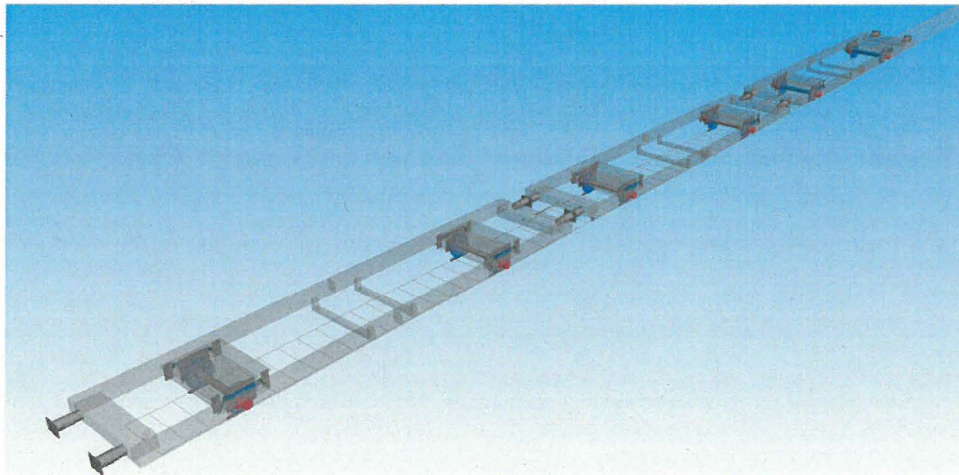


Abbildung 5-21: SIMPACK 3-Wagen-Modell Uiks-Uiks-Uiks 635

6. Analyse

Die Simulationsrechnungen werden mit SIMPACK Version 9.5 durchgeführt. Für den Rad-Schiene Kontakt wird eine Reibung von 0,4 (trockene Schiene) und ein Kalker Faktor von 1 angenommen. Die Verifikation des Fahrzeugmodells soll sicherstellen, dass das Fahrverhalten hinreichend genau hinsichtlich der Fragestellungen abgebildet wird. Üblicherweise erfolgt die Verifikation durch den Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messungen. Da von dem Fahrzeug keine Messungen vorliegen, können nur Plausibilitätsrechnungen durchgeführt werden, **keine** Verifikation des Modells. Neben der Prüfung der Teilmodelle

- Fahrwerk (Anschläge, Kennlinien)
- Blattfeder (Kennlinie)
- Puffer
- Zugeinrichtung

wurden folgende Rechnungen zur Plausibilität und Verifikation durchgeführt:

- Auswertung der Radsatzlasten im Ruhezustand
- Bestimmung der Fahrstabilität
- Eigenverhalten (siehe auch Kapitel 3.1)

Im Folgenden werden diese erläutert.

6.1. Radsatzlasten

Für die Berechnung der Radlasten wird das Modell im Ruhezustand simuliert. Es ergibt sich eine Radsatzlast an jedem Rad von $Q_0=30413$ N und eine symmetrische Querkraft von $Y= \pm 156$ N. Aus den Radlasten ergibt sich wie erwartet ein Gesamtgewicht von 12.400 kg. Weiterhin ist das Gewicht symmetrisch verteilt.

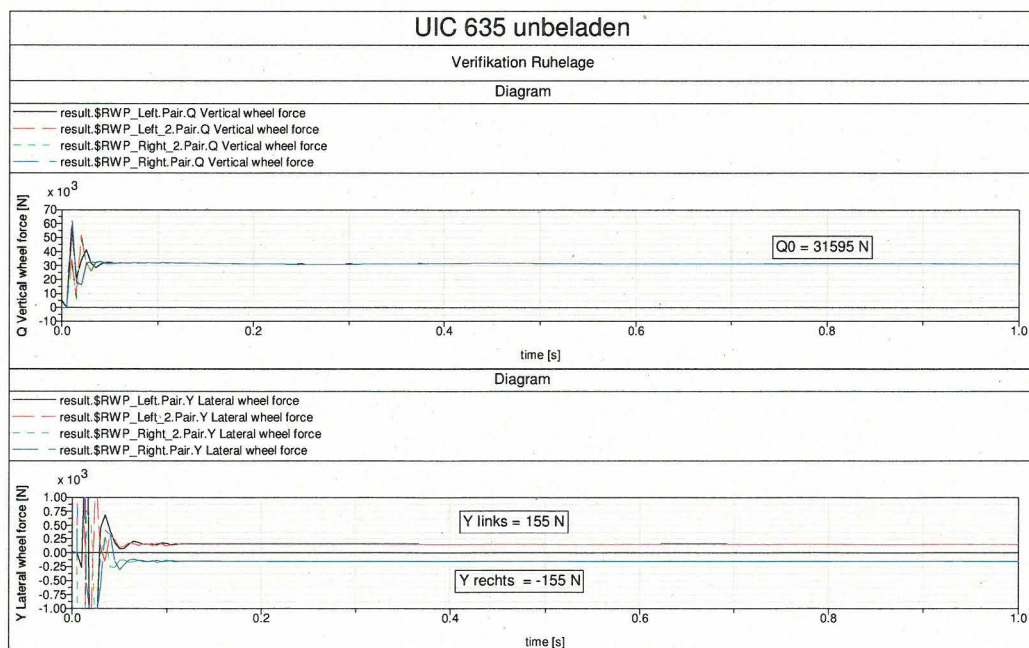


Abbildung 6-1: Simulationsrechnungen Ruhelage Einzelfahrzeug

6.2. Fahrstabilität

Das Fahrzeug besitzt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h. Somit muss mindestens bis zu dieser Geschwindigkeit die Laufstabilität gewährleistet sein. Da die Dämpfungen in der Schakenaufhängung und Blattfeder nicht bekannt sind, werden die Dämpfungskonstanten so eingestellt, dass sich eine Laufstabilität bis 140 km/h einstellt. Damit wird sichergestellt, dass in jedem Fall ein Fahrzeug mit stabilem Fahrverhalten für die Unfalluntersuchungen verwendet wird.

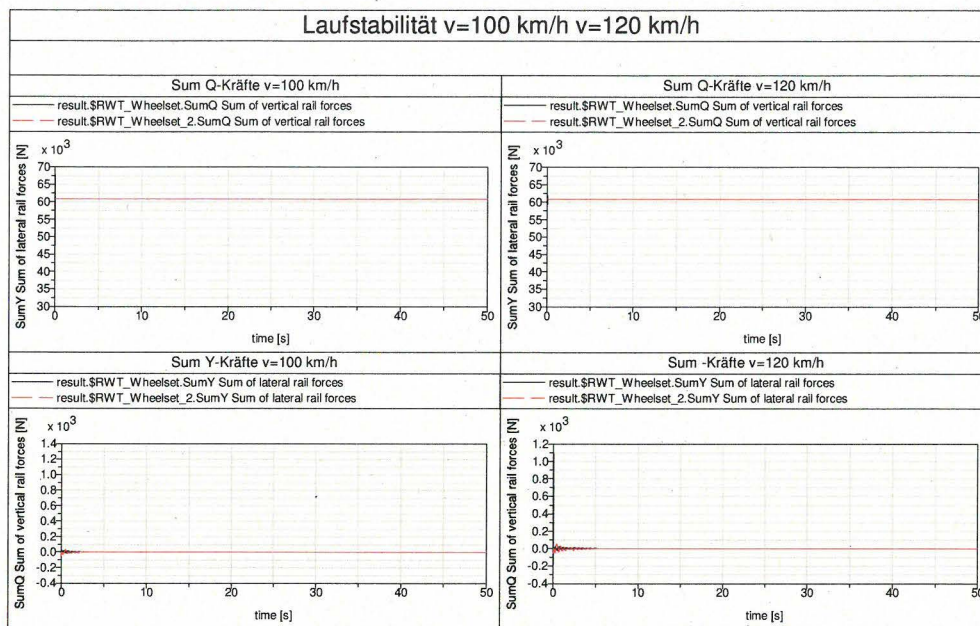


Abbildung 6-2: Laufstabilität SQ, SY-Kräfte v=100 km/h v=120 km/h

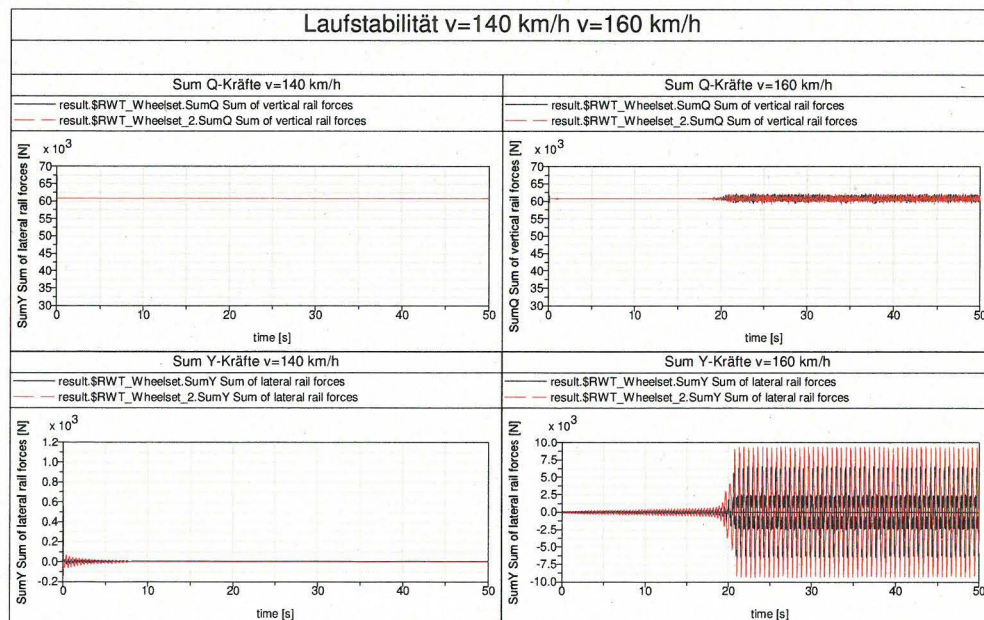


Abbildung 6-3: Laufstabilität SQ, SY-Kräfte v=140 km/h v=160 km/h

In den Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3 sind die Summe der Rad-Schiene-Kräfte (SQ und SY) dargestellt. Man erkennt deutlich, dass sich ein stabiles Laufverhalten bis $v=140$ km/ mit den in Kapitel 5.3.4 *Schakenaufhängung* aufgeführten Dämpfungen einstellt.

6.3. Eigenverhalten

In Kapitel 3.1 sind die Eigenmoden des Fahrzeugs aufgeführt und dargestellt, da hier auch die Korrelation zu den Gleislagestörungen beschrieben wird.

Die Eigenfrequenzen zwischen 2,12 Hz und 14 Hz und die zugehörigen Eigenmoden sind plausibel. Bei den „Starrkörpermoden“ ergibt sich eine gute Dämpfung zwischen 0,3 und 0,6 während die Eigenmoden bei denen der Wagenkasten schwingt (Torsion um x-, y- z-Achse) geringer gedämpft sind (0,07 bis 0,2).

Damit zeigen die Plausibilitätsrechnungen, dass das Fahrzeugverhalten hinreichend genau abgebildet wird.

7. Auswertung

Die Beurteilung des Entgleisungsrisikos von Schienenfahrzeugen erfolgt entsprechend DIN EN 14363 [1] nach den Beurteilungsgrößen und Grenzwerten für die Fahrsicherheit ([1] Kap. 7.5). Für die hier durchgeführten Untersuchungen werden die Q-Kräfte, die Entgleisungskoeffizienten Y/Q und das Radanheben dz aller vier Räder des mittleren Wagens ausgewertet. Damit ergeben sich folgende Größen:

Größe	Erläuterung	Bezeichnung in Diagrammen
Q11	Radaufstandskraft von Rad 11	RS3_Right.Pair.Q Vertical wheel force
Q12	Radaufstandskraft von Rad 12	RS3_Left.Pair.Q Vertical wheel force
Q21	Radaufstandskraft von Rad 21	RS4_Right.Pair.Q Vertical wheel force
Q22	Radaufstandskraft von Rad 22	RS4_Left.Pair.Q Vertical wheel force
Y/Q11	Entgleisungskoeffizient am Rad 11	RS3_Right.Pair.Y/Q Derailment coefficient
Y/Q12	Entgleisungskoeffizient am Rad 12	RS3_Left.Pair.Y/Q Derailment coefficient
Y/Q21	Entgleisungskoeffizient am Rad 21	RS4_Right.Pair.Y/Q Derailment coefficient
Y/Q22	Entgleisungskoeffizient am Rad 22	RS4_Left.Pair.Y/Q Derailment coefficient
dz11	Radanheben am Rad11	RS3_Right.Pair.DZ Wheel raise
dz12	Radanheben am Rad12	RS3_Left.Pair.DZ Wheel raise
dz21	Radanheben am Rad21	RS4_Right.Pair.DZ Wheel raise
dz22	Radanheben am Rad22	RS4_Left.Pair.DZ Wheel raise

Entsprechend [1] werden die Größen folgendermaßen gefiltert ausgewertet:

- Q-Kräfte: 20 Hz Tiefpassfilter (Butterworth, 4. Ordnung)
- Y/Q-Koeffizient: 20 Hz Tiefpassfilter (Butterworth, 4. Ordnung) + gleitender Mittelwert 2 m Mittelungslänge, 0,5 m Fortschrittslänge

Weiterhin werden die teilweise ungefilterten Größen bewertet.

Nach EN14363 [1] liegt der obere Grenzwert für den gefilterten Entgleisungskoeffizienten bei $Y/Q \leq 0,8$. Werte darüber bedeuten ein erhöhtes Entgleisungsrisiko. Nach [7] und entsprechend der Aussage von [2] Seite 8 1. Abschnitt „muss ab einem Aufkletterweg von 6 mm mit einer Entgleisung gerechnet werden“.

8. Analyse Unfallursache

Für die Untersuchungen der Unfallursache wurden alle Simulationsrechnungen mit der gemessenen Gleislagen oder mit der stochastischen Gleislage nach ERRI und der Trassierung durchgeführt (siehe Kapitel 3.1). Die Geschwindigkeit des Unfallfahrzeugs wurde mit 87 km/h angenommen.

8.1. Ergebnisse

Ergebnisse Modell mit Hysterese und Radsatzhalter:

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulationsrechnungen in einer komplexen Modellierung mit Hysterese Kennlinie der Blattfeder und mit Anschlägen der Radsatzhalter (Abhebesicherung) dargestellt. Folgende Entgleisungswerte wurden ermittelt (siehe Tabelle 8-1):

Tabelle 8-1: Auswertung Unfall Oldenburg Fahrzeug 3-Wagen Uiks635

Modell	Radanheben dz / mm	Y/Q Koeffizient
Uiks 635, Hysterese, RS-Halter,	28,1 mm (Wagen 2, RS 4) 17,1 mm (Wagen 3, RS 6)	0,71 (Wagen 2, RS 3) 0,47 (Wagen 3 RS 5)

In Abbildung 8-1 ist der Zeitverlauf für das Radanheben dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass an der Unfallstelle die Schwingungen zu einem Abheben der Räder führen. Das Abheben ist wesentlich durch die Radsatzhalter bestimmt, da entsprechend hohe Amplituden der Wagenkastenschwingung auftreten.

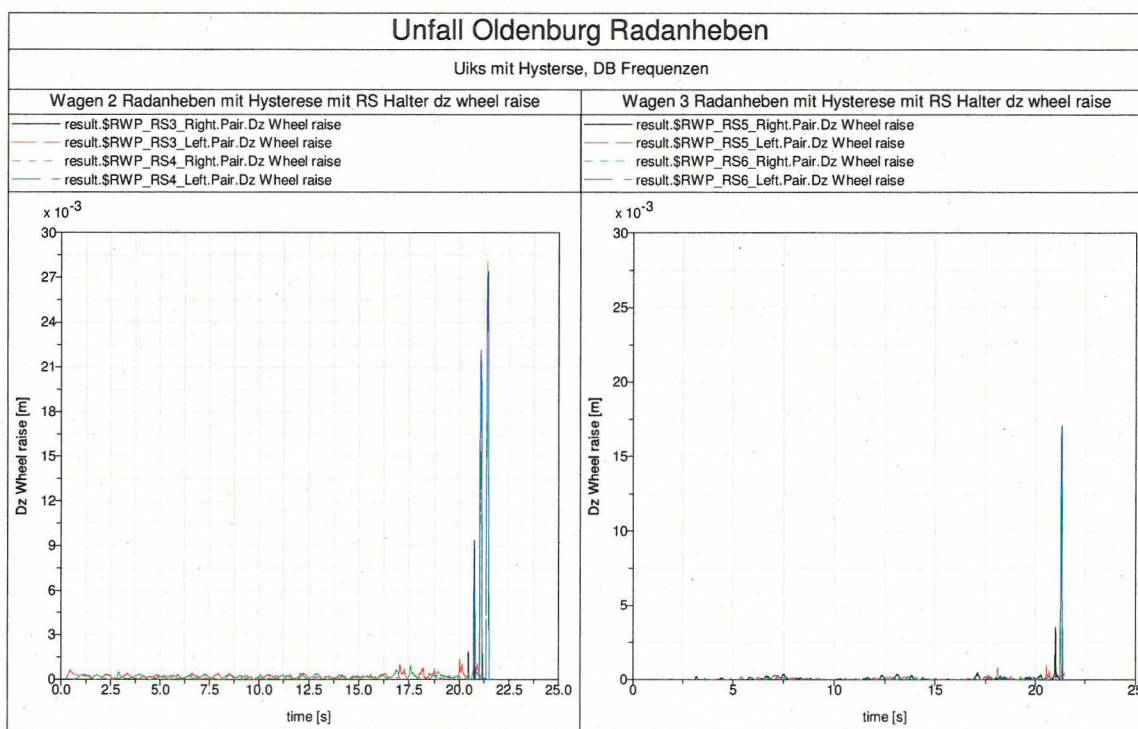


Abbildung 8-1: Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Radanheben Wagen 2 und 3, Fahrzeug Uiks635 mit Hysterese, ohne RS-Halter

Es tritt ein deutliches Radanheben mit 17 mm bzw. 28 mm der Unfallstelle auf, das wesentlich über der Grenze von 6 mm liegt ist. Es ist daher von einem erheblichen Entgleisungsrisiko auszugehen (siehe auch Anlagen A-3 bis A-5).

Ergebnisse vereinfachtes Modell:

In Kapitel 3.3 wurde die Gleislage nach ERRI B176 vorgestellt. Die Simulationsrechnungen mit dem vereinfachten Modell (ohne Hysterese, geringe Reibdämpfung) ergeben folgende Ergebnisse:

Tabelle 8-2: Auswertung Gleislage nach ERRI B176

Grundkonfiguration	3-Wagen-Zug, Uiks 635, leer, Radprofil S1002				
Modell	v / km/h	Y/Q max ungefiltert	Y/Q max gefiltert	dz /mm	Var.
3-Wagen-Zug ERRI low	100	0,19	0,09	0,30	4.1
3-Wagen-Zug ERRI high	100	0,32	0,18	0,75	4.2

Die Werte für den Entgleisungskoeffizienten und das Radabheben liegen erheblich unter den Werten der RAILab Gleislagemessung mit dem komplexen Modell. Es liegt daher kein Entgleisungsrisiko vor.

Fazit:

Aus den Simulationsrechnungen für die Unfallanalyse erkennt man, dass zwischen 80 km/h und 100 km/h ein erhebliches Entgleisungsrisiko vorliegt. Für die Fahrzeugvarianten des Unfallfahrzeugs mit den gemessenen Radprofilen und -radien ergibt sich ein Entgleisungskoeffizient von unter 0,8 somit. Wesentlich kritischer ist das Radanheben von 28 mm bzw. 17 mm bei der Unfallgeschwindigkeit von 87 km/h zu bewerten. Die Simulationsrechnungen wurden mit idealen Fahrzeugannahmen (vollkommen symmetrisches Fahrzeug, Radsätze ideal eingebaut, gleiche Steifigkeiten und Dämpfungen links/rechts) durchgeführt. Es würden bereits geringe Störungen genügen um ein Aufklettern und Entgleisen eines Rades zu bewirken. Weiterhin zeigt sich, dass durch die Form der Gleislagestörung (periodische Anregung) fast ausschließlich der Eigenmode des Hubens angeregt wird und somit ein Aufschwingen in der Resonanzfrequenz erfolgt. Als Unfallursache kann daher mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit die periodische Gleislagestörung identifiziert werden.

9. Zusammenfassung

Am 29.06.13 entgleiste auf der Strecke Oldenburg – Leer im Streckenabschnitt Kayhauserfeld – Oldenburg ein Zug mit Tiefladewagen der Gattung Uiks Bauart 635 (2-Achsfahrwerk mit Doppelschakenaufhängung). Der Zug ist für den Transport von Rotoren vorgesehen und war zum Unfallzeitpunkt unbeladen. Der Streckenabschnitt weist eine fast gerade Trassierung auf. Die Unfallursache konnte nicht eindeutig geklärt werden, da am Fahrzeug keine Mängel festzustellen waren und die kurz zuvor durchgeführte RAILab Gleismessung lediglich SR 100 Überschreitungen auswies.

Daher soll durch Simulationsrechnungen die Unfallursache geklärt werden. Hierfür wurde von dem Fahrzeug ein Mehrkörpermodell in SIMPACK Version 9.5 aufgebaut, sowie aus drei Fahrzeugen ein 3-Wagen-Zug modelliert. Das Modell wurde basierend auf den vorliegenden Unterlagen des AG (u. a. Zeichnungen, Datenblätter, Radprofilmessungen) aufgebaut, wobei die unbekannten Parameter abgeschätzt oder durch Rechnungen (Laufstabilität des Fahrzeugs,

Steifigkeiten Wagenkasten) ermittelt wurden. Durch Plausibilitätsrechnungen wurde die korrekte Modellierung und Gültigkeit des Modells überprüft.

Eine genauere Betrachtung der Gleislage ergibt, dass die Längshöhenfehler der linken und rechten Schiene parallel verlaufen und eine Periodizität mit der Wellenlänge von 9 m aufweisen. Da der Radsatzabstand des Fahrzeugs ebenfalls 9 m beträgt, erfolgt eine **phasengleiche Anregung** der Radsätze. Für die Beurteilung der Fahrzeugreaktionen auf diese Anregung wurde eine Eigenwertanalyse des Fahrzeugs durchgeführt, mit der die Eigenfrequenzen und Eigenschwingformen des Fahrzeugs untersucht werden können. Ein Vergleich mit der Anregung ergibt, dass im **relevanten Geschwindigkeitsbereich** zwischen 80 km/h und 100 km/h eine **Anregung der Hubeigenschwingungen** des Fahrzeugs erfolgt und dies zu erheblichen Schwingungsamplituden führt.

Zusammen mit den gemessenen Gleislagedaten und der Trassierung wurden in diesem Streckenabschnitt die Rad/Schiene-Kräfte, der Entgleisungskoeffizient Y/Q und das Radanheben für verschiedene Geschwindigkeiten (80 km/h – 140 km/h) ermittelt. Dabei zeigte sich, dass bei der gefahrenen Geschwindigkeit von 87 km/h durch die **periodische** Gleislagestörung eine sehr starke Anregung der Hubbewegung des Fahrzeugs erfolgt und das maximale Radanheben mit 28 mm weit über dem als kritisch eingestuften Wert von 6 mm liegt. Das Radanheben wird wesentlich durch Anschlagen des Radsatzlagers am Radsatzhalter verursacht. Somit ist von einem erheblichen Entgleisungsrisiko auszugehen.

10. Unterschriften

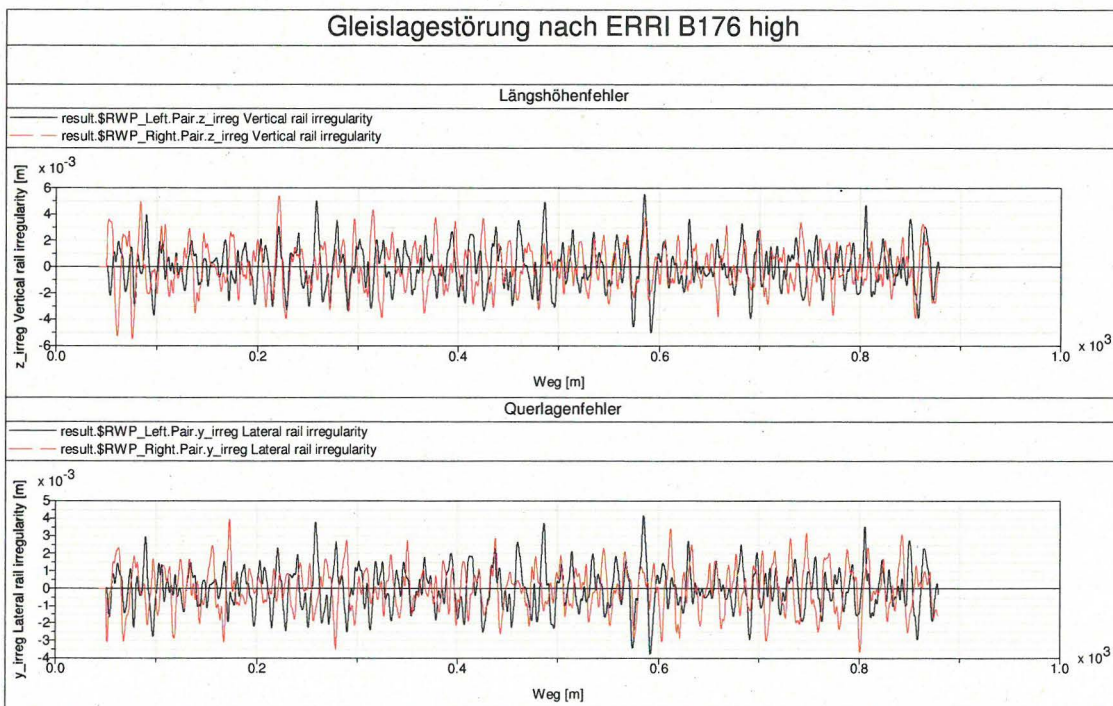
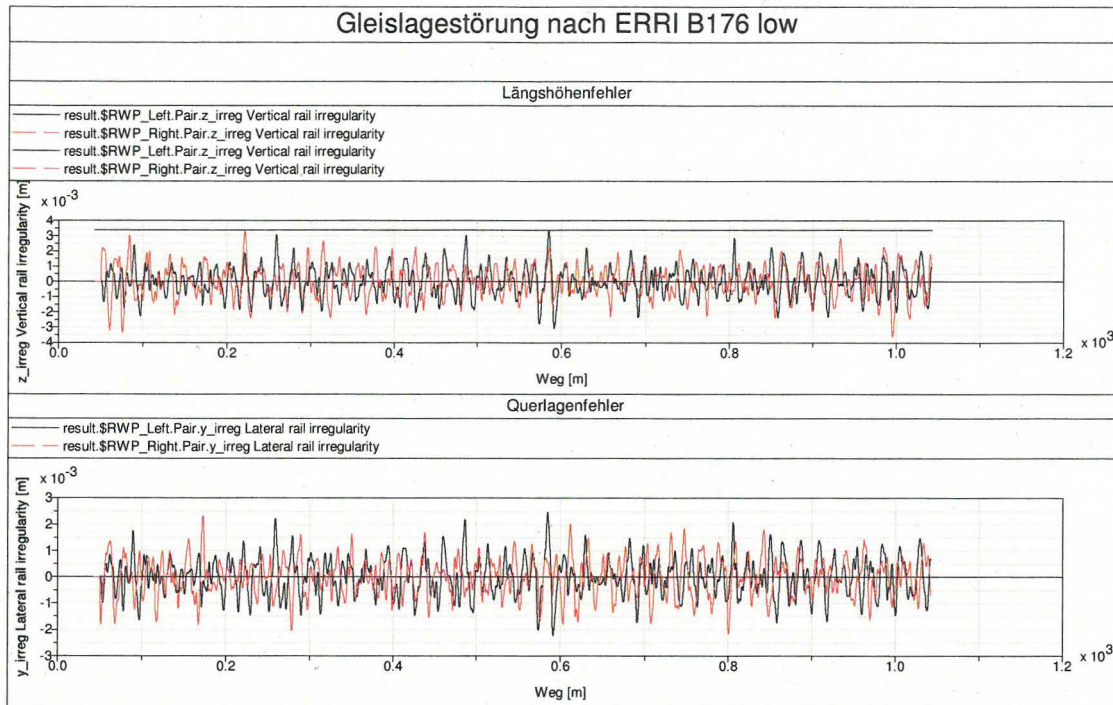
Bielefeld, den 18.12.2015

gezeichnet

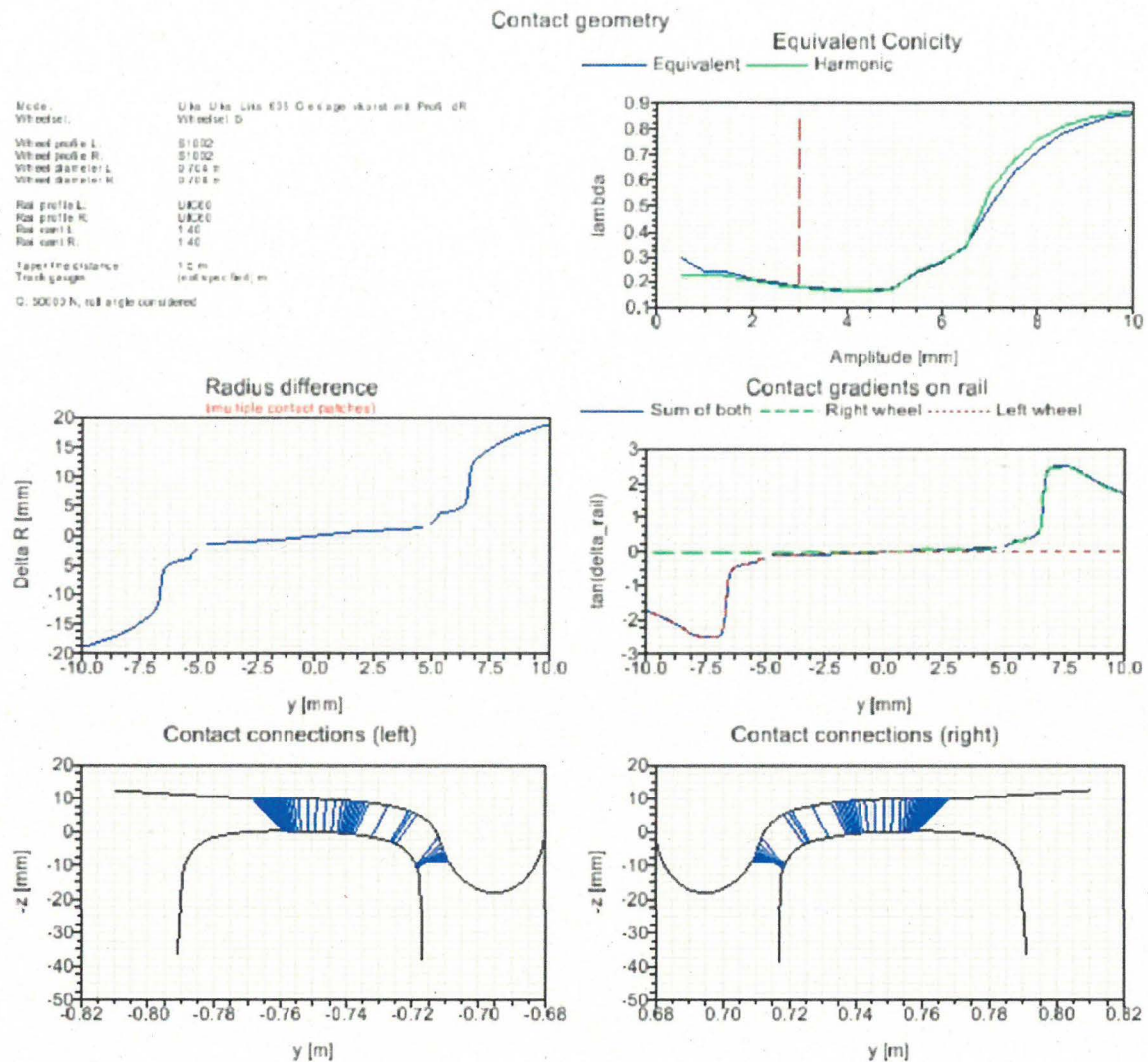
Prof. Dr.-Ing. Rolf Naumann, simtes – Simulation technischer Systeme

ANLAGEN

Anlage A-1: Gleislagestörungen nach ERRI B 176 low und ERRI high



Anlage A-2: Kontaktgeometrien



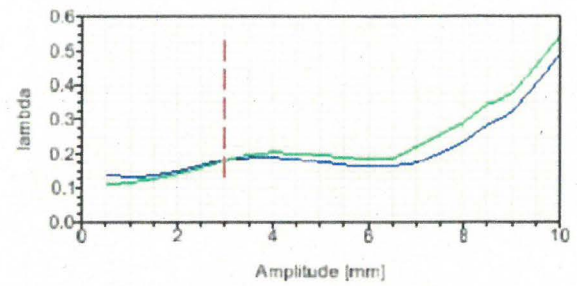
Kontaktgeometrien S1002 – UIC60

Contact geometry

Model: Uka Uka Uka 635 Garage Abfahrt mit Poth - R
 Wheelset: 3
 Wheel profile L: Ruspriif RS 447 links v3
 Wheel profile R: Ruspriif RS 447 rechts v3
 Wheel diameter L: 800 mm
 Wheel diameter R:
 Rail profile L: UIC60
 Rail profile R: UIC60
 Rail cant L: 140
 Rail cant R: 140
 Taper line distance: 10 mm
 Track gauge: (not specified)
 G: 50000 N, roll angle considered

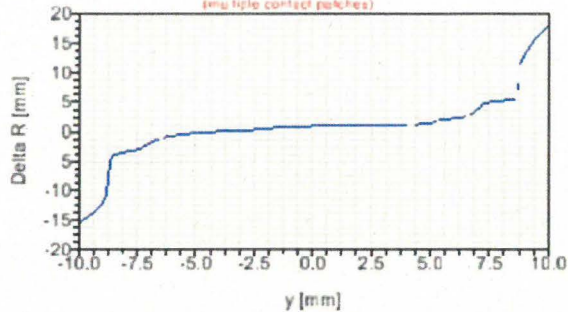
Equivalent Conicity

Equivalent Harmonic



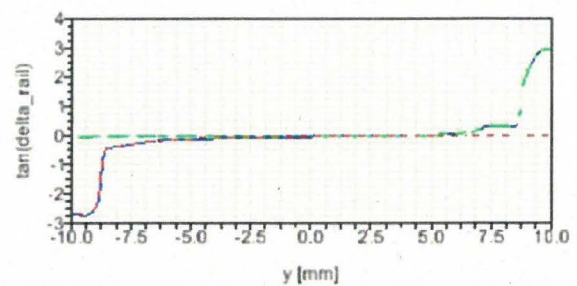
Radius difference

(single contact patches)

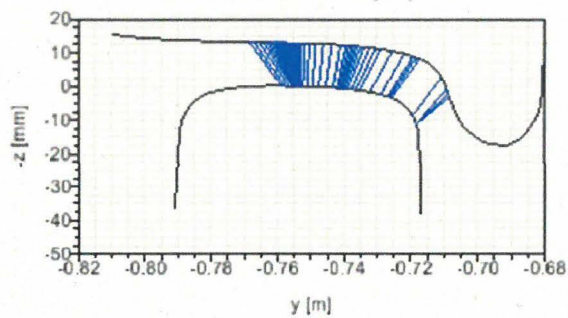


Contact gradients on rail

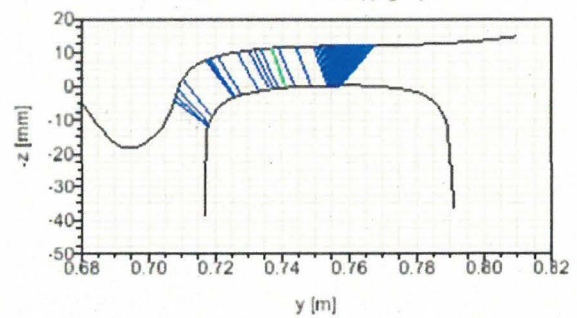
Sum of both Right wheel Left wheel



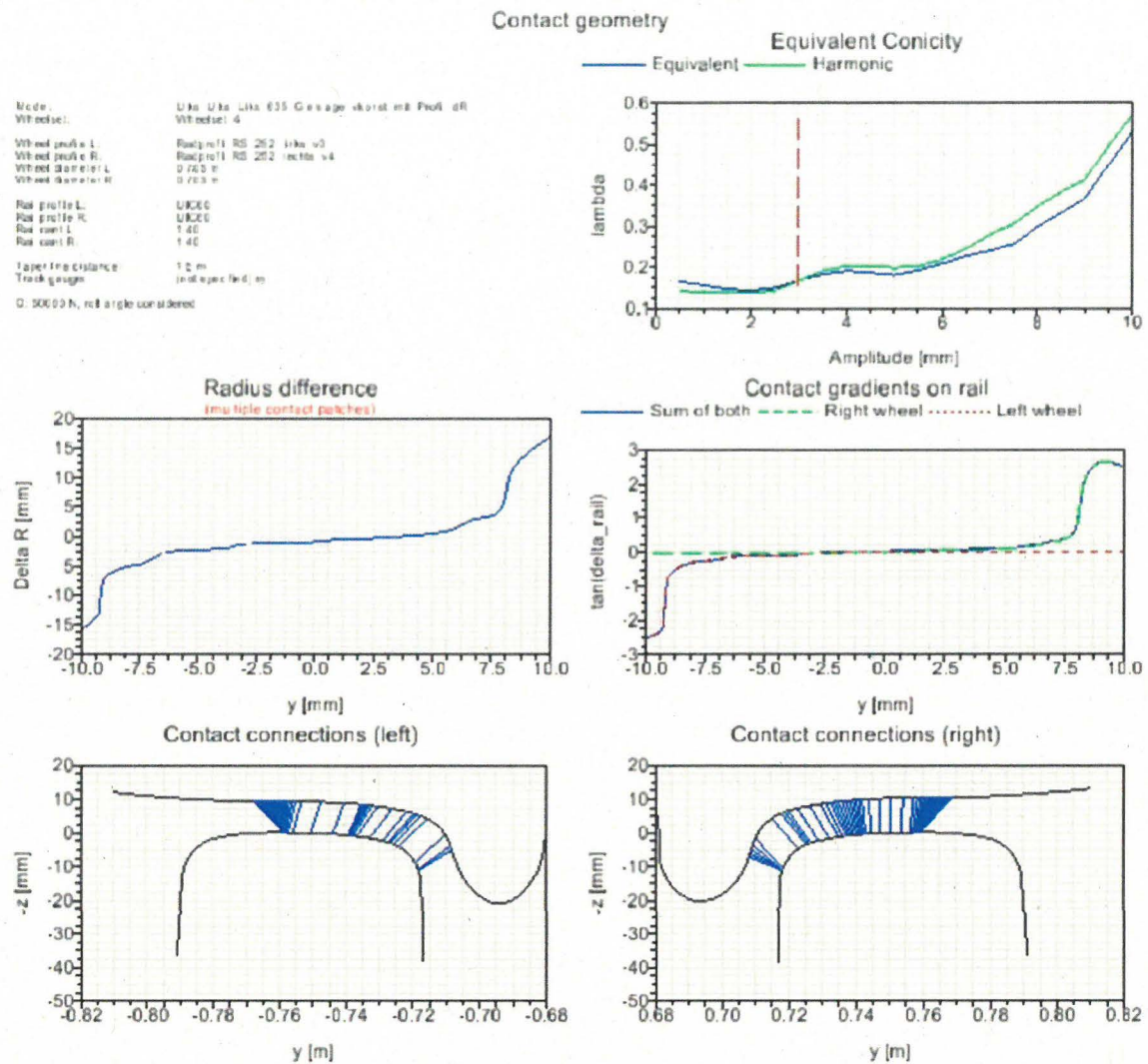
Contact connections (left)



Contact connections (right)

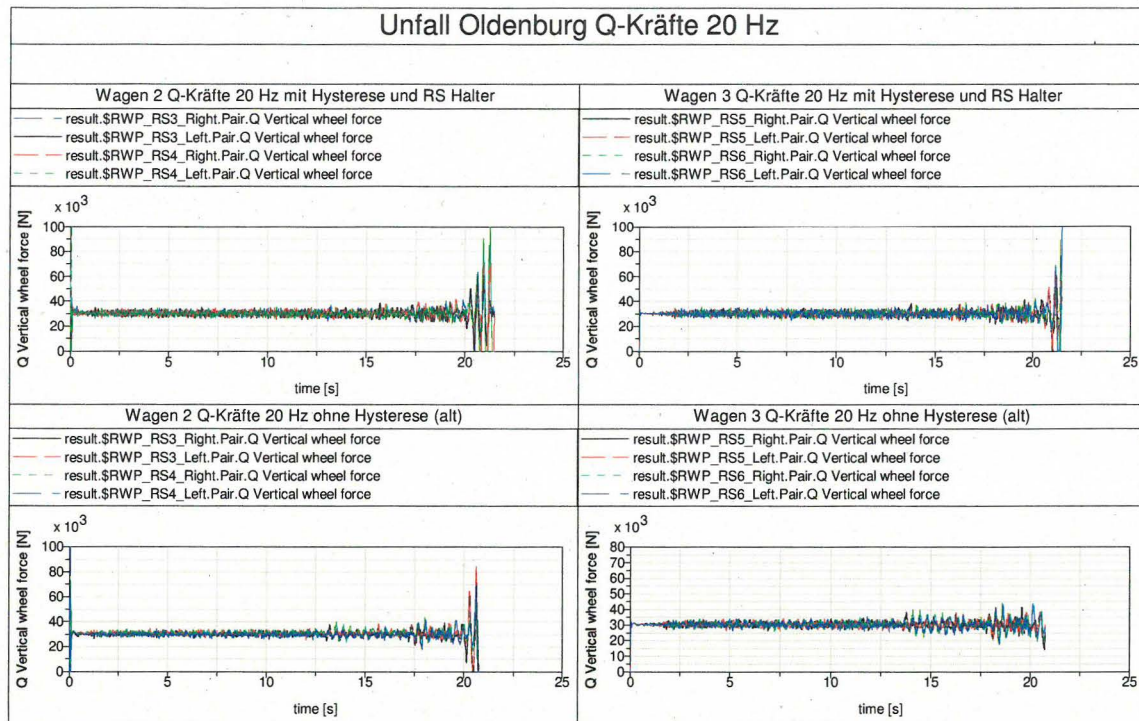


Kontaktgeometrie RS 447 457 – UIC60

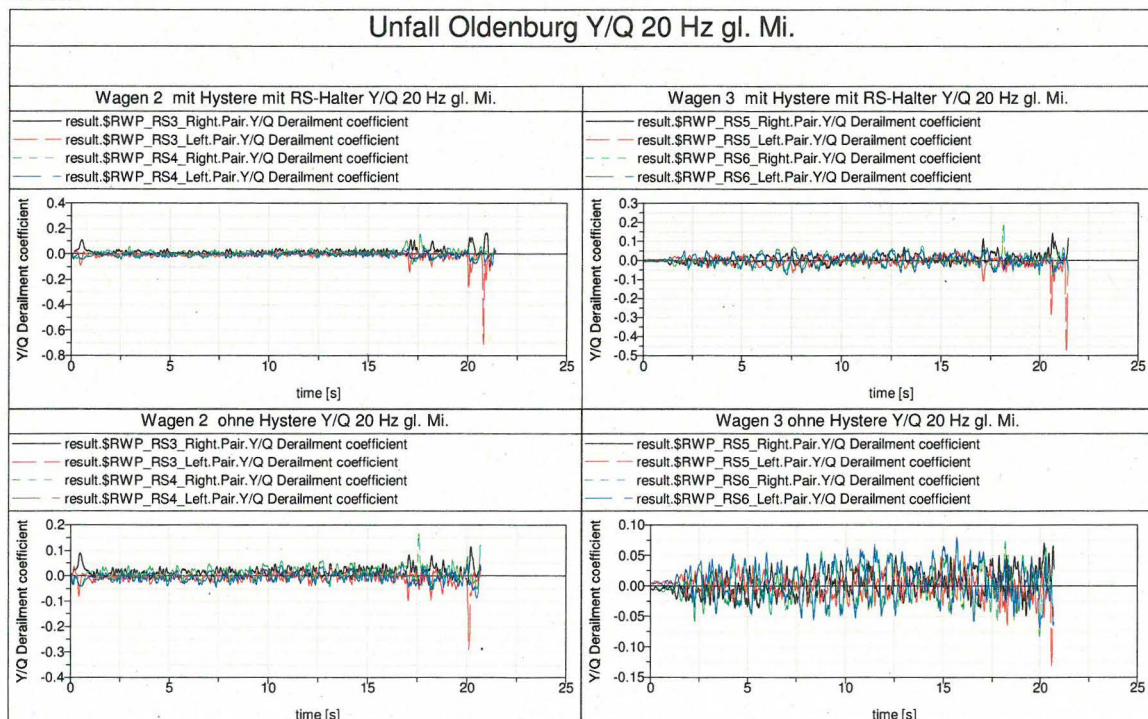


Kontaktgeometrie RS 252 981 – UIC60

Anlage A-3: 2: Q-Kräfte TP 20 Hz Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Uiks635 mit Hysterese mit RS-Halter



Anlage A-4: Q-Kräfte TP 20 Hz Y/Q-Entgleisungskoeffizient TP 20Hz, gl. Mittelwert 2m 0,5 m Fortschrittsweite Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Uiks635 mit Hysterese mit RS-Halter



Anlage A-5: Anschläge Radsatzhalter Simulationsrechnungen Unfall Oldenburg Uiks635 mit Hysterese mit RS-Halter

