



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Schlussbericht

der Schweizerischen

Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über die Entgleisung eines Güter-
zuges

vom 4. November 2019

in Bonaduz (GR)

Reg.-Nr. 2019110402

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Der alleinige Zweck der Untersuchung eines Unfalls oder eines schweren Vorfalls ist die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen¹. Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand Rechnung zu tragen.

Alle Personenbezeichnungen in diesem Bericht sind in der männlichen Form gehalten und gelten für die die Funktion ausübende Person, ungeachtet ihres Geschlechts.

¹ Artikel 15 des Eisenbahngesetzes vom 20. Dezember 1957 (EBG), Stand am 1. Januar 2022 (SR 742.101)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Überblick	5
Untersuchung	5
Kurzdarstellung	6
Ursache	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
Glossar	7
1 Sachverhalt	8
1.1 Ort des Ereignisses	8
1.2 Vorgeschichte	9
1.3 Ablauf des Ereignisses	9
1.4 Schäden	10
1.4.1 Personen	10
1.4.2 Infrastruktur	10
1.4.3 Fahrzeuge	10
1.5 Beteiligte und betroffene Personen	11
1.5.1 Bahnpersonal	11
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen	12
1.6.1 Infrastrukturbetreiberin	12
1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen	12
1.6.3 Fahrzeughalter	12
1.7 Infrastruktur	12
1.7.1 Bahnanlage	12
1.7.2 Stellwerk und Leittechnik	12
1.7.3 Verladeeinrichtung Preda	13
1.8 Fahrzeuge	14
1.8.1 Güterzug	14
1.8.2 Güterwagen des Typs Fac	14
1.9 Kommunikation	17
1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung	17
1.10.1 Fahrdaten Güterzug	17
1.10.2 Videoaufzeichnungen	17
1.11 Besondere Untersuchungen	18
1.11.1 Wetter, Sichtverhältnisse, Schienenzustand	18
1.11.2 Lastverteilung und Zuguntersuchung	18
1.12 Regelungen, Funktionsbeschreibungen und Nachweise	19
1.12.1 Schweizerische Fahrdienstvorschriften (FDV)	19

1.12.2	Regelungen der RhB zum Verladen von Güterwagen	20
2	Analyse	21
2.1	Technische Aspekte	21
2.1.1	Infrastruktur	21
2.1.2	Fahrzeuge	21
2.2	Organisatorische Aspekte.....	22
2.3	Betriebliche oder prozessuale Aspekte	22
2.4	Menschliche Aspekte.....	22
3	Schlussfolgerungen.....	23
3.1	Befunde	23
3.1.1	Technische Aspekte	23
3.1.2	Organisatorische Aspekte	23
3.1.3	Betriebliche oder prozessuale Aspekte	23
3.1.4	Menschliche Aspekte.....	23
3.2	Ursachen	23
4	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit der Entgleisung getroffene Massnahmen	24
4.1	Sicherheitsempfehlungen	24
4.2	Sicherheitshinweise	24
4.3	Seit der Entgleisung getroffene Massnahmen.....	24

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel Eisenbahn

Beteiligte Unternehmen

Eisenbahnverkehrsunternehmen Rhätische Bahn AG (RhB), Chur

Infrastrukturbetreiberin Rhätische Bahn AG (RhB), Chur

Beteiligte Fahrzeuge	Lok Ge 6/6 ^{II} 701	Rhätische Bahn AG
	Güterwagen Fac 8710	Rhätische Bahn AG
	Güterwagen Fac 8707	Rhätische Bahn AG
	Güterwagen Re-w 8244	Rhätische Bahn AG

Ort Bonaduz (GR)

Datum und Zeit 4. November 2019, 16:35 Uhr

Untersuchung

Am 4. November 2019 um 17:05 Uhr traf die Meldung über die Entgleisung eines Güterzuges in Bonaduz beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein. Es wurde eine Untersuchung eröffnet.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Videoaufzeichnungen;
- Meteorologische Daten;
- Fahrdaten des Zuges;
- Stellwerkdaten;
- Kartenmaterial;
- Gleispläne;
- Technische Dokumentationen der RhB;
- Sicherheitsmanagement-System (SMS) der RhB;
- Betriebsvorschriften der RhB;
- Befragungen der Beteiligten.

Kurzdarstellung

Am 4. November 2019, um 16:35 Uhr, entgleisten bei der Einfahrt eines von Samedan kommenden Güterzuges in den Bahnhof Bonaduz drei Wagen im Bereich der Weiche 6. Zwei mit Schotter beladene Güterwagen kippten zur Seite.

Ursache

Die Entgleisung von drei mittig im Zug eingereihten Wagen eines Güterzuges am 4. November 2019 in Bonaduz (GR) ist auf das Zusammenwirken mehrerer Faktoren zurückzuführen: Die einseitige, in Fahrtrichtung linkslastige Beladung der mit Schotter beladenen Güterwagen hatte eine Entlastung der rechten, kurvenäusseren Räder zur Folge. Gleichzeitig begrenzte das Anschlagen der Federlaschen gegen das U-Profil am Querträger des Wagenkastens den Federweg und die Drehfähigkeit des Drehgestells. Begünstigt von der in der Linkskurve vorhandenen Überhöhung und von der niedrigen Fahrgeschwindigkeit verlor die vorderste Achse des ersten der drei Schotterwagen die Spurführung.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

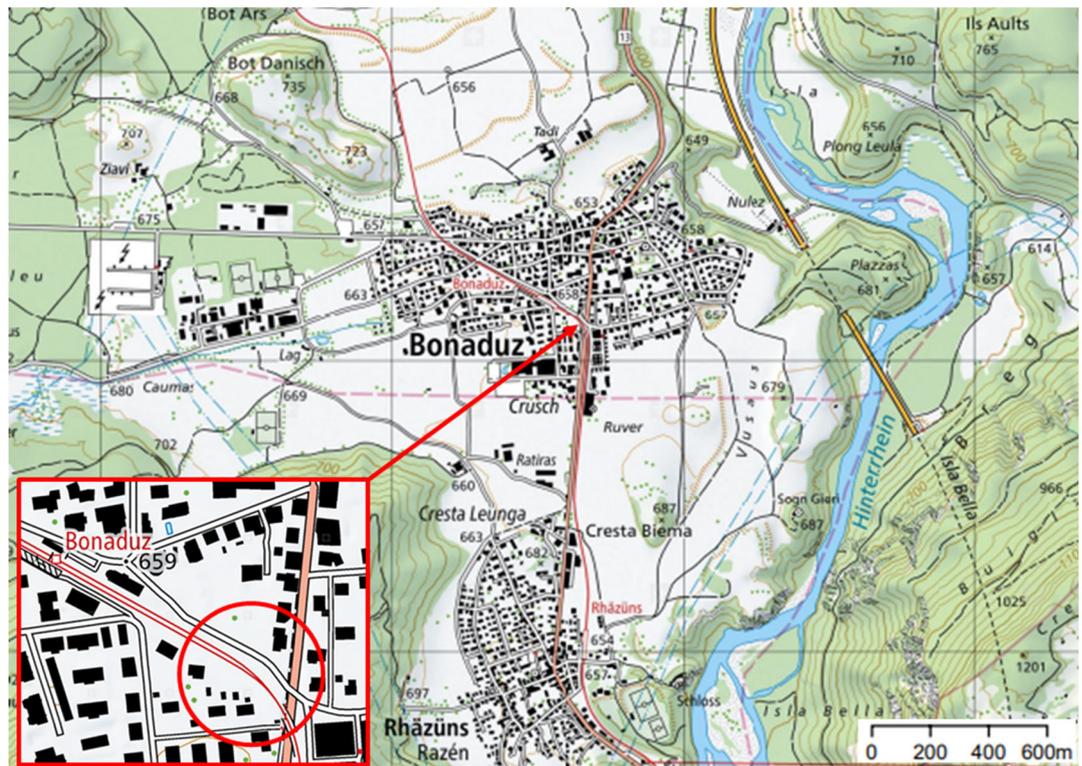
Mit diesem Bericht werden weder Sicherheitsempfehlungen noch Sicherheitshinweise ausgesprochen.

Glossar

AB-EBV	Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung vom 15. Dezember 1983, Stand am 1. Juli 2016 (SR 742.141.11)
BAV	Bundesamt für Verkehr
EBV	Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung) vom 23. November 1983, Stand am 15. Mai 2018 (SR 742.141.1)
FDV	Schweizerische Fahrdienstvorschriften (R 300.1-.15) vom 2. November 2015, Stand am 1. Juli 2016 (SR 742.173.001)
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VTE	Verordnung des UVEK über die Zulassung zum Führen von Triebfahrzeugen der Eisenbahnen vom 27. November 2009, Stand am 1. Februar 2014 (SR 742.141.21)

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Ereignisses



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zum Ort des Unfalls mit Detailansicht der Entgleisungsstelle.

Quelle der Basiskarten: Bundesamt für Landestopografie.

1.2 Vorgeschichte

Drei Güterwagen des Typs Fac wurden in der Verladeanlage in Preda mit Schotter beladen und anschliessend nach Samedan überführt, wo sie zur Beförderung an ihren Zielort Untervaz mittig in den Güterzug eingereiht wurden.

Der Lokführer und der Lokführer in Ausbildung begannen ihre Dienstschrift um 12:42 Uhr in Samedan mit der Zugvorbereitung am Güterzug. Sie fuhren mit dem Zug um ca. 13:20 Uhr, einige Minuten vorzeitig, in Richtung Landquart ab. Bis zur Entgleisung verlief die Fahrt störungsfrei und ohne Auffälligkeiten.

1.3 Ablauf des Ereignisses

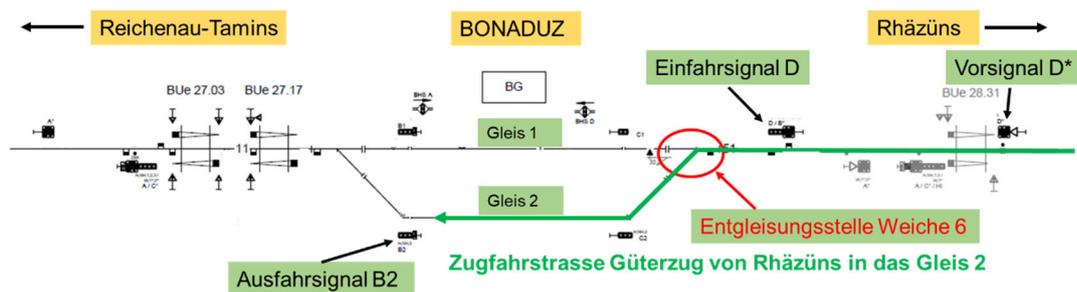


Abbildung 3: Schematischer Sicherungsanlagenplan und grafische Darstellung des Ablaufs. Quelle: RhB, bearbeitet durch die SUST.

Die Leittechnik hatte für den Güterzug um 15:59 Uhr automatisch eine Zugfahrstrasse vom Streckengleis von Rhäzüns her in das Gleis 2 eingestellt (Abbildung 3). Das Einfahr-Vorsignal D* zeigte Geschwindigkeits-Ankündigung 30 km/h (Fahrbeginn 2*), das Einfahrsignal D signalisierte Geschwindigkeits-Ausführung 30 km/h (Fahrbeginn 2). Das Ausfahrtsignal B2 zeigte «Halt», weil in Bonaduz Kreuzungen mit zwei entgegenkommenden Zügen abgewartet werden sollten. Der Lokführer in Ausbildung bediente das Triebfahrzeug. Vor der Einfahrt in den Bahnhof reduzierte er die Geschwindigkeit und fuhr über die in ablenkender Stellung stehende Weiche 6 in das Gleis 2 ein. Plötzlich nahmen die beiden Lokführer zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Rucke wahr. Als der Lokführer in Ausbildung daraufhin in den linken Rückspiegel blickte, sah er, wie zwei Schotterwagen auf die linke Seite hin umkippten. Er leitete sofort eine Schnellbremsung ein. Zwei mit Schotter beladene Güterwagen des Typs Fac waren entgleist und umgekippt. Der davor eingereihte, mit Eisenteilen beladene Flachwagen entgleiste ebenfalls (Abbildung 4).



Abbildung 4: Fotografie der Unfallstelle mit entgleisten resp. umgekippten Güterwagen; Blickrichtung entgegen der Fahrrichtung.

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Es wurden keine Personen verletzt.

1.4.2 Infrastruktur

An der Weiche 6 und am Gleis 2 im Bereich der Entgleisungsstelle entstand erheblicher Sachschaden.

Der hintere Güterwagen prallte beim Umkippen gegen einen Fahrleitungsmast. Der Mast wurde geknickt und teilweise aus seinem Fundament gerissen. Die Fahrleitung im Bereich des Masts wurde beschädigt.

1.4.3 Fahrzeuge

Die umgekippten Güterwagen wurden erheblich beschädigt (Abbildung 5).



Abbildung 5: Umgekippte Güterwagen Fac Nr. 8707 und 8710.

1.5 Beteiligte und betroffene Personen

1.5.1 Bahnpersonal

1.5.1.1 Lokführer

Person

Jahrgang 1970,
Anstellung bei RhB, Dienstort Samedan

Berechtigung

BAV-Ausweis Kategorie B,
zum Ausführen aller Rangierbewegungen und
zum Führen aller Züge gem. VTE sowie Beschei-
nigung der RhB zum Befahren des Streckennet-
zes der RhB und zur Bedienung des Triebfahr-
zeuges vom Typ Ge 6/6^{II} vorhanden und gültig.

Arbeitsbeginn am Ereignistag

12:42 Uhr

Gesundheitszustand

Der Lokführer fühlte sich gesund, ausgeruht und
normal leistungsfähig.

1.5.1.2 Lokführer in Ausbildung

Person

Jahrgang 1998,
Anstellung bei RhB, Dienstort Samedan

Berechtigung

Lernfahrausweis Kategorie B, zum Ausführen
von Lernfahrten auf dem Streckennetz der RhB
vorhanden und gültig.

Arbeitsbeginn am Ereignistag

12:42 Uhr

Gesundheitszustand

Der Lokführer in Ausbildung fühlte sich gesund,
ausgeruht und normal leistungsfähig.

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

1.6.1 Infrastrukturbetreiberin

Rhätische Bahn AG (RhB)

1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

Rhätische Bahn AG (RhB)

1.6.3 Fahrzeughalter

Rhätische Bahn AG (RhB)

1.7 Infrastruktur

1.7.1 Bahnanlage

1.7.1.1 Beschreibung

Der Bahnhof Bonaduz besteht aus den Hauptgleisen 1 und 2 (Abbildung 3). Die für Züge nutzbare Länge des Gleises 2 beträgt rund 244 m. Der betroffene Gleisabschnitt befindet sich in der Fahrtrichtung des Güterzuges in einer Linkskurve mit einem Radius von 118 m. Das Gleis im Bereich der Weiche 6 weist eine Überhöhung² von 105 mm auf. Der Gleisabschnitt im Bereich des Einfahrsignals und der Weiche 6 unterliegt keiner massgeblichen Längsneigung.

1.7.1.2 Feststellung

Die Gleisgeometrie entsprach den gesetzlichen Vorgaben. Die Überhöhung entsprach dem gemäss AB-EBV zu Art. 17, Ziff. 3.4 im Normalfall zulässigen Grenzwert von 105 mm. Die Auslegung der Infrastruktur offenbarte keine Auffälligkeiten. Es waren keine Vorbeschädigungen am Gleis oder an der Weiche 6 feststellbar, die zur Entgleisung hätten beitragen können. Anhand der Entgleisungsspuren war erkennbar, dass das rechte Rad der vordersten Achse des ersten Fac-Wagens im Bereich des Beginns der Weichenzungen auf den Schienenkopf der rechten Schiene aufstieg und über eine geringe Distanz auf dem Schienenkopf rollte. Dann entgleiste die Achse zur rechten Seite hin und rollte zwischen Weichenzunge und Stockschiene weiter. Nach einigen Metern prallte das entgleiste, linke Rad gegen den Radlenker der Weiche 6. Ab dieser Stelle waren auf der rechten Seite keine Radspuren mehr erkennbar, was darauf schliessen lässt, dass hier die Räder auf der rechten Seite abhoben und die Umkippbewegung eingeleitet wurde.

1.7.2 Stellwerk und Leittechnik

1.7.2.1 Beschreibung

Der Bahnhof Bonaduz ist mit einem Relaisstellwerk des Typs Domino 69 von Siemens Schweiz AG ausgerüstet. Die Bedienung der Sicherungsanlage erfolgt durch den Fahrdienstleiter in der Leitstelle in Landquart über die Bedienoberfläche der

² Überhöhung: Kurven in Hauptgleisen werden zur Erreichung höherer Fahrgeschwindigkeiten und zur Verbesserung des Fahrkomforts überhöht. D. h. die kurvenäussere Schiene liegt höher als die kurveninnere, was durch eine Drehung des Gleises um seine Längsachse erreicht wird. Ziel der Überhöhung ist es, die aus Zentrifugalkraft und Gewichtskraft des Fahrzeugs resultierende Kraft möglichst senkrecht zur Fahrbahn wirken zu lassen.

Leittechnik Ittis. Im Regelbetrieb werden die Zufahrstrassen durch die Leittechnik anhand programmierter Zugdaten und Dispositionskriterien automatisch eingestellt.

1.7.2.2 Feststellung

Im Zeitraum der Entgleisung funktionierten das Stellwerk und die Leittechnik ordnungsgemäss; es lagen keine Störungen an der Sicherungsanlage vor. Die Sicherungsanlage hatte keinen Einfluss auf die Entgleisung.

1.7.3 Verladeeinrichtung Preda

1.7.3.1 Beschreibung

Der Verlad von Schotter in Preda ab der Baustelle «Neubau Albulatunnel II» erfolgt seit 2016. Es besteht eine Verladeeinrichtung, mit der die Güterwagen von oben mit Schüttgut befüllt werden (Abbildung 6). Dazu wird der Verladekopf der Einrichtung jeweils über die Öffnung des Güterwagens ausgefahren. Die Verlademenge wird über eine Förderbandwaage überwacht, wobei das Förderband beim Erreichen der programmierten Menge automatisch ausgeschaltet wird.



Abbildung 6: Verladeanlage in Preda. Quelle: RhB.

1.7.3.2 Feststellung

In der Verladestelle Preda verhindert die Lage der Fahrleitung, dass der Verladekopf weit genug ausgefahren werden kann, um mittig über der Wagenöffnung positioniert zu werden. Die maximal erreichbare Position des Verladekopfes befindet sich rund 20 cm von der Wagenmitte entfernt. Dies hat zur Folge, dass bei Vollbeladung die oberste Schicht des Schüttgutes in der Höhe von ungefähr 40 cm nicht zentriert eingefüllt wird. Zudem wurde festgestellt, dass vor dem Befüllen der später entgleisten Güterwagen eine Restmenge Schottersteine in den Ausfahrmechanismus des Verladekopfes gelangt war und diesen bereits einige Zentimeter vor dem Erreichen der maximal möglichen Stellung blockierten. Dies schränkte das Ausfahren des Verladekopfes zusätzlich ein, was den Grad der Dezentrierung der Ladung nochmals erhöhte.

1.8 Fahrzeuge

1.8.1 Güterzug

1.8.1.1 Beschreibung

Die Formation des Güterzuges erfolgte in Samedan. Der Zug war aus der Lok Ge 6/6^{II} Nr. 701, einer Baumaschine, einer geschleppten Rangierlok und elf Güterwagen formiert (Abbildung 7). Der Lastzettel wies ein Gesamtgewicht der Anhängelast von 421 t, ein Bremsgewicht von 394 t, eine Gesamtlänge von 222 m und eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h aus. Mit dem Güterzug wurde kein Gefahrgut befördert.

Zug: 5152 Datum: 04.11.2019

Tfz Nr.		Daten Triebfahrzeuge								Gew.	BrGew.	Vmax	Reihe	Länge	Festh.K
										[t]	[t]	[km/h]		[m]	[kN]
701										65	50	80	R	15	70
										0	0	0		0	0
Wagen- Nummer	Versand- Bahnhof	Empfangs- Bahnhof	Ladung Art	Gefahrgut UN-Nr.	Empfänger	Gew. [t]	BrG. [t]	Vmax [km/h]	Reihe						
										↓	↓				
RM 76	Thuisis	Landquart	Baumasch.		Sersa	124	124	60	D	36	148				
TM 89	Thuisis	Landquart			Rangier	25	25	60	A	9	24				
10049	Thuisis	Untervaz	Mulden		A & M	22	19	90	R	16	33				
10050	Thuisis	Untervaz	Mulden		A & M	22	19	90	R	16	33				
8244	Thuisis	Untervaz	Eisen		A & M	15	15	80	R	17	21				
8710	Samedan	Untervaz	Kies			44	36	60	A	13	39				
8707	Samedan	Untervaz	Kies			44	36	60	A	13	39				
8712	Samedan	Untervaz	Kies			44	36	60	A	13	39				
7995	Samedan	Untervaz	Leer			17	19	80	R	13	25				
5113	Samedan	Haldenstein	Bau Mat.		Gasser	13	13	80	R	15	20				
65663	Samedan	Haldenstein	Leer		Gasser	16	20	90	R	16	24				
5161	Samedan	Felsberg	Leer		Kuoni	17	15	80	R	15	25				
5169	Samedan	Felsberg	Leer		Kuoni	18	17	80	R	15	27				

Abbildung 7: Die Zugliste zeigt die Formation des Güterzuges. Orange eingerahmt die entgleisten Güterwagen. Quelle: RhB, bearbeitet durch die SUST.

1.8.1.2 Feststellung

Im Zeitraum des Ereignisses lagen keine Störungen an Sicherheitseinrichtungen von Fahrzeugen vor. Bezüglich der Formation des Güterzuges waren keine Auffälligkeiten feststellbar. In der Zugliste (Abbildung 7) war für die drei im Zug eingereihten Güterwagen des Typs Fac (Wagen-Nr. 8710, 8707 und 8712) Kies als Ladung aufgeführt. Die Wagen waren jedoch mit Schotter beladen.

1.8.2 Güterwagen des Typs Fac

Die Güterwagen des Typs Fac werden bei der RhB für den Transport von mineralischen Schüttgütern wie z. B. Schotter oder Kies verwendet. Es handelt sich dabei um vierachsige, offene Wagen mit Schwerkraftentladung. Die Beschaffung und In-

betriebsnahme der ersten beiden Fahrzeug-Serien (Serie I Fac 8701 – 8706, Serie II Fac 8707 – 8712) erfolgten in den Jahren 1969-1971. Die Wagen wurden damals bei der Josef Meyer Eisen- und Waggonbau AG in Rheinfelden hergestellt.

Bei der Untersuchung der entgleisten Schwerkraftentladewagen waren jeweils an den Unterseiten der an den Querträgern des Wagenkastens vorhandenen U-Profile eindeutige Dellen und Schleifspuren erkennbar (Abbildung 8). Teilweise wiesen die betroffenen Stellen Korrosion auf. Die Prüfung weiterer Fac-Wagen durch die RhB ergab, dass die Dellen und Schleifspuren bei weiteren Wagen der ersten und der zweiten Fahrzeugserie vorhanden waren. Allerdings waren nicht alle Wagen davon betroffen. Bei weiteren Untersuchungen wurde festgestellt, dass die in den Querträgern vorhandenen U-Profile (Abbildung 9) bei Wagen aus beiden Fahrzeugserien zwei unterschiedliche Tiefen aufwiesen. Einige U-Profile wiesen eine Tiefe von 75 mm auf. An den Querträgern der Güterwagen mit dieser Profiltiefe waren keine Dellen und Schleifspuren erkennbar. Die übrigen Wagen aus beiden Serien – darunter auch die beiden entgleisten – verfügten an den Querträgern über U-Profile mit einer Tiefe von nur 63 mm. Ausschliesslich bei diesen Wagen waren die Dellen und Schleifspuren an den Unterseiten der Querträger vorhanden.

Zudem wurde bei den Untersuchungen ein Schreiben des Zugförderungs- und Werkstädtendienstes der RhB aus dem Jahr 1971 – also aus der Zeit der Inbetriebnahme der Güterwagen – gefunden, wonach das technische Personal beim Fac Nr. 8710 «in den Aussparungen des hinteren Schemelträgers Aufschlagspuren von den Federlaschen» sowie in den Zeichnungen der Wagen unterschiedliche Angaben – 63 mm und 75 mm – zu den Tiefen der U-Profile festgestellt hatte. Die weitere Behandlung dieser Feststellungen konnte nicht mehr nachvollzogen werden. Es war nicht erkennbar, ob daraus Massnahmen abgeleitet wurden.



Abbildung 8: Nahaufnahme des U-Profils am Querträger mit der darunter liegenden Federlasche. In den roten Markierungen sind die durch Kollisionen der Federlasche mit der Unterseite des U-Profils entstandenen Dellen erkennbar.

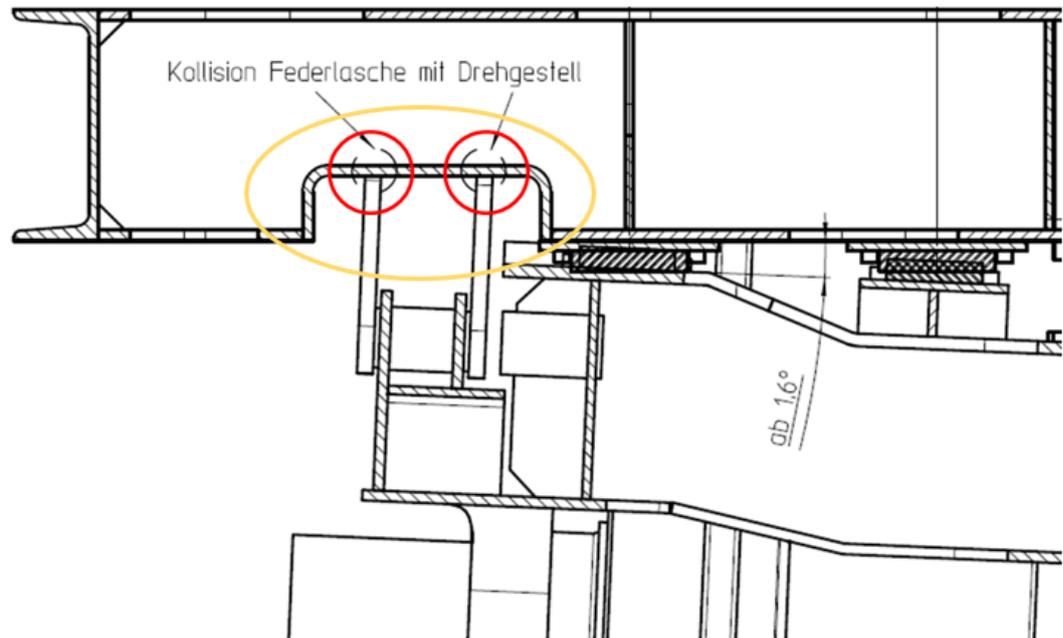


Abbildung 9: Ausschnitt aus der Skizze des Drehgestells und des Wagenkastens. Die gelbe Markierung zeigt das im Querträger verbaute U-Profil. Die roten Kreise markieren die Berührungspunkte bei der Kollision der Federlaschen mit der Unterseite des Querträgers. Quelle: RhB, bearbeitet durch die SUST.

Anlässlich regulärer Instandhaltungsarbeiten an den Güterwagen im August 2019 hatte die RhB die Dellen und Schleifspuren bei mehreren Wagen festgestellt und erkannt, dass diese durch Kollisionen der Federlaschen mit der Unterseite der U-Profile im Querträger des Wagenkastens zustande gekommen sein mussten. Ein erhöhtes Entgleisungsrisiko hatte die RhB daraus vorerst nicht abgeleitet und daher auf Sofortmassnahmen verzichtet. Die RhB plante jedoch, die Mängel an den betroffenen Güterwagen durch technische Anpassungen zu beheben. Durch Anheben der beiden unteren Drehpfannen und der aussen- und innenliegenden Gleitplatten-Halterungen um je 20 mm sollte der Freiraum für die Einfederung vergrössert werden (Abbildung 10). Mit diesen Umbaumaassnahmen wollte die RhB die Kollisionen der Federlaschen mit der Unterseite des Wagenkastens verhindern und das Laufverhalten der Güterwagen verbessern. Der Güterwagen Fac mit der Nummer 8706 wurde als Prototyp bereits umgebaut und die Auswirkungen der Anpassungen auf Erprobungsfahrten getestet. Aufgrund der aus diesen Erprobungsfahrten gewonnenen, positiven Erkenntnisse beabsichtigte die RhB, bis Ende Juni 2020 die verbleibenden Güterwagen beider Serien ebenfalls umzubauen.

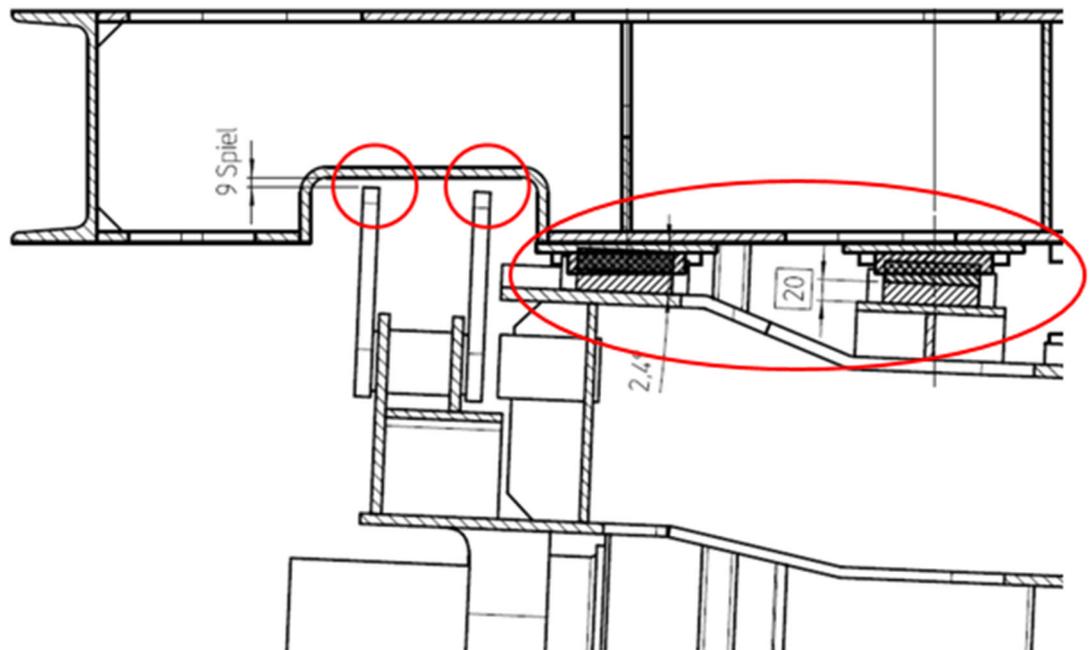


Abbildung 10: Ausschnitt aus der Skizze des Drehgestells. Die rote Ellipse markiert die im Rahmen der Umbaumaassnahmen um 20 mm angehobenen Gleitplatten-Halterungen und Drehpfannen. Die roten Kreise zeigen den durch die Massnahmen erreichten, grösse- ren Abstand zwischen dem Querträger und den Federlaschen. Quelle: RhB, bearbeitet durch die SUST.

1.9 Kommunikation

Im Zeitraum vor dem Ereignis fand zwischen den Beteiligten keine fernmündliche Kommunikation statt. Nach der Entgleisung verständigte der Lokführer in Ausbildung den Fahrdienstleiter per Funk über die Entgleisung und forderte Hilfe an.

1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.10.1 Fahrdaten Güterzug

Die Fahrdaten der Lok Ge 6/6^{II} Nr. 701 wurden ausgewertet. Den Daten kann entnommen werden, dass der Güterzug auf der Strecke mit 43 km/h fuhr. Danach ist über eine Distanz von rund 520 m eine gleichmässig verlaufende Reduktion der Geschwindigkeit auf ca. 20 km/h erkennbar, bevor dann eine abrupte Abnahme der Geschwindigkeit über eine Distanz von rund 15 m bis zum Stillstand erfolgte.

1.10.2 Videoaufzeichnungen

Der Güterzug wurde bei der Fahrt durch den Bahnhof Rothenbrunnen um 15:56 Uhr sowie durch den Bahnhof Rhäzüns um 16:01 Uhr von ortsfesten Überwachungskameras gefilmt. In den Aufzeichnungen ist die einseitige Beladung der mit Schotter beladenen Güterwagen gut erkennbar (Abbildung 11). Die Videodaten zeigten keine weiteren Auffälligkeiten am Zug.



Abbildung 11: Standbild aus der Videoaufzeichnung bei der Fahrt des Güterzuges durch den Bahnhof Rothenbrunnen.

1.11 Besondere Untersuchungen

1.11.1 Wetter, Sichtverhältnisse, Schienenzustand

Es war leicht bewölkt und trocken. Die Schienen waren trocken. Es herrschten normale Sichtverhältnisse. Die Wetter- und Sichtverhältnisse sowie der Schienenzustand trugen nicht zur Entgleisung bei.

1.11.2 Lastverteilung und Zuguntersuchung

In ihren Verladevorschriften gibt die RhB vor, dass Schüttgut gleichmässig über die gesamte Ladefläche zu verteilen ist (Abbildung 12). Die Untersuchung zeigte auf, dass in den drei im Güterzug eingereihten Fac-Wagen das Schüttgut nicht zentriert verladen wurde. Bei den entgleisten und umgekippten Güterwagen konnte der exakte Grad der Dezentrierung im Rahmen der Untersuchung nicht

mehr festgestellt werden. Der im Güterzug als hinterster der drei Fac-Wagen eingereihte, nicht entgleiste Güterwagen Nr. 8712 wurde nach dessen Überführung in Thuisis nachgewogen. Die Nachmessung ergab eine Abweichung der Summen aller Radlasten links zu rechts von 12.27 % der Fahrzeugmasse. Die zulässige Abweichung beträgt 3 %³. Anlässlich der Zuguntersuchung, die vom Boden aus erfolgte, war die ungleichmässige Verteilung des Schüttgutes in den Güterwagen nicht erkennbar.

1.12 Regelungen, Funktionsbeschreibungen und Nachweise

1.12.1 Schweizerische Fahrdienstvorschriften (FDV)

Die FDV enthalten im Kapitel Zugvorbereitung (R 300.5) folgende übergeordneten Vorgaben zur Zuguntersuchung (Auszug):

4.2 Umfang der Zuguntersuchung

Technische Zuguntersuchung:

Der Zugvorbereiter hat sicherzustellen, dass

- die Lauffähigkeit und Betriebssicherheit gewährleistet sind*
- die Seitentüren und andere Verschlüsse an Wagen und Behältern geschlossen und gesichert sind*
- die Güterwagen vorschriftsgemäss beladen und die Ladeeinheiten und die Behälter gesichert sind.*

Die technische Zuguntersuchung ist an jedem einzelnen Fahrzeug mindestens einmal pro Tag und bei Güterwagen zusätzlich nach Änderungen der Beladung durchzuführen.

Betriebliche Zuguntersuchung:

Der Zugvorbereiter hat sicherzustellen, dass

- der Zug vorschriftsmässig formiert ist*
- die Fahrzeuge richtig gekuppelt sind*
- funktionstüchtige Bremsen in vorgeschriebener Art und Anzahl vorhanden und verteilt sowie die Umstellvorrichtungen richtig gestellt sind*
- genügend von der Wirkung der automatischen Bremse unabhängige Bremsmittel zum Sicherstellen der Mindestfesthaltekraft vorhanden sind*
- wo möglich die automatische Türschliessung ordnungsgemäss funktioniert*
- der Zug mit den vorgeschriebenen Ausrüstungsgegenständen, Kennzeichnungen und Signalmitteln versehen ist*
- die Bremsprobe durchgeführt ist.*

Die betriebliche Zuguntersuchung ist mindestens einmal pro Tag, bei jedem neu gebildeten Zug und bei Änderungen unterwegs durchzuführen.

³ Gemäss Formular «Messblatt Radaufstandskraftmessung» der RhB mit Verweis auf AB-EBV Art. 47, Abs. 2

1.12.2 Regelungen der RhB zum Verladen von Güterwagen

Die RhB hat in ihren Betriebsvorschriften *DV 0018 – Verladevorschriften* vom 1. April 2018 folgende Regelungen für den Belad von Güterwagen mit Schüttgütern erlassen (Auszug):

5.6. Schüttgüter

Schüttgüter wie Kies, Sand, Holzhackschnitzel, Zuckerrüben und Aushub sind gleichmässig über die gesamte Ladefläche zu verteilen.

Bei Verlad ohne Schüttkegel darf bis Wagenwandhöhe (auch in Wagenmitte) verladen werden.

Holzhackschnitzel und andere leichte Güter sind ganzflächig abzudecken.

Schwerere Güter, die keine Abdeckung erfordern dürfen mit einem Schüttkegel verladen werden:

- ① Der Schüttkegel darf in der Mitte max. 50 cm höher als die Wagenwände sein, sofern das Lademass es erlaubt,
- ② An den Wagenwänden darf das Ladegut nur bis 15 cm unter deren Kante liegen.



In Muldenwagen mit seitlichen Entladetrichern (z.B. Xc 9416-9425) muss während dem Be- und Entladen dafür gesorgt werden, dass keine einseitige Beladung entsteht.

Abbildung 12: Auszug aus den Verladevorschriften (DV 0018) der RhB bezüglich des Verladens von Schüttgütern.

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Infrastruktur

Die Gleisanlage wies keine Vorbeschädigungen auf. Die Gleisgeometrie und der Gleiszustand im Bereich der Entgleisungsstelle wurden kontrolliert und waren innerhalb der zulässigen Werte. Sie waren nicht ursächlich für die Entgleisung. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Überhöhung im Bereich der Entgleisungsstelle – die mit 105 mm dem im Normalfall zulässigen Grenzwert entsprach – in Verbindung mit der ungleichmässigen Beladung der Güterwagen und der tiefen gefahrenen Geschwindigkeit Auswirkungen auf das Kippmoment hatte und die Entgleisung begünstigte.

Die Auslegung der Fahrleitung in der Verladeanlage in Preda sowie im Ausfahrmechanismus eingeklemmte Schottersteine verhinderten die mittige Positionierung des Verladekopfes über der Öffnung der Güterwagen. Dies führte dazu, dass das Ladegut nicht zentriert eingefüllt und gleichmässig verteilt wurde. Insbesondere bei Schotter, der sich im Vergleich zu Sand und Kies beim Befüllen im Wageninneren nur eingeschränkt selbstständig verteilt, führte dies zu einer ungleichmässigen Gewichtsverteilung und somit zwangsläufig zu ausgeprägten seitlichen Radlastunterschieden.

2.1.2 Fahrzeuge

Die bei den entgleisten Schotterwagen an den Unterseiten der U-Profile des Wagenkastens festgestellten Dellen und Schleifspuren (Abbildung 8) sind durch Kollisionen des Querträgers mit den sich darunter befindenden Federlaschen entstanden (Abbildung 9). Die Untersuchung ergab, dass die in den Güterwagen der ersten und zweiten Serie verbauten Querträger-U-Profile zwei unterschiedliche Tiefen aufwiesen. Fahrzeuge, bei denen U-Profile mit einer Tiefe von 75 mm verbaut waren, wiesen keine Dellen und Schleifspuren auf. Das lässt den Schluss zu, dass bei diesen Güterwagen der Freiraum zwischen den Federlaschen und dem Querträger ausreichend war und keine Kollisionen der beiden Bauteile stattfanden. Die bei den entgleisten Güterwagen vorhandene, geringere Tiefe der U-Profile von 63 mm führte in Verbindung mit der ungleichmässigen, linkslastigen Beladung, der im Bereich der Weiche 6 vorhandenen Überhöhung und der tiefen Geschwindigkeit des Zuges dazu, dass auf der linken Fahrzeugseite der Freiraum zwischen den Querträgern und den Federlaschen nicht mehr ausreichend war. Beim Einfedern kollidierten die Federlaschen mit dem Querträger. Dies begrenzte einerseits den möglichen Federweg und behinderte andererseits die Drehfähigkeit des Drehgestells bei der Kurvenfahrt. Das daraus resultierende Fahrverhalten führte auf der rechten Fahrzeugseite zu einer derart starken Radentlastung, dass das kurvenäussere, rechte Rad der vordersten Achse des ersten im Zug eingereichten Fac-Wagens die Spurführung verlor, den Schienenkopf überkletterte und entgleiste.

Die in den Dellen teilweise vorhandene Korrosion lässt darauf schliessen, dass einige Spuren bereits längere Zeit vorhanden, andere jedoch neueren Datums sein mussten. Auf den Detailplänen aus der Zeit der Fahrzeugbeschaffung waren in verschiedenen Skizzen der U-Profile beide Werte – also 63 mm und 75 mm – aufgeführt. Dies und der Umstand, dass seit der Inbetriebnahme der Güterwagen in diesem Bereich keine Anpassungen vorgenommen wurden, weisen darauf hin, dass die festgestellten konstruktiven Unterschiede seit der Beschaffung der Wagen vorhanden waren. Das bei der Untersuchung gefundene Schreiben des Zug-

förderungs- und Werkstättendienstes der RhB aus der Zeit der Inbetriebnahme, wonach die Aufschlagspuren bei einem der Güterwagen sowie die unterschiedlichen Profiltiefen in den Zeichnungen festgestellt worden waren, stützt diese Erkenntnis.

2.2 Organisatorische Aspekte

Als die RhB im Sommer 2019 im Rahmen regulärer Instandhaltungsarbeiten die Dellen und Schleifspuren in den U-Profilen mehrerer Fac-Wagen festgestellt hatte, plante sie, an den betroffenen Güterwagen konstruktive Anpassungen vorzunehmen mit dem Ziel, die Kollision von Bauteilen zu verhindern und somit die Laufeigenschaften der betroffenen Wagen zu verbessern. Die Umbauarbeiten standen kurz bevor resp. sie waren beim Fac Nr. 8706 bereits umgesetzt.

2.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

Der Lokführer in Ausbildung fuhr mit dem Güterzug aufgrund des signalisierten Fahrbegriffes und des «Halt» zeigenden Ausfahrtsignals mit niedriger Geschwindigkeit auf die in einer Linkskurve liegende Weiche 6. Aufgrund der tiefen Geschwindigkeit wurde die auf die kurvenäussere Schiene wirkende Zentrifugalkraft reduziert. Die ungleichmässige, linkslastige Beladung und der durch die Kollision der Federlasche mit dem U-Profil des Querträgers begrenzte Federweg sowie die ebenfalls dadurch eingeschränkte Drehfähigkeit des Drehgestells führten gleichzeitig zu einer erhöhten, zur Kurven-Innenseite hin wirkenden Gewichtskraft. Dies hatte – begünstigt von der vorhandenen Überhöhung – zur Folge, dass das kurvenäussere, rechte vordere Rad des vorderen Drehgestells des Güterwagens Fac 8707 derart stark entlastet wurde, dass dieses den Schienenkopf überkletterte und zur Entgleisung der vordersten Achse führte. Das entgleiste linke Rad prallte nach einigen Metern gegen den Radlenker der Weiche 6, wodurch die Umkippbewegung des Güterwagens zur linken Seite hin initiiert wurde. Der dahinter eingereihte, ebenfalls linkslastig beladene Schotterwagen wurde mitgerissen und kippte ebenfalls zur linken Seite hin. Der davor eingereihte Flachwagen wurde aus dem Gleis gehoben.

In ihren Verladevorschriften gibt die RhB vor, dass Schüttgut gleichmässig über die Ladefläche zu verteilen ist. Bei den drei im Zug eingereihten, mit Schotter beladenen Güterwagen war dies nicht der Fall. Aufgrund der Auslegung der Verladeeinrichtung und der Fahrleitungsanlage in Preda waren die Voraussetzungen für ein gleichmässiges, vorschriftenkonformes Befüllen der Güterwagen nicht gegeben.

2.4 Menschliche Aspekte

Die ungleichmässige Verteilung des Schüttgutes war vom Boden aus nicht erkennbar. Sie fiel daher weder dem Verladepersonal beim Verlad noch den Lokführern bei der Durchführung der Zuguntersuchung auf. Die Handlungen der Lokführer beim Führen des Zuges waren nicht ursächlich für die Entgleisung.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

Die Auslegung der Fahrleitung in der Verladeanlage Preda sowie in der Verladeeinrichtung eingeklemmte Schottersteine verhinderten die mittige Positionierung des Verladekopfes über den Schwerkraftentladewagen und somit die zentrierte, gleichmässige Beladung der Güterwagen. Der eingefüllte Schotter verteilte sich nur geringfügig selbstständig im Wageninneren. Dies führte zu erheblichen seitlichen Radlastunterschieden.

Das Aufsetzen des Querträgers auf den Federlaschen infolge des zu geringen Freiraums in den U-Profilen begrenzte den möglichen Federweg und schränkte die Drehfähigkeit des Drehgestells derart ein, dass dessen Räder die Spurführung verloren und entgleisten.

3.1.2 Organisatorische Aspekte

Als die RhB die Dellen resp. Schleifspuren an den Unterseiten der U-Profile an den Querträgern bei Instandhaltungsarbeiten erkannt hatte, beurteilte sie die möglichen, daraus entstehenden Risiken nicht als derart hoch, als dass Sofortmassnahmen notwendig gewesen wären. Mit dem Umbau der Güterwagen hatte die RhB jedoch Massnahmen zur Verbesserung der Lauffähigkeit der Wagen geplant. Ein Güterwagen des Typs Fac war bereits umgebaut.

3.1.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

Die einseitige Beladung der Güterwagen entsprach nicht den Verladevorschriften.

Die einseitige Beladung war vom Boden aus nicht erkennbar und daher im Rahmen der Zuguntersuchung nicht bemerkt worden.

3.1.4 Menschliche Aspekte

Es gab keine Anhaltspunkte, dass menschliche Aspekte zur Entgleisung beigetragen haben.

3.2 Ursachen

Die Entgleisung von drei mittig im Zug eingereihten Wagen eines Güterzuges am 4. November 2019 in Bonaduz (GR) ist auf das Zusammenwirken mehrerer Faktoren zurückzuführen: Die einseitige, in Fahrtrichtung linkslastige Beladung der mit Schotter beladenen Güterwagen hatte eine Entlastung der rechten, kurvenäusseren Räder zur Folge. Gleichzeitig begrenzte das Anschlagen der Federlaschen gegen das U-Profil am Querträger des Wagenkastens den Federweg und die Drehfähigkeit des Drehgestells. Begünstigt von der in der Linkskurve vorhandenen Überhöhung und von der niedrigen Fahrgeschwindigkeit verlor die vorderste Achse des ersten der drei Schotterwagen die Spurführung.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit der Entgleisung getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Keine.

4.2 Sicherheitshinweise

Keine.

4.3 Seit der Entgleisung getroffene Massnahmen

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Die RhB hat seit der Entgleisung folgende Massnahmen getroffen:

- Als Sofortmassnahme nach der Entgleisung hatte die RhB den Einsatz der Fac der ersten und zweiten Serie für den Transport von Schotter ab der Verladestation Preda ausgesetzt. Nach ersten internen Untersuchungen wurden die Wagen wieder eingesetzt, jedoch die Verlademenge in der Verladeanlage Preda für die betroffenen Güterwagen auf max. 24 Tonnen reduziert.
- Die von der RhB bereits vor der Entgleisung geplanten technischen Massnahmen an den Güterwagen zur Verbesserung der Lauffähigkeit wurden an den weiterhin im Einsatz verbleibenden Fahrzeugen umgesetzt. Die entgleisten, beschädigten Güterwagen wurden ausser Betrieb genommen und abgebrochen. Die RhB plant mittelfristig den Ersatz der ersten beiden Fahrzeugserien Fac durch neue Güterwagen.

Dieser Schlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) genehmigt (Art. 10 Bst. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 2. Mai 2023

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle