



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

Bereich Bahnen und Schiffe

Schlussbericht

der Schweizerischen

Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über die Entgleisung eines
Reisezuges

vom 5. Juni 2016

in Horw (LU)

Reg.-Nr.: 2016060502

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht wurde ausschliesslich zum Zweck der Verhütung von Unfällen und schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen erstellt. Gemäss Artikel 15 des Eisenbahngesetzes (EBG, SR 742.101) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung.

Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, Schuld- und Haftungsfragen zu klären.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Überblick.....	5
Untersuchung	5
Kurzdarstellung.....	6
Ursachen	6
Sicherheitsempfehlungen	6
1 Sachverhalt.....	7
1.1 Ort des Ereignisses	7
1.1.1 Vorgeschichte Reisezug	8
1.2 Ablauf des Ereignisses	8
1.3 Schäden.....	9
1.3.1 Personen	9
1.3.2 Infrastruktur.....	9
1.3.3 Fahrzeuge.....	9
1.3.4 Dritte	9
1.4 Beteiligte und betroffene Personen	9
1.4.1 Lokführer.....	9
1.4.2 Zugbegleiterin Unfallzug	9
1.4.3 Zugbegleiterin vorheriger Zug.....	9
1.4.4 Sechs Kadermitarbeiter Instandhaltung.....	9
1.5 Beteiligte und betroffene Unternehmen	10
1.5.1 Infrastruktur.....	10
1.5.2 Transportunternehmung	10
1.5.3 Fahrzeugeigentümer.....	10
1.5.4 Dritte	10
1.6 Infrastruktur.....	10
1.6.1 Bahnanlage.....	10
1.7 Fahrzeuge.....	11
1.7.1 Übersicht.....	11
1.7.2 Reisezug.....	12
1.7.3 Strassenfahrzeug.....	12
1.8 Kommunikation	12
1.9 Datenaufzeichnung.....	13
1.9.1 Fahrdatenschreiber	13
1.9.2 Aufzeichnungsfahrt der Krampmaschine	13
1.10 Besondere Untersuchungen	13
1.10.1 Fahrgeschwindigkeit.....	13
1.10.2 Vermessung der Unfallstelle	13

1.10.3	Spuren auf der Strecke Horw – Engelberg	14
1.10.4	Untersuchung der Fahrzeuge	16
1.10.5	Untersuchung der vorhandenen Schrauben	17
1.10.6	Instandhaltung und Unterhalt des Reisezugwagens Panorama As 103.....	18
1.10.7	Betriebshandbuch	19
1.11	Schraubensicherung	19
1.11.1	Allgemein	19
1.11.2	Schraubensicherung mittels Sicherungsblech	19
1.11.3	Schraubensicherung mittels Keilsicherungsscheibe	19
2	Analyse	20
2.1	Technische Aspekte	20
2.1.1	Spuren auf der Strecke	20
2.1.2	Untersuchung Fahrzeug	20
2.1.3	Schraubensicherung	21
2.1.4	Gleislage	21
2.2	Betriebliche Aspekte	21
2.2.1	Fahrgeschwindigkeit	21
2.2.2	Ablauf Entgleisung	21
2.2.3	Vorgaben Fahrzeuginstandhaltung	21
2.2.4	Instandhaltung und Unterhalt	21
3	Schlussfolgerungen	22
3.1	Befunde	22
3.1.1	Technische Aspekte	22
3.1.2	Organisatorische Aspekte	22
3.1.3	Menschliche Aspekte	22
3.2	Ursachen	22
4	Sicherheitsempfehlungen und -hinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen	23
4.1	Sicherheitsempfehlungen	23
4.2	Sicherheitshinweis	23
4.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen	23

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel	Eisenbahn	
Beteiligte Unternehmen		
Transportunternehmen	zb Zentralbahn AG (zb), Stansstad	
Infrastrukturunternehmen	zb Zentralbahn AG, Stansstad	
Dritte	India Zelt & Event AG, Horw	
Beteiligte Fahrzeuge		
	Lokomotive HGe 4/4 II 85 101 961-1	zb
	Reisezugwagen Panorama As 50 85 8905 103-8	zb
	Reisezugwagen B 50 85 2805 552-0	zb
	Reisezugwagen B 50 85 2805 557-9	zb
	Reisezugwagen BD 50 85 8205 351-0	zb
	Zwischenwagen B2 GSW 50 85 8035 941-4	zb
	Zwischenwagen B1 GSW 50 85 8025 941-6	zb
	Steuerwagen GSW Abt 50 85 8015 941-0	zb
	Strassenfahrzeug Mitsubishi Fuso	India Zelt & Event AG
	Strassenfahrzeug Iveco Daily	India Zelt & Event AG
Ort	Horw (LU)	
Datum und Zeit	5. Juni 2016, 18:14 Uhr	

Untersuchung

Am 5. Juni 2016 um 18:47 Uhr ist die Meldung über die Entgleisung eines Reisezuges in Horw beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) eingegangen und die Untersuchung wurde aufgenommen.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Vermessung der Unfallstelle;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen;
- Datenaufzeichnungen;
- Gleisplan Horw;
- Handbuch Instandhaltung Drehgestell;
- Unterlagen Fahrzeuginstandhaltung;
- Fahrzeugumlaufplan;
- Unterlagen zur Zugführung;
- Vermessung befahrenes Gleis in Horw;
- Spuren entlang der Strecke zwischen Horw und Engelberg;
- Untersuchung der beteiligten Fahrzeuge;
- Hoheitliche und interne Regelungen für den Eisenbahnbetrieb.

Kurzdarstellung

Am 5. Juni 2016 entgleisten um 18:14 Uhr bei der Durchfahrt in Horw die vorderen zwei Reisezugwagen eines Reisezuges der zb Zentralbahn AG. Es gab erheblichen Sachschaden an Fahrzeugen und Infrastruktur. Es wurden keine Personen verletzt.

Ursachen

Die Entgleisung eines Reisezuges am 5. Juni 2016 in Horw ist darauf zurückzuführen, dass sich das Bremszahnrad im hinteren Laufdrehgestell des ersten Reisezugwagens Panorama As 103 soweit absenkte, bis es bei einer Gleisdurchschneidung anstiess und das Laufdrehgestell aus den Schienen hebelte. Das Bremszahnrad senkte sich, weil die Befestigungsschrauben der Halterung nicht angezogen waren und sich in der Folge durch die auftretenden Vibrationen während der Fahrten nach und nach gelockert und vollständig herausgedreht hatten.

Zum Unfall hat beigetragen:

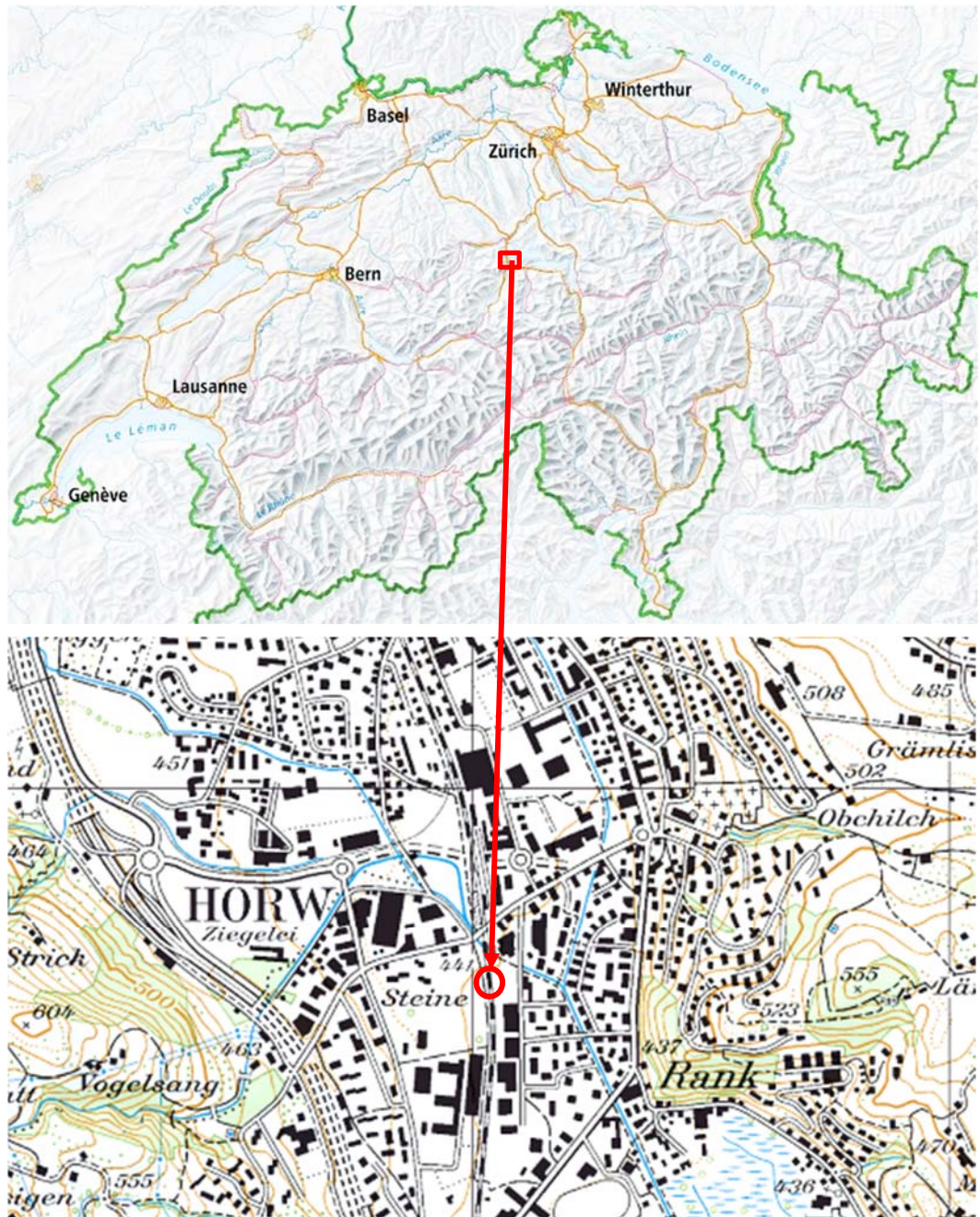
Bei der Instandhaltung des Reisezugwagens Panorama As 103 wurde ein individueller Montagefehler nicht erkannt.

Sicherheitsempfehlungen

Mit diesem Bericht werden keine Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Ereignisses



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zum Ort des Unfalls. Basiskarten reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopografie Swisstopo (JA150149).

1.1.1 Vorgeschichte Reisezug

Am 5. Juni 2016 verkehrte seit 06:10 Uhr zwischen Luzern und Engelberg eine achteilige Pendelzugskomposition als Reisezug jeweils hin und her. Die Strecke verfügt zwischen Grafenort und Engelberg über einen Abschnitt mit Zahnstange mittig im Gleis.

Die Zugbegleiterin des Zuges vor dem Unfallzug stellte während der Fahrt von Engelberg nach Luzern keine besonderen Geräusche oder Bewegungen fest. Die Zugbegleiterin des Unfallzuges bemerkte in Horw etwa ab Ende Perron eine Bodenwelle, die sonst nicht so deutlich spürbar war. Beide Zugbegleiterinnen erhielten von den Reisenden keine Bemerkungen oder Hinweise zu besonderen Auffälligkeiten betreffend dem Lauf der Fahrzeuge.

1.2 Ablauf des Ereignisses

Nach sechs Umläufen zwischen Luzern und Engelberg fuhr der Zug erneut ab Luzern nach Engelberg. Der Lokführer hatte während seiner Fahrt keine unüblichen Geräusche oder Zerrungen im Zug wahrgenommen. Im Bereich Ende Perron in Horw hatte er eine geringe Zugkraft eingestellt, da hier ein leichtes Gefälle ist und danach eine leichte Steigung folgt. Er verspürte die Schwingungen der Lokomotive nicht stärker als sonst. In Horw seien üblicherweise mehr Unebenheiten als anderenorts. Auch konnte er keine Beschädigungen im oder am Gleis feststellen.

Der Lokführer bemerkte kurz nach dem Perronende des Gleises 2 im Bahnhof Horw eine Absenkung des Drucks in der Hauptluftleitung und leitete eine Schnellbremsung ein. Nach dem Stillstand stellte er die Entgleisung der ersten zwei Reisezugwagen fest.



Abbildung 3: Situation nach dem Stillstand des Zuges. Die ersten beiden Wagen sind mit den gegenüberliegenden Laufdrehgestellen entgleist (Pfeile).

1.3 Schäden

1.3.1 Personen

Es gab keine Verletzten.

1.3.2 Infrastruktur

Eine Gleisdurchschneidung und die Betonschwellen ab der Entgleisungsstelle wurden auf einer Länge von rund 150 m beschädigt. Ein Zwergsignal wurde von herumfliegenden Schottersteinen beschädigt und es wurde eine Balise¹ zertrümmert. Ein Weichenverschlussdeckel wurde verbogen.

1.3.3 Fahrzeuge

Die ersten beiden Reisezugwagen erlitten Beschädigungen an den Laufdrehgestellen. Beim dritten Wagen wurde der unter dem Wagenboden angebrachte Fäkalientank der WC-Anlage aufgerissen. Zudem waren bei den ersten vier Wagen Schäden an Zug- und Stossvorrichtung vorhanden.

1.3.4 Dritte

Durch die Entgleisung wurde eine grössere Menge Schotter auf das nebenstehende Areal geschleudert. Zwei dort stehende Motorfahrzeuge wurden dadurch leicht beschädigt.

1.4 Beteiligte und betroffene Personen

1.4.1 Lokführer

Person	Jahrgang 1975 Anstellung bei der zb Zentralbahn AG Arbeitsort Meiringen
--------	---

1.4.2 Zugbegleiterin Unfallzug

Person	Jahrgang 1992 Anstellung bei der zb Zentralbahn AG Arbeitsort Meiringen
--------	---

1.4.3 Zugbegleiterin vorheriger Zug

Person	Jahrgang 1980 Anstellung bei der zb Zentralbahn AG Arbeitsort Meiringen
--------	---

1.4.4 Sechs Kadermitarbeiter Instandhaltung

Alle sechs Personen	Jahrgang 1961 bis Jahrgang 1985 Anstellung bei der zb Zentralbahn AG Arbeitsorte Stansstad und Meiringen
---------------------	--

¹ Ein elektromagnetischer Transponder der Zugbeeinflussung, der, zwischen den Schienen eines Gleises montiert, beim Überfahren eine Nachricht an das Fahrzeug sendet.

1.5 Beteiligte und betroffene Unternehmen

1.5.1 Infrastruktur

zb Zentralbahn AG, Stansstad

1.5.2 Transportunternehmung

zb Zentralbahn AG, Stansstad

1.5.3 Fahrzeugeigentümer

zb Zentralbahn AG, Stansstad

1.5.4 Dritte

India Zelt & Event AG, Horw (beschädigte Motorfahrzeuge)

1.6 Infrastruktur

1.6.1 Bahnanlage

1.6.1.1 Beschreibung

Von Luzern her führt eine zweigleisige, meterspurige Strecke in den Bahnhof Horw und weiter Richtung Horw Süd. In Horw ist zwischen den Gleisen 2 und 3 ein Mittelperron vorhanden. Vor dem Perron zweigt vom rechten Gleis, welches als Dreischienengleis ausgebildet ist, eine Weichenverbindung mit dem Normalspurgleis ab. Dieses wird als Gleis 4 zur in Fahrtrichtung des Reisezuges rechten Bahnhofseite geführt. Nach dem Perron durchschneidet dieses normalspurige Gleis nach links die meterspurigen Stationsgleise 2 und 3 und wird als normalspuriges Anschlussgleis 81 weitergeführt (Abbildung 4). Zudem ist ein Gleis 1 vorhanden, mit beidseits je einem Stumpengleis. Nach den Weichen auf der Seite von Hergiswil folgt eine langgezogene Rechtskurve, die dann in eine Gerade ausläuft. Danach geht die zweigleisige Strecke über in eine eingeleisige Strecke Richtung Hergiswil.

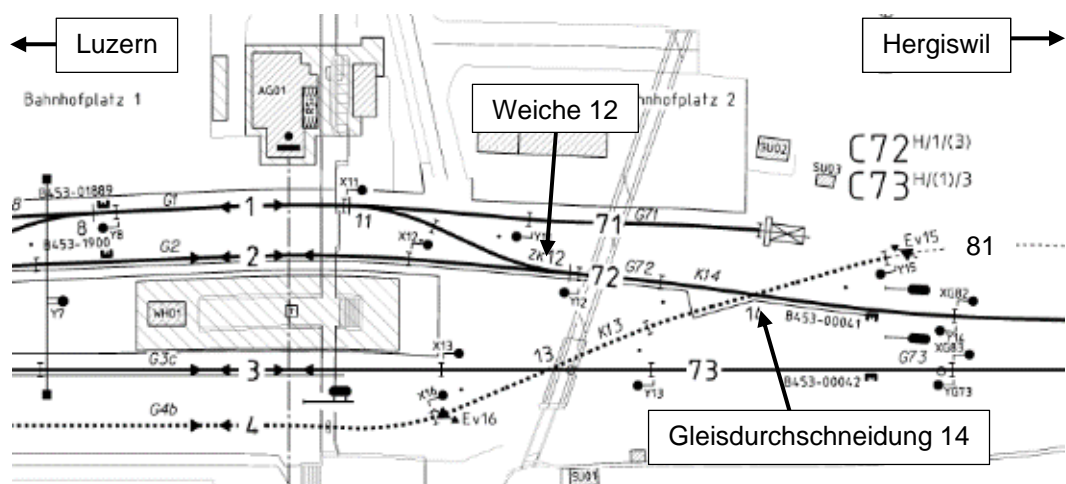


Abbildung 4: Planausschnitt Bahnhof Horw.

1.6.1.2 Feststellungen

Auf der Unfallstelle wurde Folgendes festgestellt:

Im Gleis 2 waren nach dem Perron bis zur Weiche 12 leichte Senkungen und Verwerfungen sichtbar. Am nächsten Werktag war der Einsatz einer Krampmaschine² vorgesehen. Es waren keine Langsamfahrtsignale aufgestellt.

Bei der Weiche 12 war der Weichenverschlussdeckel aufgeklappt und verbogen. Auf dem Weichenverschlussdeckel war mittig eine Schleifspur festzustellen.

Bei der Gleisdurchschneidung 14 war der in Fahrtrichtung rechte Spurhalter zur Hälfte weggebrochen und lag verbogen rund 40 m weiter in Fahrtrichtung rechts vom Gleis.

An der Gleisdurchschneidung 14 waren an verschiedenen Stellen in den Schwellen Einkerbungen durch die Radkränze, an den Schienen Reib-, Anschlag-, Aufstieg- und Überfahrspuren sowie beschädigte oder abgerissene Gleisbefestigungen und Weichenteile festzustellen.

Ab der Gleisdurchschneidung 14 war der Inhalt des aufgerissenen Fäkalientanks der WC-Anlage über etliche Meter in Fahrtrichtung im Gleis ausgestreut.

1.7 Fahrzeuge

1.7.1 Übersicht

Fahrzeug	Nummer	Bemerkung
Lokomotive HGe 4/4 II	85 101 961-1	Zugspitze, die Lokomotive zog den Zug
Reisezugwagen Panorama As	50 85 8905 103-8	Mit in Fahrtrichtung hinterem Laufdrehgestell entgleist
Reisezugwagen B	50 85 2805 552-0	Mit in Fahrtrichtung vorderem Laufdrehgestell entgleist
Reisezugwagen B	50 85 2805 557-9	WC-Anlage aufgerissen
Reisezugwagen BD	50 85 8205 351-0	Eine Achse des hinteren Laufdrehgestells stand mit dem Spurkranz auf dem Schienenkopf
Zwischenwagen B2 GSW	50 85 8035 941-4	
Zwischenwagen B1 GSW	50 85 8025 941-6	
Steuerwagen GSW Abt	50 85 8015 941-0	Zugschluss

² Mit einer Krampmaschine wird der Schotter unter dem Gleis soweit bearbeitet, dass das Gleis in einer für sichere Fahrten und den Fahrkomfort geeigneten Lage gerichtet ist.

1.7.2 Reisezug

1.7.2.1 Beschreibung

Die Lokomotive, die vier Reisezugwagen und der aus drei fest verbundenen Fahrzeugen bestehende Gelenksteuerwagen (GSW) waren zu einem achteiligen Pendelzug zusammengestellt. Der Zug hatte eine Masse von 215 t, eine Länge von 136 m, verkehrte mit einer Zug- und Bremsreihe von R 90 und hatte als Komposition eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h.

Die Wagen verfügen für den Einsatz auf Zahnradstrecken jeweils über ein Bremszahnrad (Beschreibung in Ziffer 1.10.4.1).

1.7.2.2 Sicherungssysteme Fahrzeuge

Die Lokomotive ist mit einer elektronischen Sicherheitssteuerung und mit dem automatischen Zugbeeinflussungssystem ZSI 127 von Siemens ausgerüstet.

1.7.2.3 Feststellungen

Auf der Unfallstelle wurde Folgendes festgestellt:

Die Fahrzeuge blieben alle unter sich gekuppelt.

Die Bremsen aller Fahrzeuge waren eingeschaltet. Der Stellungsanzeiger zur Federspeicherbremse war beim ersten Wagen Panorama As 103 in einer Zwischenstellung.

Verschiedene Teile wurden von den Fahrzeugen abgerissen und lagen verstreut zwischen der Gleisdurchschneidung und dem stehenden Zug. Insbesondere waren dies abgerissene Luftschläuche und mehrere Federspeicher.

Das entgleiste Laufdrehgestell von Wagen Panorama As 103 war im Schotter eingegraben.

Am dritten Wagen B 557 war der unter dem Fahrzeugboden angebrachte Fäkali-entank zur WC-Anlage aufgerissen.

1.7.3 Strassenfahrzeug

Auf der Unfallstelle wurde Folgendes festgestellt:

Von herumfliegenden Schottersteinen wurden ein Mitsubishi Fuso und ein Iveco Daily getroffen. Die Fahrzeuge waren auf dem Gelände der Firma India Zelt & Event AG abgestellt.

1.8 Kommunikation

Zum Unfallzeitpunkt fanden zwischen den Beteiligten keine Gespräche über Kommunikationsmittel statt.

1.9 Datenaufzeichnung

1.9.1 Fahrdatenschreiber

Die an der Zugspitze verkehrende Lokomotive ist mit einer elektronischen Geschwindigkeitsmessanlage Seratec Tras 1000 ausgerüstet. Die Fahrdaten werden elektronisch aufgezeichnet.

Um 18:10 Uhr nahm die Geschwindigkeit von 0 km/h bis auf 40 km/h zu, nahm danach um 18:11 Uhr bis auf 33 km/h ab, um gleich darauf wieder bis auf 82 km/h anzusteigen. Diese Geschwindigkeit war um 18:12 Uhr erreicht. Die Geschwindigkeit nahm danach innerhalb der folgenden zwei Minuten noch leicht zu und erreichte um 18:14 Uhr 84 km/h. In den folgenden 19 Sekunden sank die Geschwindigkeit über einen Weg von 217 m auf 0 km/h.

1.9.2 Aufzeichnungsfahrt der Krampmaschine

Am 7. Juni 2016 wurde mit einer Krampmaschine in Horw das Gleis 2 über eine Länge von rund 300 m und auch im Bereich ab Perron bis zur Gleisdurchschneidung 14 vermessen.

Die Messungen von Richtung, Überhöhung, Verwindung und Längshöhe des Gleises überstiegen die Grenzwerte nur gering in wenigen, vereinzelt Spitzen.

1.10 Besondere Untersuchungen

1.10.1 Fahrgeschwindigkeit

Die möglichen Höchstgeschwindigkeiten werden dem Lokführer u.a. in einer Streckentabelle vorgegeben. Für die Durchfahrt eines Zuges in Horw über Gleis 2 mit einer Zug- und Bremsreihe von R 90 ist im Bereich des Unfallorts eine Höchstgeschwindigkeit von 90 km/h festgelegt.

1.10.2 Vermessung der Unfallstelle

Nach dem Ende des Perrons in Horw Gleis 2, Fahrtrichtung Hergiswil, beginnt in rund 82 m Entfernung die Gleisdurchschneidung 14. Rund 262 m danach kam die Zugspitze des entgleisten Zuges zum Stillstand.

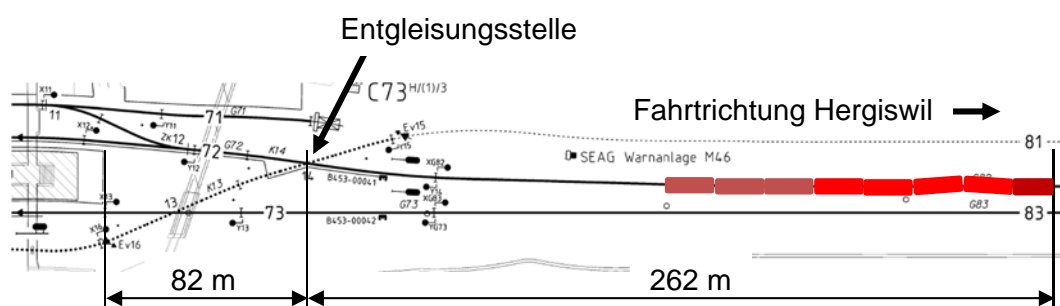


Abbildung 5: Situation an der Unfallstelle.

1.10.3 Spuren auf der Strecke Horw – Engelberg

Am Folgetag des Unfalls ging bei der zb Zentralbahn AG eine Zeugenmeldung ein, wonach am Abend des Unfalltags bei der Überfahrt eines Zuges Richtung Luzern über einen Bahnübergang bei Stans ein Funkenwurf unter dem Zug beobachtet wurde. Der Zeitpunkt dieser Beobachtung konnte mit dem Zeitpunkt der Zugfahrt von Engelberg nach Luzern (Zug vor dem Unfallzug) übereinstimmen.

Daraufhin wurden am 6. Juni 2016 mehrere Bahnübergänge zwischen Horw und Engelberg sowie die Ein- und Ausfahrten bei der Zahnstangenstrecke zwischen Grafenort und Engelberg besichtigt.

Bei den Ein- und Ausfahrten der Zahnstangenstrecke waren keine Auffälligkeiten festzustellen. Ein Mitarbeiter der zb Zentralbahn AG hat bei der anschliessenden Begehung der gesamten Zahnstangenstrecke eine Schraube gefunden (Ziffer 1.10.5).

Am Bahnübergang vor Grafenort konnten in der Mitte des Gleises Anschlagspuren an der Kante zur Strassendecke festgestellt werden. Im weiteren Streckenverlauf Richtung Luzern waren immer stärkere Beschädigungen bei den Bahnübergängen im Bereich Mitte des Gleises festzustellen. Es folgten auch zunehmend und deutlicher werdende Schleifspuren über die Länge der Bahnübergänge.



Abbildung 6: Anschlagspuren am Bahnübergang bei Grafenort (Pfeil).



Abbildung 7: Anschlag- und Schleifspuren am Bahnübergang bei Stans (Pfeile).

1.10.4 Untersuchung der Fahrzeuge

Am 7. Juni 2016 wurden die Fahrzeuge in Stansstad in der Werkstätte der Zentralbahn besichtigt. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf den ersten Reisezugwagen Panorama As 103 des Reisezuges.

1.10.4.1 Bremszahnrad im Laufdrehgestell Reisezugwagen Panorama As 103

Eines der beiden zweiachsigen Laufdrehgestelle vom Typ SIG-90 des Reisezugwagens Panorama As 103 verfügt über ein Bremszahnrad. Das Bremszahnrad unterstützt in bestimmten Betriebssituationen auf Zahnradstrecken die Bremsung des Wagens.

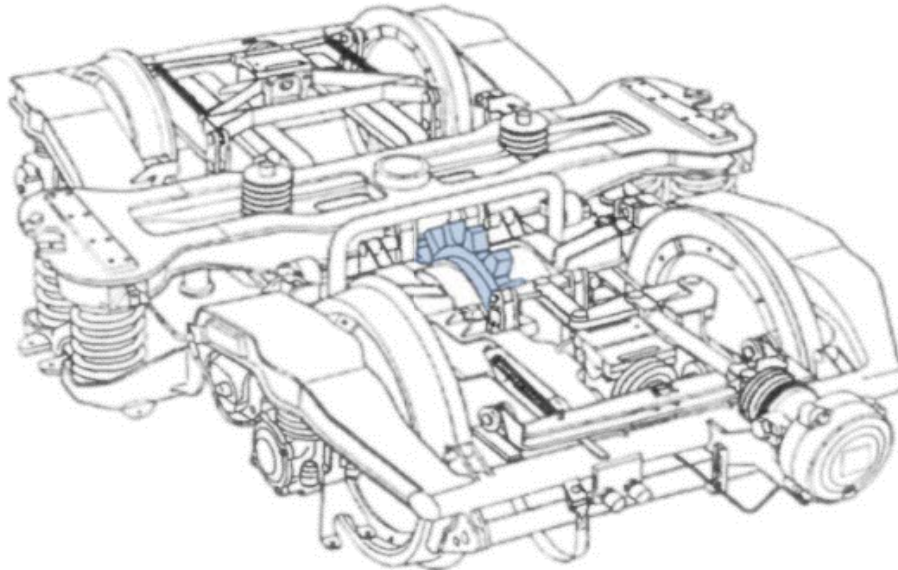


Abbildung 8: Laufdrehgestell SIG-90 mit Bremszahnrad (blau) des Reisezugwagens Panorama As 103, Sicht von oben.

Das Bremszahnrad wird von unten in das Laufdrehgestell eingesetzt und beidseits mit je einer Lagerhalbschale und jeweils zwei Schrauben befestigt.

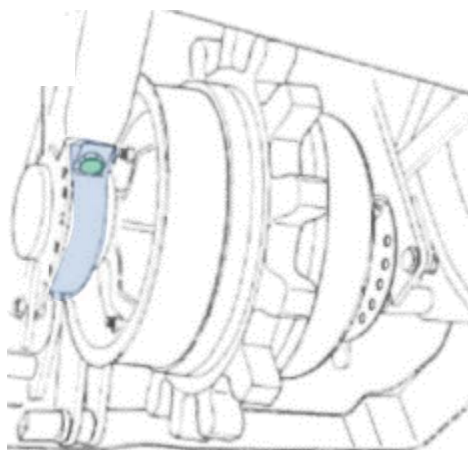


Abbildung 9: Bremszahnrad zum Laufdrehgestell SIG-90, Sicht von unten. Eine der beiden Lagerhalbschalen zum Bremszahnrad (blau) und eine der je Lagerschale zwei Befestigungsschrauben (grün). Die zweite Lagerhalbschale befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite des Zahnrads (im Bild nicht sichtbar).

1.10.4.2 Feststellungen zum Bremszahnrad im Laufdrehgestell des Reisezugwagens Panorama As 103

Beim entgleisten Laufdrehgestell des ersten Reisezugwagens Panorama As 103 wurde festgestellt, dass das Bremszahnrad lediglich auf der in Fahrtrichtung linken Seite in der lose herabhängenden unteren Lagerhalbschale hing. Die Lagerhalbschale wurde an einer etwas herausgedrehten und verbogenen Schraube gehalten. Die zweite Schraube für die Befestigung der Lagerhalbschale war nicht vorhanden und das zugehörige Innengewinde war ohne Beschädigung.

Die untere Lagerhalbschale auf der in Fahrtrichtung rechten Seite fehlte vollständig. Ebenso waren beide Schrauben dieser Lagerhalbschale nicht vorhanden. Sie waren auch nicht unter den an der Unfallstelle eingesammelten Teilen. Die zugehörigen Innengewinde waren ohne Beschädigungen.

Am Rahmen des Laufdrehgestells waren auf Höhe des Bremszahnrad gegen aussen deutliche bogenförmige Abdrücke zu erkennen.

Am Bremszahnrad war an einem Zahn ein massiver Einschlag bzw. Materialausbruch festzustellen.



Abbildung 10: Ausbruch an einem Zahn des Bremszahnrad des Reisezugwagens Panorama As 103.

1.10.5 Untersuchung der vorhandenen Schrauben

Die bei der Zahnstangenstrecke gefundene Schraube ist identisch mit der noch vorhandenen, verbogenen Schraube zur Befestigung der Lagerhalbschale. Als Schraubensicherung war eine Keilsicherungsscheibe Marke Nord Lock vorgesehen. Diese Keilsicherungsscheibe war bei der gefundenen wie auch bei der verbogenen Schraube noch vorhanden.

Die zusammen mit der Schraube gefundene Schraubensicherung Marke Nord Lock wies keine Spuren auf, die auf ein Festziehen deuteten. Ebenso war kein Gegenabdruck am Schraubenkopf festzustellen.

Das Gewinde der gefundenen Schraube wies keine Beschädigungen auf.



Abbildung 11: Die zwei Scheiben der Schraubensicherung Marke Nord Lock der gefundenen Schraube mit noch nicht abgenutzter Verzahnung.

1.10.6 Instandhaltung und Unterhalt des Reisezugwagens Panorama As 103

Die Inbetriebnahme des Reisezugwagens Panorama As 103 erfolgte 1995. Die Laufleistung im Jahr 2015 betrug rund 140 000 km. Ende 2015 lag die Gesamtlauflistung bei 2 779 733 km.

Die Laufleistung der Fahrzeuge wird im regelmässigen Unterhalt und anhand der Fahrzeugumlaufplanung festgestellt sowie prognostiziert. Dies ermöglicht die Planung der anstehenden, gegenüber dem Unterhalt umfangreicheren Instandhaltungsarbeiten.

Die Laufdrehgestelle wurden vom 22. Januar 2016 bis 30. März 2016 in der Werkstätte Meiringen revidiert. Dabei wurde das Bremszahnrad gewaschen, mit neuen Lagern bestückt, wieder eingebaut und die Arbeiten mit einer Endkontrolle abgeschlossen.

Am 23. Mai 2016 wurden die Laufdrehgestelle unter den Reisezugwagen Panorama As 103 montiert. Danach wurde die Höhe des Bremszahnrad eingestellt. Eine Einstellung des Bremszahnrad kann nur erfolgen, wenn dessen vier Befestigungsschrauben noch nicht angezogen sind. Mit einer Endkontrolle am 26. Mai 2016 waren die Arbeiten abgeschlossen.

Für die Instandhaltung bestehen Vorgabedokumente und Nachweis-Checklisten. Der Bereich Instandhaltung der Zb Zentralbahn AG führte kürzlich einheitliche Drehmoment-Tabellen sowie Farbmarkierungen entsprechend angezogener Schrauben ein. Die Umsetzung erfolgt noch nicht durchgängig. Für die Befestigung des Bremszahnrad war noch keine Farbmarkierung vorgesehen.

Am 27. Mai 2016 wurde der Reisezugwagen Panorama As 103 nach Stansstad überführt und im Verkehr zwischen Luzern und Engelberg eingesetzt.

Der rund alle zwei Wochen stattfindende Unterhalt war für den 7. Juni 2016 vorgesehen.

1.10.7 **Betriebshandbuch**

Das Betriebshandbuch des Drehgestell-Herstellers³ behandelt unter anderem die Montage des Bremszahnrad. Demnach sollen die Schrauben der Lagerschalen zum Bremszahnrad mit einem Drehmoment von 340 Nm angezogen und die zugehörigen Sicherungsbleche umgebogen werden.

Es konnten keine Unterlagen, Protokolle, Lagerlisten oder dergleichen gefunden werden, welche Aufschluss über den Zeitpunkt und die Überlegungen für die Umstellung von einer Schraubensicherung mittels Sicherungsblech zu einer Sicherung mittels Keilsicherungsscheiben geben konnten.

1.11 **Schraubensicherung**

1.11.1 **Allgemein**

Schrauben dürfen beim Anziehen und unter Betriebslast maximal bis zur Dehngrenze beansprucht werden. Unter Berücksichtigung zahlreicher Einflüsse wird das Anzugsdrehmoment einer Schraube festgelegt. Das Verhalten der verwendeten Schraubensicherung beim Anziehen und unter Betriebslast nimmt dabei ebenfalls Einfluss auf die Qualität der Schraubverbindung.

1.11.2 **Schraubensicherung mittels Sicherungsblech**

Das Sicherungsblech als Schraubensicherung entsprach bei der ersten Inbetriebsetzung des Laufdrehgestells im Jahr 1995 dem Stand der Technik. Ein Sicherungsblech wird zwischen dem Schraubenkopf und dem Werkstück eingefügt. Nach dem Anziehen der Schraube wird ein dafür vorgesehener Lappen umgebogen und an eine Seitenfläche des Schraubenkopfes angelegt. Das Material des Sicherungsblechs verformt sich beim Anziehen. Unter Betriebslast kann eine weitere Verformung stattfinden und zu einem Einfluss auf die Dehnspannung der Schraubverbindung führen.

Die Schraubensicherung mittels Sicherungsblech bietet gegenüber der Keilsicherungsscheibe den Vorteil, dass die Erkennbarkeit bei der visuellen Endkontrolle erhöht ist.

1.11.3 **Schraubensicherung mittels Keilsicherungsscheibe**

Die Keilsicherungsscheibe Marke Nord Lock besteht aus zwei Scheiben mit gegenseitiger Verzahnung. Beim Festziehen der Schraube prägen sich die aussenliegenden Radialrippen in die Gegenauflage ein und es kommt zu einem Formschluss. Auf den Gegenmaterialien sind dann deutliche Einprägungen zu erkennen. Die Schraubensicherung mittels Keilsicherungsscheiben entspricht dem heutigen Stand der Technik. Sie nimmt beim Anziehen und unter Betriebslast kaum Einfluss auf die Dehnspannung der Schraubverbindung.

Bei Keilsicherungsscheiben ist nur schwer visuell nachzukontrollieren, ob die Schrauben angezogen wurden. Auch bei von Hand ganz eingedrehten Schrauben liegen die Keilsicherungsscheiben dicht aufeinander. Das Erscheinungsbild ändert auch nach dem Festziehen nicht.

³ Damals Fiat-SIG Schienenfahrzeuge AG, heute Alstom Schienenfahrzeuge AG

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Spuren auf der Strecke

Die immer deutlicher werdenden Anschlagspuren bei den Bahnübergängen zwischen Grafenort und Stans zeigen, dass an einem Fahrzeug in der Mitte ein harter Gegenstand immer weiter absank. In dieser Position befindet sich an einem Laufdrehgestell bei den Wagen das Bremszahnrad.

Ein immer weiter absinkender Gegenstand deutet auf eine zunehmende Lockerung dessen Befestigung hin.

2.1.2 Untersuchung Fahrzeug

Die deutlichen Einkerbungen gegen aussen und unten am Drehgestellrahmen, deren Kontur mit der Lagerhalbschale übereinstimmen, deuten auf den Verlust der Lagerhalbschale während der Fahrt hin.

Die entlang der Zahnstangenstrecke gefundene Schraube konnte als eine der Befestigungsschrauben zum Bremszahnrad identifiziert werden. Die Schraube konnte nur dann unbeschädigt bleiben, wenn sie durch Losdrehen aus dem Gegengewinde entfernt wurde. Die mit dieser Schraube vorgenommene Verbindung wurde somit nicht gewaltsam getrennt.

Die Fundstelle entlang der Zahnstangenstrecke im Tunnel zwischen Engelberg und Grafenort deutet darauf hin, dass sich die Schraube durch Vibrationen selbst herausgedreht hatte und während der Fahrt verloren ging.

Bei einem Herausreissen oder einem Bruch einer Befestigungsschraube zur Lagerhalbschale als Folge der Entgleisung wäre das Innengewinde beschädigt oder ein Bruchstück im Gewinde zurückgeblieben. Die intakten Innengewinde zeugen davon, dass sich die Schrauben durch die auftretenden Vibrationen während der Fahrten nach und nach gelockert und vollständig herausgedreht hatten.

Auf diese Weise gingen drei der vier Befestigungsschrauben nach und nach verloren. Die Schrauben waren somit bereits vor der Entgleisung nicht mehr vorhanden.

Das Bremszahnrad hing an der von der letzten, auch bereits gelösten Schraube gehaltenen Lagerschale schräg nach unten. Diese letzte Schraube wurde leicht verbogen, was dazu führte, dass sie sich nicht mehr vollständig herausdrehen konnte. So ging das Bremszahnrad nicht vollständig verloren. Es kann aber auch sein, dass die letzte verbliebene Schraube durch die Folgen der Entgleisung verbogen wurde.

Aus diesen Gründen kann geschlossen werden, dass die vier Befestigungsschrauben für die beiden Lagerhalbschalen zum Bremszahnrad nicht festgezogen waren. Die Schrauben wurden lediglich von Hand soweit eingedreht, dass die noch lose Befestigung bei den Kontrollen vom 30. März 2016 und 26. Mai 2016 visuell nicht erkannt wurde.

2.1.3 Schraubensicherung

Optisch war bei den verwendeten Keilsicherungsscheiben nur schwer nachzukontrollieren, ob die Schrauben angezogen wurden. Auch bei von Hand ganz eingedrehten Schrauben lagen die Keilsicherungsscheiben dicht aufeinander. Das Erscheinungsbild hätte sich auch nach dem Festziehen nicht geändert.

Die Schraubensicherung durch eine Keilsicherungsscheibe Marke Nord Lock entspricht dem aktuellen Stand der Technik und bietet bei korrekter Montage die besseren Voraussetzungen für eine dauerfeste Schraubverbindung als die im Handbuch erwähnte Schraubensicherung mittels Sicherungsblech.

2.1.4 Gleislage

Die leichten Abweichungen der Gleisgeometrie zwischen dem Perronende und der Weiche 12 in Horw waren beim Überfahren durch die Fahrzeugbewegung spürbar, bedingten aber keine Anpassung der möglichen Höchstgeschwindigkeit.

Die Entgleisung ist nicht auf eine Überschreitung der Grenzwerte für die Führung zwischen Rad und Schiene durch eine ungünstige Gleislage zurückzuführen.

2.2 Betriebliche Aspekte

2.2.1 Fahrgeschwindigkeit

Der Zug fuhr an der Entgleisungsstelle mit einer Geschwindigkeit, die geringer als die zulässige Geschwindigkeit war. Die Entgleisung wäre auch bei einer noch geringeren Geschwindigkeit eingetreten.

2.2.2 Ablauf Entgleisung

Der grössere Materialausbruch an einem Zahn des Bremszahnrad deutet auf eine sehr starke Gewalteinwirkung hin.

Das Bremszahnrad hing letztlich soweit nach unten, dass es bei der Überfahrt der Gleisdurchschneidung 14 in Horw an der querführenden Schiene so heftig angeschlagen hatte, dass das Laufdrehgestell aus dem Gleis gehobelt wurde. Das in Fahrtrichtung hintere Laufdrehgestell des Wagens Panorama As 103 entgleiste in Fahrtrichtung nach links und zog in der Folge das vordere Laufdrehgestell des nachfolgenden Wagens ebenfalls aus dem Gleis.

2.2.3 Vorgaben Fahrzeuginstandhaltung

Für die Instandhaltungsarbeiten bestehen geeignete Vorgabe- und Nachweisdokumente. Das Anpassen der Montageprozesse mit Farbmarkierungen der mit einem vorgegebenen Drehmoment festgezogenen Schrauben weist auf eine gewissenhafte Entwicklung der Instandhaltungsprozesse hin.

2.2.4 Instandhaltung und Unterhalt

Die Instandhaltungsarbeiten, die zur Revision des Laufdrehgestells für den Reisezugwagen Panorama AS 103 geführt haben, waren geplant. Es waren in der Folge genügend Ressourcen für eine gewissenhafte Arbeit vorgesehen. Ebenso war der alle zwei Wochen stattfindende Unterhalt bereits vorgesehen und hätte zwei Tage nach dem Unfalltag erfolgen sollen. Bei diesen Arbeiten wäre der Mangel bezüglich Befestigung des Bremszahnrad des Reisezugwagens Panorama As 103 mit grösster Wahrscheinlichkeit festgestellt und behoben worden.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Die Befestigungsschrauben der Lagerhalbschalen zum Bremszahnrad des Reisezugwagens Panorama As 103 waren nicht festgezogen.
- Die Befestigungsschrauben drehten sich von selbst aus der Verbindung und fielen ab.
- Die verwendete Schraubensicherung kann nur bei einem nach Vorgabe erfolgten Festziehen den Verlust der Schraube verhindern.
- Bei der verwendeten Schraubensicherung ist visuell kein Unterschied zwischen von Hand ganz eingedrehten oder mit dem vorgeschriebenen Drehmoment angezogenen Schrauben zu erkennen.
- Das Bremszahnrad des Reisezugwagens Panorama As 103 senkte sich während der Fahrten nach und nach bis unter die Schienenoberkante.

3.1.2 Organisatorische Aspekte

- Zeitpunkt und Beweggründe für die Umstellung von einer Schraubensicherung mittels Sicherungsblech zu einer Schraubensicherung mittels Keilsicherungscheiben konnten nicht nachvollzogen werden.
- Der Bereich Instandhaltung Fahrzeuge der zb Zentralbahn AG setzte die Farbmarkierung festgezogener Schrauben noch nicht durchgängig um.
- Der Instandhaltungsprozess regelt das Vorgehen, das Anzugsmoment der Schrauben und die Qualitätskontrolle in geeigneter Weise und vertraut auf eine sorgfältige Ausführung der Arbeiten.
- Die Instandhaltung des Reisezugwagens Panorama As 103 war geplant.
- Der regelmässige Unterhalt des Reisezugwagens Panorama As 103 war geplant zwei Tage nach dem Unfalltag vorgesehen.

3.1.3 Menschliche Aspekte

Bei der Instandhaltung wurde nicht bemerkt, dass die Befestigungsschrauben zum Bremszahnrad des Reisezugwagens Panorama As 103 nicht festgezogen waren.

3.2 Ursachen

Die Entgleisung eines Reisezuges am 5. Juni 2016 in Horw ist darauf zurückzuführen, dass sich das Bremszahnrad im hinteren Laufdrehgestell des ersten Reisezugwagens Panorama As 103 soweit absenkte, bis es bei einer Gleisdurchschneidung anstiess und das Laufdrehgestell aus den Schienen hebelte. Das Bremszahnrad senkte sich, weil die Befestigungsschrauben der Halterung nicht angezogen waren und sich in der Folge durch die auftretenden Vibrationen während der Fahrten nach und nach gelockert und vollständig herausgedreht hatten.

Zum Unfall hat beigetragen:

Bei der Instandhaltung des Reisezugwagens Panorama As 103 wurde ein individueller Montagefehler nicht erkannt.

4 Sicherheitsempfehlungen und -hinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Es werden keine Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

4.2 Sicherheitshinweis

Es werden keine Sicherheitshinweise ausgesprochen.

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Das Bahnunternehmen hat nach dem Unfall folgende Massnahmen getroffen:

- Die Zb Zentralbahn AG hat die Zahnradbefestigungen der restlichen Flotte unmittelbar nach Bekanntwerden der Ereignisursache überprüft.
- Neben den ordentlichen Audits wurde die bereits bestellte ECM-Lückenanalyse für die Rollmaterialinstandhaltung um zwei Monate vorgezogen und aus deren Ergebnissen weitere interne Massnahmen abgeleitet. Die Schwerpunktthemen der Massnahmen beinhalten:
 - Sicherheitsrelevante Tätigkeiten werden systematisch definiert und daraus Massnahmen für die jeweiligen Instandhaltungsarbeiten abgeleitet.
 - Die Checklisten werden ergänzt, so dass in Zukunft bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten das benutzte Werkzeug mit der eindeutigen Bezeichnung eingetragen werden kann. Die Arbeitsanweisungen und Checklisten der Instandhaltung werden auf sicherheitsrelevante Tätigkeiten überprüft und, falls die Formulierung für das Vieraugenprinzip nicht klar ist, angepasst.
 - Die Dokumentenlenkung wird optimiert.
 - Nebst den bisherigen Q-Checks, internen und externen Audits werden interne fachliche Schwerpunktaudits, mit dem Fokus technische Schwachstellen aufzudecken, initialisiert.
- Das Gleis zwischen Luzern und Engelberg wurde auf weitere Schäden untersucht.

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

Bern, 21. März 2017

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle