

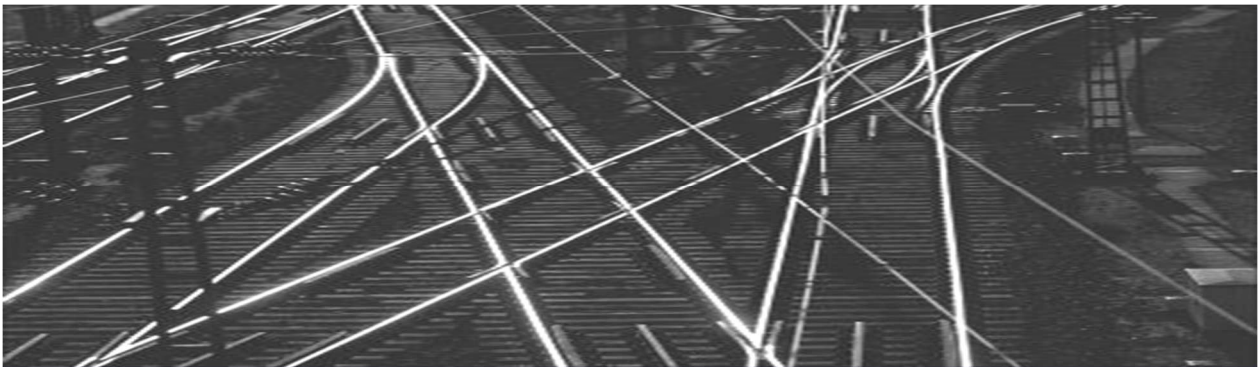


# Untersuchungsbericht

Aktenzeichen: 60uu2012-04/081-3323

Stand: 18.12.2020 Version: 1.0

Erstveröffentlichung: 04.01.2021



## Gefährliches Ereignis im Eisenbahnbetrieb

Ereignisart:	Zugentgleisung
Datum:	16.04.2012
Zeit:	21:23 Uhr
Bahnhof:	Bebra
Gleis:	142
Kilometer:	2,69

Veröffentlicht durch:

Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung

Heinemannstraße 6

53175 Bonn

## Inhaltsverzeichnis

<b>I.</b>	<b>Änderungsverzeichnis:</b> .....	<b>II</b>
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis:</b> .....	<b>III</b>
<b>III.</b>	<b>Tabellenverzeichnis:</b> .....	<b>III</b>
<b>IV.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis:</b> .....	<b>IV</b>
<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen</b> .....	<b>1</b>
1.1	Organisatorischer Hinweis .....	1
1.2	Ziel der Eisenbahnunfalluntersuchung.....	2
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
2.1	Kurzbeschreibung des Ereignisses.....	3
2.2	Folgen .....	3
2.3	Ursachen.....	3
2.4	Sicherheitsempfehlungen .....	3
<b>3</b>	<b>Allgemeine Angaben</b> .....	<b>4</b>
3.1	Lage und Beschreibung des Ereignisortes.....	4
3.2	Beteiligte und Mitwirkende.....	5
3.3	Äußere Bedingungen.....	5
3.4	Todesopfer, Verletzte und Sachschäden.....	5
<b>4</b>	<b>Untersuchungsprotokoll</b> .....	<b>7</b>
4.1	Zusammenfassung von Aussagen und Stellungnahmen .....	7
4.2	Notfallmanagement .....	7
4.3	Untersuchung der bautechnischen Infrastruktur .....	7
4.4	Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik (LST) .....	8
4.5	Untersuchung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers.....	8
4.6	Untersuchung der betrieblichen Abläufe der EVU.....	8

4.7	Untersuchung von Fahrzeugen .....	9
<b>5</b>	<b>Auswertung .....</b>	<b>12</b>
5.1	Ereignisrekonstruktion .....	12
5.2	Bewertung und Schlussfolgerung.....	12
<b>6</b>	<b>Bisher getroffene Maßnahmen .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Sicherheitsempfehlungen .....</b>	<b>15</b>

## I. Änderungsverzeichnis:

Änderung	Stand

## **II. Abbildungsverzeichnis:**

Abbildung 1: Lageplan .....	4
Abbildung 2: Entgleisungsstelle .....	6
Abbildung 3: Entgleister Autotransportwagen .....	6
Abbildung 4: Darstellung Messwerte Verwindung und Spurweite.....	8
Abbildung 5: Technische Übersichtszeichnung Wagen .....	9
Abbildung 6: Bruch der Blattfeder .....	10
Abbildung 7: Federbund mit Ansicht der Bruchstelle von der Seite.....	11

## **III. Tabellenverzeichnis:**

Tabelle 1: Übersicht der äußeren Bedingungen .....	5
Tabelle 2: Übersicht der Personenschäden .....	5
Tabelle 3: Übersicht der geschätzten Schadenshöhe .....	6
Tabelle 4: Technische Daten Wagen 23 80 291 1925-8.....	10

**IV. Abkürzungsverzeichnis:**

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
BEU	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung
BEVVG	Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungsgesetz
Bf	Bahnhof
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EU	Europäische Union
EUB	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
GMTZ	Gleismesstriebzug
GSM-R	Global System for Mobile Communications Railway
LST	Leit- und Sicherungstechnik
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
Ril	Richtlinie
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
Tf	Triebfahrzeugführer
Tfz	Triebfahrzeug
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten

## **1 Vorbemerkungen**

Das Kapitel Vorbemerkungen befasst sich mit allgemeinen Informationen zur Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU). Dabei wird die gesetzliche Grundlage genannt und die Aufbauorganisation kurz umrissen.

### **1.1 Organisatorischer Hinweis**

Mit der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, über Eisenbahnsicherheit (Eisenbahnsicherheitsrichtlinie), wurden die Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) erstmals 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 u. a. die rechtlichen Grundlagen zur Errichtung der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU) geschaffen. Hierdurch wurde 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 gefährliche Ereignis vor der Errichtung der BEU eintrat, wurden bestimmte Untersuchungshandlungen noch durch die EUB vorgenommen, auf die im Bericht entsprechend verwiesen wird. Alle während der Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse wurden kontinuierlich mit den betroffenen Eisenbahnen und der Sicherheitsbehörde geteilt und einzelfallbezogene Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

Näheres hierzu ist im Internet unter [www.beu.bund.de](http://www.beu.bund.de) eingestellt.

## **1.2 Ziel der Eisenbahnunfalluntersuchung**

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

Die Untersuchung umfasst die Sammlung und Auswertung von Informationen, die Erarbeitung von Schlussfolgerungen einschließlich der Feststellung der Ursachen und 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 Zusammenfassung**

Das Kapitel befasst sich mit einer kurzen Darstellung des Ereignisherganges, den Folgen und den Primärursachen. Abschließend werden eventuell erteilte Sicherheitsempfehlungen aufgeführt.

### **2.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses**

Am 16.04.2012 gegen 21:23 Uhr entgleiste der Güterzug DGS 75731 auf der Fahrt von Bremen Rbf nach Regensburg Ost im Bahnhof (Bf) Bebra in km 2,69 mit den letzten fünf von insgesamt 22 Autotransportwagen.

### **2.2 Folgen**

Es wurden keine Personen verletzt oder getötet. Es entstand erheblicher Sachschaden an der Infrastruktur und an den Fahrzeugen.

### **2.3 Ursachen**

Die Entgleisung ist auf eine Entlastung des Radsatzes infolge eines Tragfederbruches zurückzuführen. Die Entlastung führte in Kombination mit im Bogenlauf aufgetretenen erhöhten Führungskräften zu einem Aufklettern des Radsatzes an der Bogenaußenseite.

### **2.4 Sicherheitsempfehlungen**

Es wurden keine Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

### 3 Allgemeine Angaben

Das Kapitel beinhaltet allgemeine Angaben zur Beschreibung des Ereignisortes und der relevanten Bahnanlagen. Des Weiteren werden die an der Unfalluntersuchung beteiligten und mitwirkenden Stellen, die äußeren Bedingungen, die Anzahl der bei dem Ereignis verletzten und getöteten Personen sowie Art und Höhe der Folgeschäden benannt.

#### 3.1 Lage und Beschreibung des Ereignisortes

Der Bf Bebra lag u. a. an der zweigleisigen elektrifizierten Hauptbahn Bebra, W 131 – Bebra Umladebahnhof, W 469. Die Strecke wird gemäß Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten (VzG) mit der Streckennummer 3805 geführt. Dieser Abschnitt durfte gemäß VzG mit einer maximalen Geschwindigkeit von 60 km/h befahren werden und war für einen Bremsweg von 700 m ausgelegt. Die Strecke war mit dem digitalen Zugfunk Global System for Mobile Communications Rail (GSM-R) ausgerüstet. Als Zugsicherungssystem kam die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) zur Anwendung. Die Strecke verband die zweigleisige elektrifizierte Hauptbahn Frankfurt (Main) Hbf – Göttingen, W 251 (Streckennummer 3600) mit den Anlagen des Rangierbahnhofs sowie des Umladebahnhofs in Bebra und wurde auch zur Umfahrung der Bahnsteiggleise in Bebra genutzt.

Die folgende Abbildung zeigt den Fahrtverlauf des Zuges DGS 75731 sowie die Entgleisungsstelle in km 2,69 im Gleis 142 des Bf Bebra.

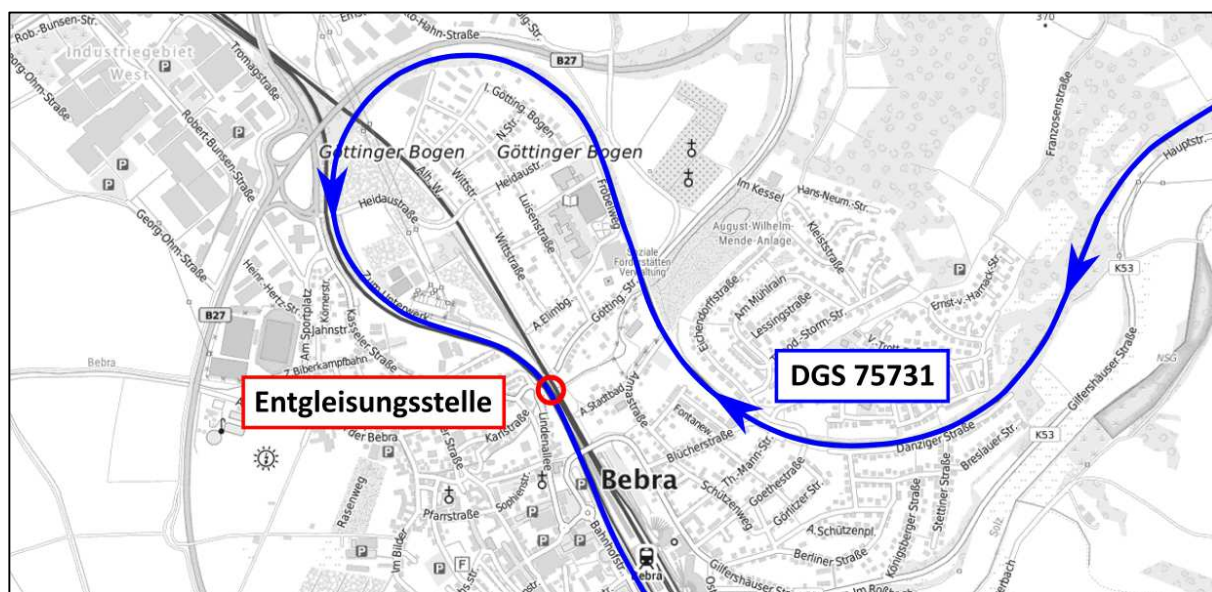


Abbildung 1: Lageplan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Quelle: Geobasisdaten: © GeoBasis-DE / BKG 2020, bearbeitet durch BEU

### 3.2 Beteiligte und Mitwirkende

Am Ereignis waren folgende Stellen beteiligt:

- DB Netz AG, Eisenbahninfrastrukturunternehmen
- TX Logistik AG, Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)
- ARS Altmann AG, Fahrzeughalter

Im Rahmen der Sachverhaltsermittlung und Ursachenerforschung wurden neben den o. g. Beteiligten keine weiteren Stellen einbezogen.

### 3.3 Äußere Bedingungen

Zum Zeitpunkt des Ereignisses herrschten folgende Bedingungen:

Lichtverhältnisse	Dunkelheit
Sicht	klar
Bedeckung	leicht bewölkt
Temperaturen	6°C
fallender Niederschlag	Nein
Niederschlagshäufigkeit	--
Untergrund / gefallener Niederschlag	trocken

Tabelle 1: Übersicht der äußeren Bedingungen

### 3.4 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden

Nach letzten Erkenntnissen traten folgend aufgeführte Personenschäden ein:

	Anzahl Tote	Anzahl schwer Verletzte	Anzahl leicht Verletzte
Reisende	–	–	–
Mitarbeiter	–	–	–
Benutzer von Bahnübergängen	–	–	–
Dritte	–	–	–
Summe	–	–	–

Tabelle 2: Übersicht der Personenschäden

Die geschätzte Höhe der Sachschäden in Euro setzt sich wie folgt zusammen:

	geschätzte Kosten in Euro
Fahrzeuge	nicht einzeln aufgeführt
Infrastruktur	nicht einzeln aufgeführt
Dritte	–
Gesamtschadenshöhe	2.000.000

Tabelle 3: Übersicht der geschätzten Schadenshöhe

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Entgleisungsstelle betrachtet in Fahrtrichtung des Zuges sowie einen der entgleisten Autotransportwagen.

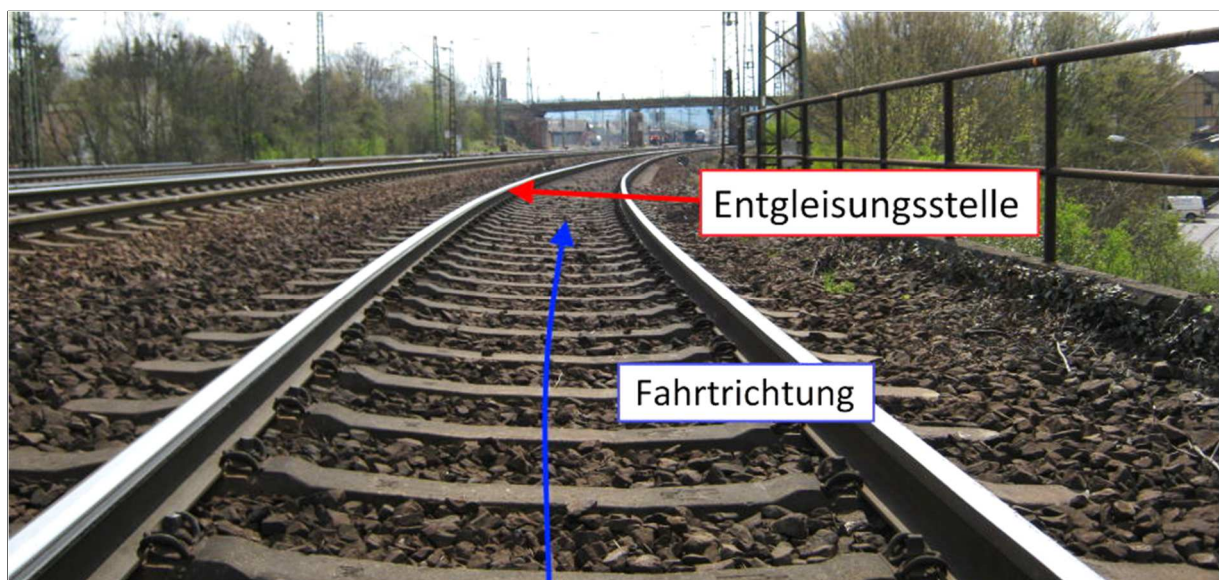


Abbildung 2: Entgleisungsstelle



Abbildung 3: Entgleister Autotransportwagen

## **4 Untersuchungsprotokoll**

In diesem Kapitel werden die ermittelten Ergebnisse zu einzelnen in Zusammenhang mit dem Ereignis stehenden Teilbereichen des Eisenbahnwesens dargestellt. Daneben wurden auch die entsprechenden Schnittstellen sowie das Sicherheitsmanagement (SMS) im betroffenen Bereich betrachtet. Die jeweilig relevanten Erkenntnisse werden fortlaufend aufgeführt.

### **4.1 Zusammenfassung von Aussagen und Stellungnahmen**

Der BEU vorliegende Aussagen oder Stellungnahmen am Ereignis beteiligter Personen sind in die Ermittlungen mit eingeflossen. Auf einen gesonderten Abdruck wird an dieser Stelle verzichtet.

### **4.2 Notfallmanagement**

Nach § 4 Abs. 3 AEG haben die Eisenbahnen die Verpflichtung, an Maßnahmen des Brand-schutzes 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 Konzernrichtlinie 123, das der DB Netz AG in der Richtlinie (Ril) 423 näher beschrieben und geregelt.

Unregelmäßigkeiten oder Verzögerungen in Bezug auf das Einleiten von Rettungsmaßnahmen wurden der BEU im Rahmen der Unfalluntersuchung nicht bekannt.

### **4.3 Untersuchung der bautechnischen Infrastruktur**

Die Entgleisungsstelle lag in einem Rechtsbogen mit einem Radius von 258 m.

Bei der letzten Regelinspektion am 03.11.2011 wurde die Gleisgeometrie mittels Gleis-messtriebzug (GMTZ) geprüft. Der Regelinspektionsabstand für Hauptgleise mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit bis einschließlich 80 km/h betrug 18 Monate.

Bei der Messung wurden für die Prüfgrößen Verwindung und Spurweite im Bereich vor der Entgleisungsstelle Überschreitungen der  $SR_{100}$ -Werte dokumentiert.

Die Messwerte für die Prüfgröße Spurweite bewegten sich hierbei bis zum durch die Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) zugelassenen maximalen Wert von 1.465 mm, überschritten diesen jedoch nicht.



Im Bereich der Entgleisungsstelle überschritten die Messwerte für die Prüfgröße Verwindung die  $SR_{100}$ -Werte, erreichten den zulässigen maximalen Grenzwert aber nicht.

Der Maximalwert der Spurweite und der dokumentierte Verwindungsfehler lagen bei der Messung ca. 19 m auseinander.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt des Messschriebs des GMTZ vom 03.11.2011 mit den Prüfgrößen Spurweite und Verwindung. Erkennbar sind Überschreitungen der  $SR_{100}$ -Werte für die Verwindung im Bereich der Entgleisungsstelle sowie Überschreitungen der Spurweite bis hin zum maximal zulässigen Grenzwert vor der Entgleisungsstelle.

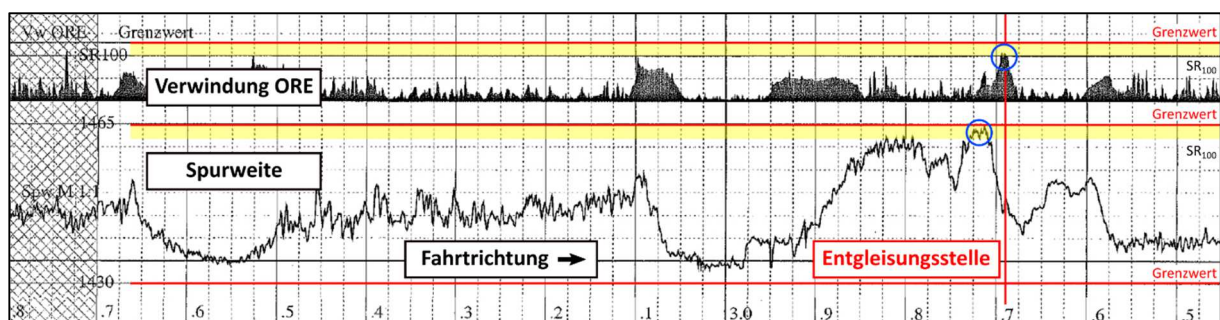


Abbildung 4: Darstellung Messwerte Verwindung und Spurweite<sup>2</sup>

Das Schienenprofil auf der Bogenaußenseite zeigte deutliche Spuren von Abnutzungen des Schienenkopfes. Bei der im Februar 2012 durch die DB Netz AG durchgeführten Gleisbegehung wurden keine befundungswürdigen Mängel dokumentiert.

#### 4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik (LST)

Die LST-Anlagen hatten keinen ursächlichen Einfluss auf die Entstehung des Ereignisses.

#### 4.5 Untersuchung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers

Das Handeln der am Ereignis beteiligten Mitarbeiter im Bahnbetrieb hatte keinen ursächlichen Einfluss auf die Entstehung des Unfalls.

#### 4.6 Untersuchung der betrieblichen Abläufe der EVU

Der Zug verkehrte von Bremerhaven Kaiserhafen unter der Zugnummer 75701 nach Bremen Rbf und von dort als DGS 75731 weiter in Richtung Regensburg Ost. Die wagentechnische Untersuchung des Zuges sowie die volle Bremsprobe erfolgten in Bremerhaven Kaiserhafen.

<sup>2</sup> Quelle: DB Netz AG, Auszug Messschrieb GMTZ, bearbeitet durch BEU

Zu einem begünstigenden Einfluss aufgrund mangelhafter Wagen- bzw. Zugprüfungen konnten keine eindeutigen Feststellungen getroffen werden.

#### 4.7 Untersuchung von Fahrzeugen

Bei dem Zug DGS 75731 handelte es sich um einen Güterzug des EVU TX Logistik AG auf der Fahrt von Bremen Rbf nach Regensburg Ost. Der Zug wurde aus dem elektrischen Triebfahrzeug (Tfz) der Baureihe 185 mit der Fahrzeugnummer 93 81 0185 531-1 A-TXL sowie 22 unbeladenen Autotransportwagen gebildet. Die Gesamtmasse des Zuges betrug 785 t bei einer Gesamtzuglänge von 613 m. Der Zug verkehrte in Bremsstellung P bei einem Gesamtbremsgewicht von 751 t. Daraus resultierte ein Bremsvermögen von 95 Bremshundertsteln gegenüber im Fahrplan geforderten 68 Mindestbremshundertsteln.

Die letzten fünf im Wagenzug laufenden Güterwagen entgleisten. Es handelte sich um Wagen der Gattung Hccrrs 5.833M. Die folgende Abbildung veranschaulicht anhand einer technischen Übersichtszeichnung die Wagenbauform.

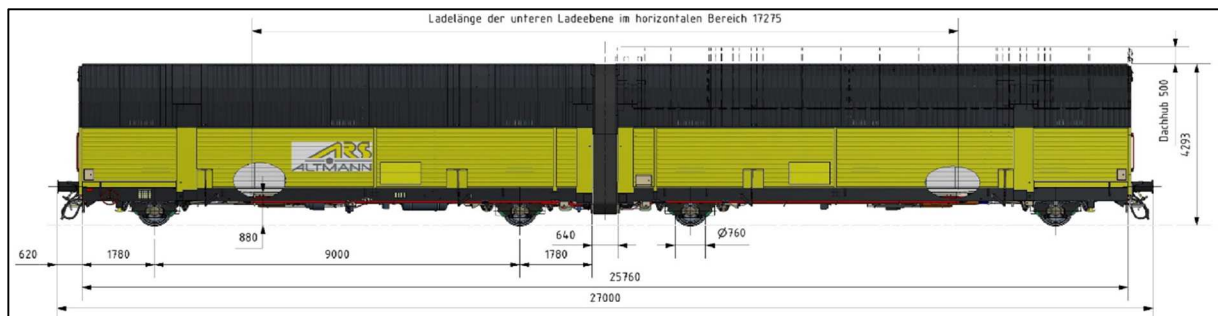


Abbildung 5: Technische Übersichtszeichnung Wagen<sup>3</sup>

Der Wagen mit der Nummer 23 80 291 1925-8, der an letzter Stelle im Zugverband lief, entgleiste zuerst. Die letzte Untersuchung des Wagens nach EBO § 32(3) war am 12.03.2010. Die letzte Bremsprüfung wurde am 12.07.2010 durchgeführt.

<sup>3</sup> Quelle: Datenblatt Autotransportwagen Hccrrs 5.833M, ARS Altmann AG

Technische Daten des zuerst entgleisten Wagens:

Wagennummer	23 80 291 1925-8
Baujahr	1992
Halter	ARS Altmann AG
Gattungszeichen	Hccrrs 5.833M
Eigengewicht	32.000 kg
Länge (LüP)	27.000 mm
Wagenhöhe über SO	4.680 mm
Anzahl der Radsätze	4
Achsabstand	9.000 mm
Lastgrenzen	A 19,5 t, B 23,5 t, C 27,5 t
Max. zul. Fahrzeuggeschwindigkeit	120 km/h
Bremsbauart	KE-GP-A

Tabelle 4: Technische Daten Wagen 23 80 291 1925-8

Bei der Untersuchung der Wagen vor Ort wurde festgestellt, dass am letzten Wagen die in Fahrtrichtung linke Tragfeder der ersten Achse gebrochen war. In der folgenden Abbildung ist die Bruchstelle mit den fortgeschrittenen Anrostungen an der Innenseite des Federblattes sowie ein Bereich mit frischen Rastlinien an der Außenseite des Federblattes erkennbar.



Abbildung 6: Bruch der Blattfeder



Wie in der folgenden Darstellung ersichtlich ist, lag die Bruchstelle an einer schwer einsehba-  
ren Stelle im Bereich des Federbundes.

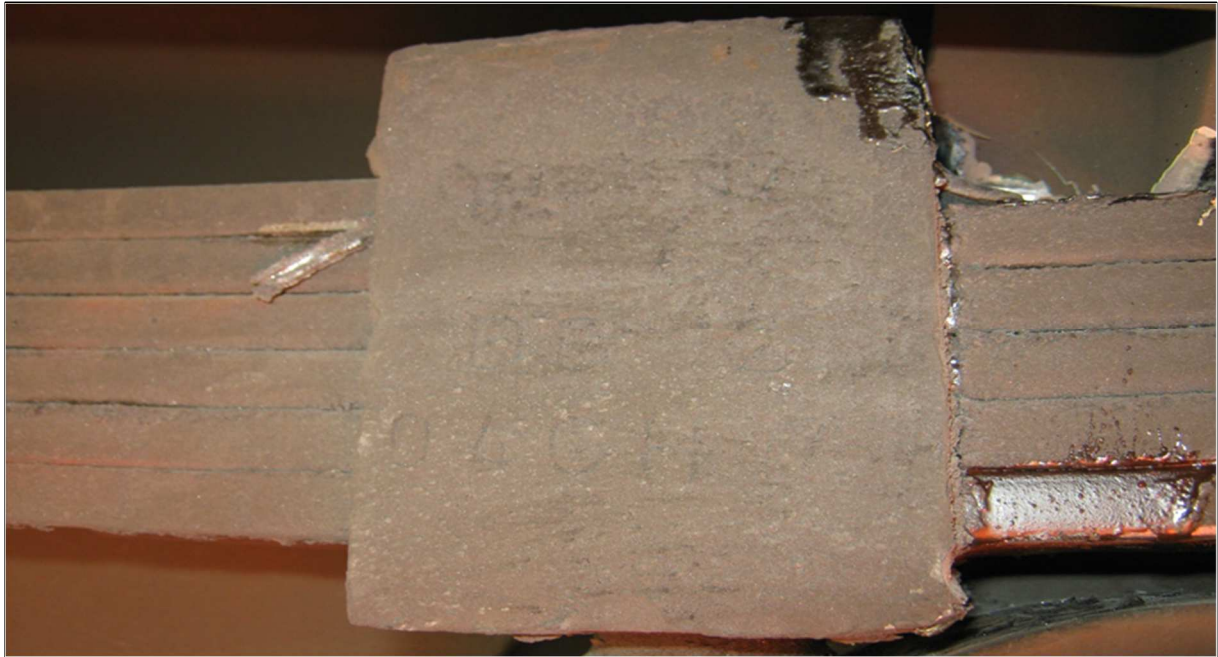


Abbildung 7: Federbund mit Ansicht der Bruchstelle von der Seite

An den anderen Wagen wurden weitere Schäden, beispielsweise ein abgeknickter Puffer so-  
wie ein aufgeschliffenes Lagergehäuse, festgestellt. Diese entstanden jedoch erst in Folge der  
Entgleisung und waren nicht ursächlich.

## **5 Auswertung**

Das Kapitel 5 Auswertung befasst sich mit der Ereignisrekonstruktion. Anhand der oben genannten Feststellungen wird ein plausibler Ablauf des gefährlichen Ereignisses zusammengetragen. Relevante Erkenntnisse werden anschließend bewertet und führen ggf. zu entsprechenden Schlussfolgerungen.

### **5.1 Ereignisrekonstruktion**

Am 16.04.2012 fuhr der Güterzug DGS 75731 auf der Fahrt von Bremen Rbf nach Regensburg Ost durch den Bf Bebra. Beim Befahren eines Rechtsbogens kam es gegen 21:23 Uhr in km 2,69 zunächst zur Entgleisung der ersten Achse des letzten Wagens. Im weiteren Verlauf entgleisten weitere vier Wagen des Zuges.

Der Tf bemerkte neben einer Auslösung des Hauptschalters des elektrischen Tzf ein leichtes Rucken im Zugverband und einen Druckabfall in der Hauptluftleitung. Er unterstützte nach eigener Aussage die Zwangsbremmung durch eine Schnellbremsung mit dem Führerbremsventil. Nach dem Stillstand des Zuges informierte der Fahrdienstleiter Bebra den Tf mittels GSM-R über die Entgleisung.

### **5.2 Bewertung und Schlussfolgerung**

Im Rahmen der Untersuchungen konnten Hinweise auf eine Fehlfunktion der Leit- und Sicherungstechnik nicht festgestellt werden. Die am Ereignis beteiligten Betriebspersonale waren grundsätzlich befähigt und qualifiziert ihre Tätigkeiten auszuführen.

Als ursächlicher Faktor für die Entgleisung des letzten Wagens wurde der Bruch der in Fahrtrichtung linken Tragfeder der ersten Achse festgestellt. Durch die dadurch entstandenen Querkräfte entgleisten in der Folge vier weitere Wagen.

Das obere Federblatt der Tragfeder wies fortgeschrittene Anrostungen auf. Diese lassen den Schluss zu, dass sich der Bruch bereits im vorangegangenen Betriebseinsatz gebildet hatte. Die konkrete Ursache für die Entstehung des Bruches konnte im Rahmen der Untersuchung nicht mehr festgestellt werden. Die sich entwickelnde Bruchstelle lag an der Innenseite des Federblattes in einem schwer einsehbaren Bereich des Federbundes. Ob der Bruch im Rahmen der vorangegangenen Wagen- und Zugprüfungen hätte entdeckt werden können, konnte nicht eindeutig geklärt werden.

Die Rastlinien im Bereich der Bruchstelle wiesen auf einen Schwingbruch hin. Spuren eines Gewaltbruches, wie sie bei einem Bruch infolge einer spontanen Überlastung aufgetreten wären, waren nicht zu erkennen. Es ist daher davon auszugehen, dass der Bruch bereits vor der Entgleisung vollständig entwickelt war.

Da es sich bei den Wagen um unbeladene Autotransportwagen handelte, war die Radsatzlast der Wagen gering. Der Bruch der Tragfeder hatte eine Entlastung des führenden Radsatzes des letzten Wagens und somit eine Verringerung der senkrecht zur Schiene wirkenden Radaufstandskraft  $Q$  zur Folge.

Die Verwindungen im Bereich der Entgleisungsstelle verursachten eine zusätzliche starke Beanspruchung des Fahrwerkes und wirkten sich als beitragender Faktor ereignisbegünstigend aus. Die durch die Verwindungen entstandene Entlastung des Radsatzes führte zu einer zusätzlichen Verringerung der Radaufstandskraft.

Die im Bereich vor der Entgleisungsstelle festgestellten Erweiterungen der Spurweite bis zum zugelassenen maximalen Grenzwert von 1.465 mm stellten eine Überschreitung der  $SR_{100}$ -Werte dar und machten eine Instandsetzung vor der nächsten Regelinspektion erforderlich. Ein Einfluss der Spurweitenerweiterung auf das Ereignis konnte nicht festgestellt werden.

Die Abnutzungen des Schienenkopfes auf der Bogenaußenseite führte zu einer Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene während der Fahrt im Gleisbogen. Hieraus resultierte eine höhere Reibung zwischen Schiene und Spurkranz sowie eine Vergrößerung der quer zur Gleisrichtung wirkenden Führungskraft  $Y$ .

Zusätzlich wirkten sich die äußeren Bedingungen, insbesondere die trockene Schiene, ungünstig aus. Der daraus resultierende höhere Reibwert führte zu einer zusätzlichen Vergrößerung der Führungskraft.

Das Verhältnis zwischen der Führungskraft  $Y$  und der Radaufstandskraft  $Q$  stellt den Entgleiskoeffizienten  $Y/Q$  nach Nadal dar. Er gilt als anerkanntes Maß der Sicherheit gegen Entgleisen durch Aufklettern des Spurkranzes und stellt eine wichtige Größe zur Beurteilung der Fahrsicherheit dar. Für Gleisbögen mit einem Radius von 250 m oder mehr sollte  $Y/Q$  den Wert von 0,8 nicht übersteigen, der Grenzwert von 1,2 darf jedoch auch bei kleineren Radien nicht überschritten werden.

Maßgebend für die Entgleisung war die Entlastung des Radsatzes bedingt durch den Bruch der Tragfeder und die daraus resultierende Verminderung der Radaufstandskraft  $Q$ . Eine weitere Verringerung erfolgte durch die Verwindung des Gleises im Bereich der Entgleisungsstelle. Die Abnutzungen des Schienenkopfes auf der Bogenaußenseite sowie der höhere Reibungskoeffizient der trockenen Schiene führten ereignisbegünstigend zu einer Vergrößerung der Führungskraft  $Y$ . In der Folge überstieg die abhebende Kraft die vertikal nach unten wirkende Kraft und es kam zum Aufklettern des Rades auf die Schiene.

Die nach der ersten Entgleisungsspur festgestellten Schäden am Oberbau sowie die Schäden an den vier anderen entgleisten Wagen konnten als Folgeschäden der Entgleisung identifiziert werden.

## **6 Bisher getroffene Maßnahmen**

Der BEU wurden keine Maßnahmen bekannt, die infolge des Ereignisses durch die beteiligten Eisenbahnunternehmen oder durch die Sicherheitsbehörde getroffen wurden.

## **7 Sicherheitsempfehlungen**

Es wurden keine Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.