



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 Kollision eines Autozuges
mit einem Hindernis

vom 21. August 2015

in Realp (UR)

Reg.-Nr. 2015082102

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.....	5
Ursachen	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
1 Sachverhalt	7
1.1 Ausgangslage	7
1.1.1 Ort des Ereignisses	7
1.2 Vorgeschichte	8
1.3 Ablauf des Ereignisses.....	8
1.4 Schäden.....	9
1.4.1 Personen.....	9
1.4.2 Infrastruktur	9
1.4.3 Schienenfahrzeuge	9
1.4.4 Dritte	9
1.4.5 Umwelt	9
1.5 Beteiligte und betroffene Personen	10
1.5.1 Lokführer	10
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen	10
1.6.1 Infrastrukturbetreiberin	10
1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen.....	10
1.6.3 Fahrzeughalter	10
1.6.4 Dritte	10
1.7 Infrastruktur.....	11
1.7.1 Bahnanlage	11
1.7.2 Stellwerk und Leittechnik.....	12
1.8 Fahrzeuge.....	12
1.8.1 Übersicht.....	12
1.9 Kommunikation	14
1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung.....	14
1.10.1 Fahrdaten.....	14
1.10.2 Stellwerkdaten.....	16
1.10.3 Video	16
1.11 Funktionsbeschreibungen	17
1.11.1 Funktionsbeschreibung der Lok HGe 4/4 103.....	17
1.11.2 Funktionsbeschreibung zu den Bremsverfahren.....	17
1.12 Besondere Untersuchungen.....	20

1.12.1 Untersuchungen der Lok 103	20
1.12.2 Untersuchungen des Wagens 4806.....	21
1.12.3 Prüfung des Verhaltens der Bremsschläuche zwischen Lok und ersten Wagen	21
1.12.4 Einsatz der Bremsschläuche	22
1.12.5 Gutachten Bremsschläuche	22
1.12.6 Bremskräfte und Bremsverhältnis.....	22
1.13 Regelungen für Bremsschläuche	23
1.13.1 Technische Lieferbedingungen für Elastomerschläuche für Druckluftbremsskupplung (UIC-Norm 830-1 V)	23
1.13.2 Bahnanwendungen – Bremskupplungen (EN 15807)	23
2 Analyse	24
2.1 Technische Aspekte.....	24
2.1.1 Bremsen.....	24
2.1.2 Bremsverhalten	25
2.1.3 Bremsverbindungen	26
2.2 Menschliche Aspekte	27
3 Schlussfolgerungen	28
3.1 Befunde	28
3.1.1 Technische Aspekte	28
3.1.2 Menschliche Aspekte	28
3.2 Ursachen.....	28
4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen	29
4.1 Sicherheitsempfehlungen.....	29
4.1.1 Fahrdatenregistrierung	29
4.2 Sicherheitshinweise	29
4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	29

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel Eisenbahn

Beteiligte Unternehmen

Eisenbahnverkehrsunternehmen Matterhorn Gotthard Verkehrs AG (MGV), Brig

Infrastrukturbetreiberin Matterhorn Gotthard Infrastruktur AG (MGI), Brig

Fahrzeughalter Matterhorn Gotthard Verkehrs AG (MGV), Brig

Beteiligte Fahrzeuge Autozug bestehend aus einer Lokomotive und zwölf Wagen.

Ort Realp (UR)

Datum und Zeit 21. August 2015, um ca. 17:00 Uhr

Untersuchung

Die Meldung betreffend der Kollision eines Autozuges mit einem Hindernis in Realp ging bei der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) am 21. August 2015 um 17:35 Uhr ein. Die Untersuchung wurde am gleichen Tag eröffnet.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Faktenerhebung vor Ort;
- Befragungen der Beteiligten;
- Fahrdaten des Zuges;
- Wagenliste (Anhängelast);
- Gleis- und Signalpläne des Bahnhofes Realp und des Furkatunnels;
- Hoheitliche und interne Regelungen für den Eisenbahnbetrieb;
- Aufzeichnungen einer im Bahnhof Realp installierten Videoanlage;
- Materialprüfung des Hauptluftleitungsschlauches;
- Diverse Untersuchungen der Fahrzeuge in Andermatt, Brig, Altenrhein und Bellinzona.

Kurzdarstellung

Am 21. August 2015 konnte ein Autozug des Autoverlades Furka bei der Einfahrt in den Bahnhof Realp nicht rechtzeitig anhalten. Der Zug prallte in einen Prellbock und anschliessend entgleisten die Lokomotive und die ersten beiden Wagen. Es wurden keine Personen verletzt, es entstand erheblicher Sachschaden an den Schienenfahrzeugen und an der Bahninfrastruktur.

Ursachen

Die Kollision eines Autozuges mit einem Hindernis bei der Einfahrt in den Bahnhof Realp ist darauf zurückzuführen, dass der Zug keine genügende Bremswirkung aufbauen konnte.

Die erreichte Bremswirkung lässt den Schluss zu, dass nur die Lok gebremst hat. Die Ursache für die ungenügende Bremswirkung lag mit grosser Wahrscheinlichkeit in der Verbindung zwischen der Lok und dem ersten Wagen. Aufgrund der durch den Unfall verursachten Beschädigungen konnte die Ursache der ungenügenden Bremswirkung nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Bei der Vorbeifahrt an einem «Halt» zeigenden Hauptsignal wurde eine Zwangsbremmung ausgelöst. Da die Bremswirkung auch dort ungenügend blieb, steht als Ursache ein technisches Versagen der Verbindung der Hauptluftleitung der Lok und des ersten Wagens im Vordergrund.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

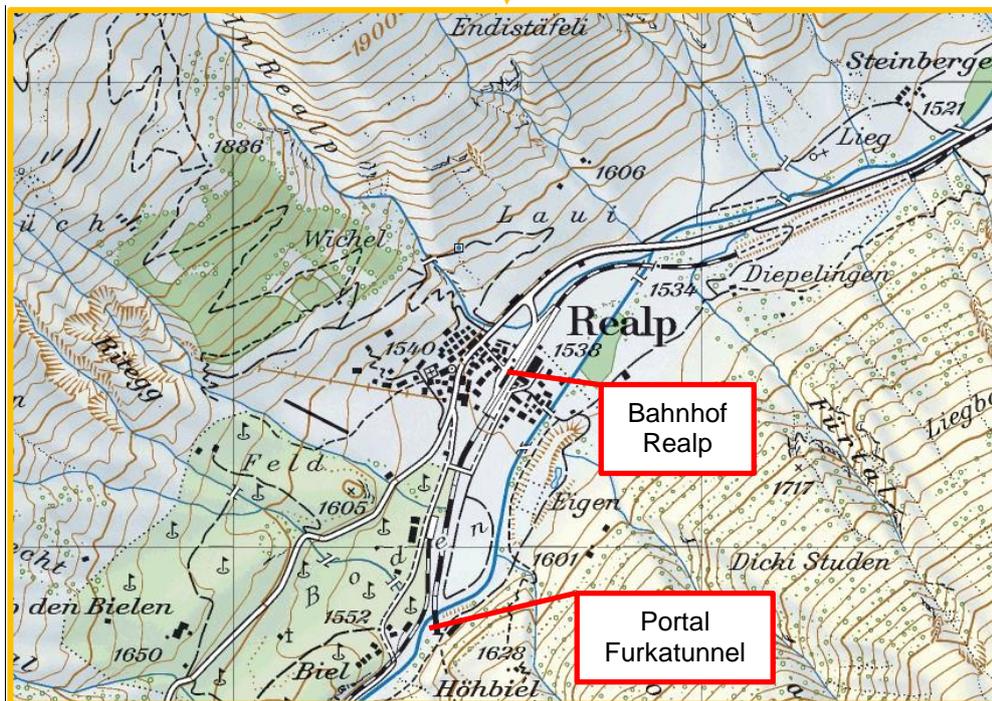
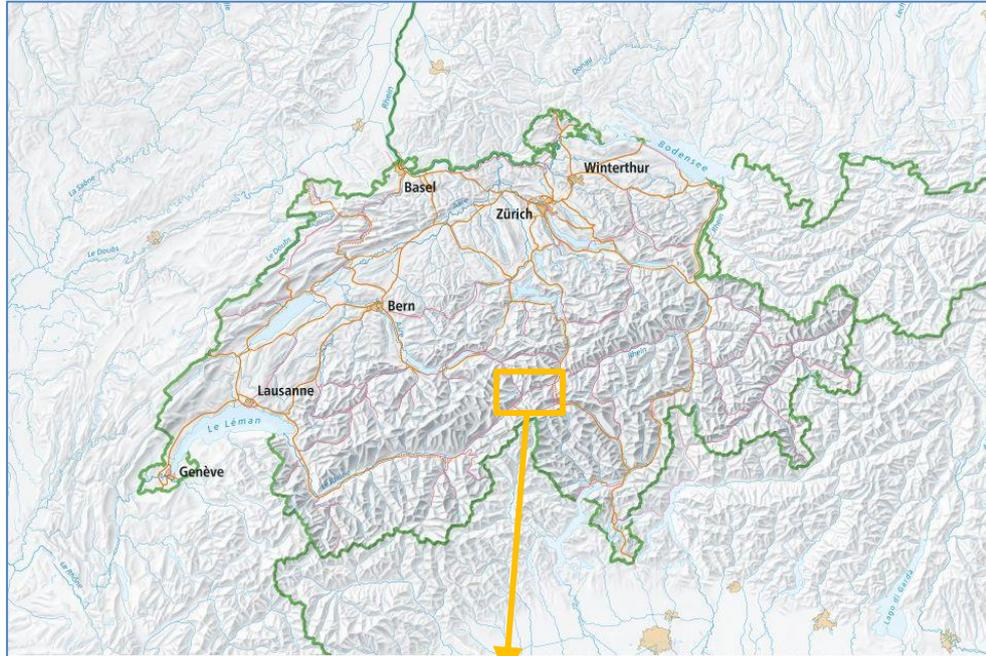
Mit diesem Schlussbericht werden weder Sicherheitsempfehlungen noch Sicherheitshinweise ausgesprochen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass in den Fahrdaten nicht alle für eine Sicherheitsuntersuchung relevanten Daten aufgezeichnet werden. Die SUST wird zu dieser Thematik zu einem späteren Zeitpunkt eine separate Studie verfassen.

1 Sachverhalt

1.1 Ausgangslage

1.1.1 Ort des Ereignisses



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zum Ort des Unfalls.
Quelle der Basiskarten: Bundesamt für Landestopografie.

1.2 Vorgeschichte

Der betroffene Autozug war am 21. August 2015 den ganzen Tag in unveränderter Komposition (Lok und 12 Wagen) zwischen Oberwald und Realp unterwegs. Dabei erfolgten insgesamt 11 Hin- und Rückfahrten durch den Furkatunnel. Vor der Fahrt, die zum Ereignis führte, hatte der Lokführer die Strecke Oberwald–Realp–Oberwald bereits einmal mit dieser Zugskomposition befahren. Er stellte bei dieser Hin- und Rückfahrt keine Unregelmässigkeiten fest. Der Tag des Ereignisses war ein sonniger Tag, die Schienen waren trocken und griffig.

In Oberwald musste ein Lieferwagen auf den Autozug verladen werden. Dazu musste der Zug manövriert werden. Der Lokführer bediente dabei den Zug einmal vom Steuerwagen und dann wieder von der Lokomotive aus. Der Zug reagierte während den Rangierfahrten bezüglich des Bremsverhaltens entsprechend den Erwartungen des Lokführers. Anhand der Fahrdaten kann keine Aussage gemacht werden, ob in Oberwald eine vereinfachte Bremsprobe gemacht wurde. In der Praxis ist die vereinfachte Bremsprobe bei der Inbetriebnahme des Führerstands ein Bestandteil des entsprechenden Prozesses. Und da der Führerstand für das Manövrieren in Oberwald drei Mal gewechselt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass diese mindestens einmal gemacht wurde.

Die Autozüge zwischen Oberwald und Realp fahren im Adhäsionsbetrieb, es gibt auf dieser Strecke keine Zahnradabschnitte. Im Gegensatz zum übrigen Netz der Matterhorn Gotthard Infrastruktur sind im Autozugbetrieb des Furkatunnels keine Vakuumbremsen im Einsatz. Die Züge verkehren mit der automatischen Druckluftbremse. Die Wagen der Autozüge sind untereinander mit der halbautomatischen «+GF+Kupplung»¹ verbunden. Die Zug- und Druckkräfte werden von der Lok ebenfalls über diese halbautomatische Kupplung auf die Wagen übertragen. Die Hauptluftleitung zwischen der Lok und dem ersten Wagen wird bei diesem Loktyp ausserhalb der Kupplung mit einem Hauptluftleitungsschlauch verbunden.

1.3 Ablauf des Ereignisses

Der Autozug verliess um ca. 16:43 Uhr den Bahnhof Oberwald. Der Zug wurde bis zu einer Geschwindigkeit von 88 km/h beschleunigt. In der Folge wurde die Geschwindigkeit vorerst auf 64 km/h und anschliessend, für die Einfahrt in den Bahnhof Realp, auf 45 km/h reduziert. Bis zur Einfahrt in den Bahnhof Realp fielen dem Lokführer keine Unregelmässigkeiten auf. Als er nach dem Tunnelausgang die Geschwindigkeit von 41 km/h weiter reduzieren wollte, fuhr der Zug mit praktisch unveränderter Geschwindigkeit weiter. Der Lokführer leitete auf Höhe der Verlade rampe eine Vollbremsung ein und als die Lokomotive am «Halt» zeigenden Signal C31 vorbeifuhr, wurde durch die Zugbeeinflussung eine Zwangsbremse eingeleitet (Kapitel 1.11.2.2). Auch diese Bremsungen zeigten nicht die zu erwartende Wirkung. Der Zug fuhr weiter, passierte ein weiteres «Halt» zeigendes Signal und prallte schliesslich in den Prellbock am Ende von Gleis 91. Dieser wurde weggeschoben und zertrümmert, die Lok kam in einem Bachbett zum Stehen. Die ersten beiden Wagen entgleisten ebenfalls. Personen wurden keine verletzt, es entstand aber beträchtlicher Sachschaden an den Schienenfahrzeugen und an der Bahninfrastruktur.

¹ +GF+Kupplung: Die Bezeichnung GF bezieht sich auf den Hersteller Georg Fischer. Halbautomatische Kupplung bedeutet, dass neben der mechanischen Verbindung auch die Verbindung der Bremsleitungen beim Anfahren automatisch erstellt werden, diese aber von Hand getrennt werden müssen.



Abbildung 3: Auf dem Bild ist die entgleiste Lok in der Endlage sichtbar. Der rote Pfeil markiert die Fahrtrichtung des Zuges, der gelbe Pfeil den beschädigten Führerstand 2.

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Es wurden keine Personen verletzt.

1.4.2 Infrastruktur

Der Prellbock im Gleis 91 wurde zerstört und weggeschoben.

1.4.3 Schienenfahrzeuge

Die zugführende Lokomotive wurde durch die Entgleisung und den Aufprall der nachfolgenden Wagen beschädigt. Vor allem der unbediente Führerstand 2 wies massive Beschädigungen auf. Die beiden entgleisten Wagen wiesen verhältnismässig geringe Schäden auf.

1.4.4 Dritte

Die auf den Autozug verladenen Strassenfahrzeuge wurden nicht beschädigt.

1.4.5 Umwelt

Das Ereignis blieb für die Umwelt ohne Folgen.

1.5 Beteiligte und betroffene Personen

1.5.1 Lokführer

Person	Jahrgang 1955, Anstellung bei der Matterhorn Gotthard Bahn, Dienstort Andermatt
Berechtigung	BAV ² -Ausweis Kategorie B, gültig bis 2021
Letzte Befähigungsprüfung	Periodische Prüfung (10/2011)
Werdegang	Er war seit dem Beginn der Ausbildung im Jahr 1981 als Lokführer bei der Matterhorn Gotthard Bahn tätig.
Arbeitsbeginn am Ereignistag	06:45 Uhr
Arbeitszeit bis zum Ereignis	7:45 Std, seit der letzten Pause: 2:30 Std.
Medizinische Feststellungen	Der durchgeführte Atemalkoholtest ergab einen Wert von 0.00 ‰.
Gesundheitszustand	Der Lokführer fühlte sich gut.

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

1.6.1 Infrastrukturbetreiberin

Matterhorn Gotthard Infrastruktur AG (MGI), Brig

1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

Matterhorn Gotthard Verkehrs AG (MGV), Brig

1.6.3 Fahrzeughalter

Matterhorn Gotthard Verkehrs AG (MGV), Brig

1.6.4 Dritte

Auf dem Autozug waren insgesamt 17 Fahrzeuge verladen.

² BAV: Bundesamt für Verkehr

1.7 Infrastruktur

1.7.1 Bahnanlage

1.7.1.1 Beschreibung

Der Furkatunnel verbindet Oberwald und Realp. Neben Personenzügen setzt die MGV auf dieser Strecke Autozüge ein.

Bei der Fahrt von Oberwald nach Realp müssen die Züge vorerst eine Steigung von 24 ‰ bewältigen. Ab der Kreuzungsstelle Rotondo bis kurz nach dem Tunnelportal in Realp geht die Strecke in ein Gefälle von 3 ‰ über. Bei der Einfahrt in den Bahnhof Realp geht das Gleis für ca. 400 m in ein Gefälle von 30 ‰ über. Kurz vor der Verladerampe führt das Gleis in einen praktisch ebenen Abschnitt.

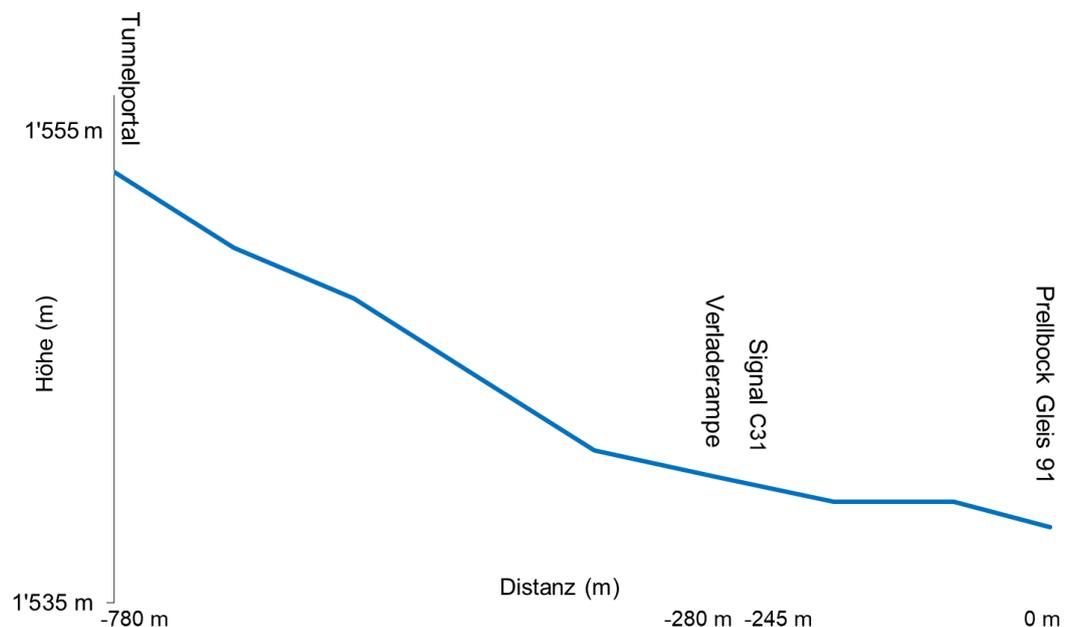


Abbildung 4: Streckenprofil des Bahnhofs Realp vom Portal des Furkatunnels bis zum Prellbock im Gleis 91. Die Distanzen wurden vom Prellbock zum Tunnelportal zurückgerechnet.

Der Bahnhof Realp verfügt über drei durchgehende Gleise. Die Gleise 2/3 stehen den Reisezügen zur Verfügung, wobei der Regionalverkehr fast ausschliesslich das Gleis 3 befährt. Die Autozüge fahren vom Tunnel herkommend in das Gleis 31-1 ein. Die Verladerampe befindet sich im Gleis 31, die Züge halten im Regelbetrieb vor dem Signal C31. Falls ein Lastwagen auf den Zug verladen oder vom Zug abgeladen werden soll, muss der Zug ins Gleis 1 vorgezogen werden. Die Distanz vom Signal C31 bis zum Prellbock im Gleis 91 beträgt ca. 245 m.

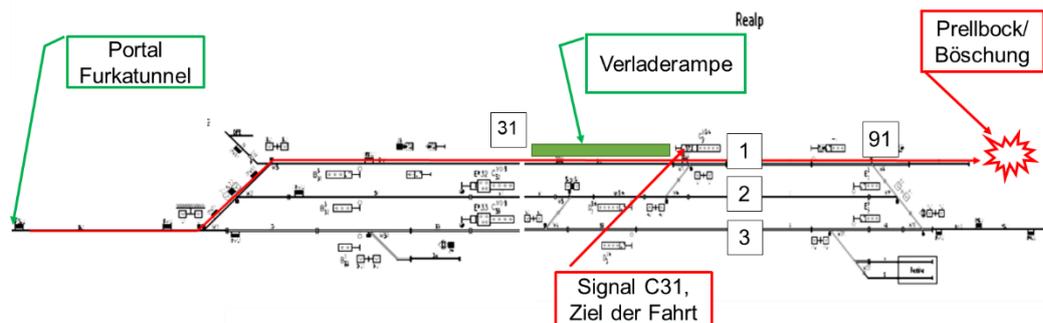


Abbildung 5: Gleisplan des Bahnhofes Realp. Rot eingezeichnet ist der Fahrweg des Autozuges.

1.7.1.2 Feststellung

Die Bahnanlage befand sich in einem gut unterhaltenen Zustand. Es wurden keine Hinweise auf vorbestehende Schäden oder Verschmutzungen der Schienen festgestellt.

1.7.2 Stellwerk und Leittechnik

1.7.2.1 Beschreibung

Der Bahnhof Realp und der Furkatunnel sind mit einer elektronischen Sicherungsanlage des Typs «SIMIS-IS» der Firma Siemens ausgerüstet. Die Bedienung erfolgt ab der Betriebsleitzentrale der MGI in Brig über das Leitsystem Ittis. Die Hauptsignale entsprechen dem Signalsystem «L»³, Zwergsignale sind keine vorhanden.

1.7.2.2 Feststellung

Die Sicherungsanlage funktionierte ordnungsgemäss. Sie hatte keinen Einfluss auf den Ereignishergang.

1.8 Fahrzeuge

1.8.1 Übersicht

1.8.1.1 Beschreibung

Der Autozug wurde von einer elektrisch angetriebenen, vierachsigen Streckenlokomotive gezogen. Die Anhängelast bestand aus acht Verladewagen, drei Rampenwagen sowie einem Steuerwagen. Der Autozug hatte eine Länge von rund 266 m und eine Masse von rund 359 t. Bei eingeschalteten und funktionstüchtigen Bremsen betrug das Bremsverhältnis 96 %.

³ Signalsystem L: Ankündigung und Ausführung einer Geschwindigkeit werden mit farbigen Lichtpunkt-kombinationen signalisiert.

Fahrzeug	Identifikation	Bemerkung
Lokomotive HGe 4/4 II	103	Zog den Autozug, war nach der Entgleisung mit beiden Drehgestellen ausserhalb der Schienen.
Rampenwagen Skl-v	4806	War nach der Entgleisung mit beiden Drehgestellen ausserhalb der Schienen.
Rampenwagen Skl-v	4804	War nach der Entgleisung mit beiden Drehgestellen ausserhalb der Schienen.
Verladewagen Skl-v	4817	
Verladewagen Skl-v	4820	
Verladewagen Skl-v	4819	
Verladewagen Skl-v	4821	
Verladewagen Skl-v	4825	
Verladewagen Skl-v	4818	
Verladewagen Skl-v	4816	
Verladewagen Skl-v	4811	
Rampenwagen Skl-v	4803	
Steuerwagen BDt	4363	

1.8.1.2 Sicherungssysteme Fahrzeuge

Die Streckenlok HGe 103 war mit einer Zugsicherung ZSI-90 und einer Sicherheitssteuerung ausgerüstet. Die Zugsicherung ZSI-90 unterstützt den Lokführer punktförmig bei den Vor- und Hauptsignalen bei der Beobachtung der entsprechenden Fahrt-, Warnung- oder Haltbegriffe. Die Begriffsübertragung vom Gleis auf das Fahrzeug erfolgt mit magnetischen Gleichfeldern. Signalabhängig geschaltete Magnete ermöglichen nebst dem restriktiven «Halt-Begriff» auch eine «Warnung» oder «freie Fahrt» akustisch und optisch anzuzeigen bzw. entsprechend in die Bremssteuerung des Fahrzeuges einzugreifen. Beim Eingriff in die Bremssteuerung wird zeitgleich der Hauptschalter ausgelöst, damit keine Zugkraft mehr wirken kann. Dies hat jedoch zur Folge, dass auch die elektrische Bremse ausgeschaltet wird.

1.8.1.3 Feststellung

Beim Eintreffen der SUST waren die Stromabnehmer der Lokomotive gesenkt. Bei allen Fahrzeugen waren die Bremsen eingeschaltet. Durch die Kollision mit dem ersten Wagen wurde der unbediente Führerstand 2 der Lok stark beschädigt.

Die Hauptluftleitung war ab dem ersten Wagen durchgehend verbunden und die zugehörigen Absperrhähne waren geöffnet.

Der Zustand der Verbindung zwischen der Lok und dem ersten Wagen konnte aufgrund der Beschädigungen nicht mehr festgestellt werden. Die Bremssohlen der Lok und der Wagen lagen fest an den Radlaufflächen an.



Abbildung 6: In der Bildmitte ist der beschädigte Führerstand 2 der Lok 103 sichtbar. Der rote Pfeil zeigt die Fahrtrichtung des Zuges.

1.9 Kommunikation

Im Zeitraum des Ereignisses wurden keine Gespräche geführt.

1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.10.1 Fahrdaten

1.10.1.1 Beschreibung Fahrdatenschreiber

Für die Auswertung des Fahrdatenschreibers standen insgesamt 32 digitale und ein analoges Signal zur Verfügung. Beim analogen Signal handelt es sich um die Geschwindigkeitsaufzeichnung. Digital aufgezeichnet wurden unter anderem die Signale der Zugbeeinflussung («Halt», «Warnung» und «Fahrt»). Diese vier Aufzeichnungen des Fahrdatenschreibers waren für die Rekonstruktion des Hergangs hilfreich.

Für eine Sicherheitsuntersuchung ist es wesentlich zu wissen, wie die Bremsungen eines Zuges vorgenommen wurden. Für die Analyse kann es ausschlaggebend sein, ob ausschliesslich die elektrische Bremse der Lok zum Einsatz kam, oder ob auch die Anhängelast mitgebremst wurde. Weitere Rückschlüsse erlaubt das Wissen, ob die automatische Bremse der Lok durch den Lokführer ausgelöst wurde.

Um diese Fragen im Rahmen einer Untersuchung nachträglich klären zu können, müssten unter anderem die folgenden Signale aufgezeichnet werden:

- Hauptleitungsdruck
- Kraft der elektrischen Bremsen
- Bremszylinderdruck der Lok
- Auslösung der automatischen Bremse

Die Fahrdaten werden in der Regel in Form eines Geschwindigkeitsdiagrammes, als Weg- oder Zeitdiagramm, zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung sind beide notwendig. Vertiefte Analysen erfordern zusätzlich eine tabellarische Auflistung der Signale.

1.10.1.2 Auswertung Fahrdaten

Die an der Zugspitze verkehrende Streckenlokomotive ist mit einer elektronischen Geschwindigkeitsmessanlage ausgerüstet. Die Auswertung der Daten zeigt Folgendes:

- Um 16:42:45 Uhr nahm der Zug die Fahrt Richtung Realp auf.
- Nach einer Fahrzeit von ca. sechs Minuten wurde eine Geschwindigkeit von ca. 78 km/h erreicht.
- Die nächsten ca. vier Minuten betrug die Geschwindigkeit ca. 75 km/h.
- Anschliessend wurde eine Geschwindigkeitszunahme bis auf eine Geschwindigkeit von ca. 88 km/h aufgezeichnet.
- Vor dem Bahnhof Realp, nach einer Gesamtfahrzeit von ca. 13 Minuten, ist eine Geschwindigkeitsreduktion von 76 km/h auf 64 km/h erkennbar.
- Weitere 30 Sekunden später wurde eine Reduktion der Geschwindigkeit von 60 km/h auf 48 km/h aufgezeichnet.
- Anschliessend nimmt die Geschwindigkeit im Zeitraum einer Minute um ca. 10 km/h ab.
- Während der folgenden 15 Sekunden wurde in der Aufzeichnung ein Gleiten der Lok registriert.
- Um 16:58:10 Uhr wurde bei einer Geschwindigkeit von ca. 38 km/h das Ansprechen der Zugsicherung aufgezeichnet.
- Auf der folgenden Strecke von ca. 270 m reduzierte sich die Geschwindigkeit des Zuges von 38 km/h auf 23 km/h.
- Anschliessend ist eine Geschwindigkeitsreduktion bis zum Stillstand aufgezeichnet.

1.10.1.3 Vergleich des Fahrtenverlaufs

Im untenstehenden Diagramm wird der Fahrtverlauf des am Unfall beteiligten Autozuges (Zug 2454) mit dem Fahrtverlauf des Autozuges eine Stunde vor dem Ereignis (Zug 2450) verglichen. Es handelte sich bei beiden Zügen um dieselbe Autozugskomposition, die vom gleichen Lokführer geführt wurde. Der Vergleich der beiden Kurven zeigt, dass der Fahrtverlauf der beiden Züge bis auf die letzten 400 m, bis zum Einleiten der Haltbremsung, praktisch identisch ist.

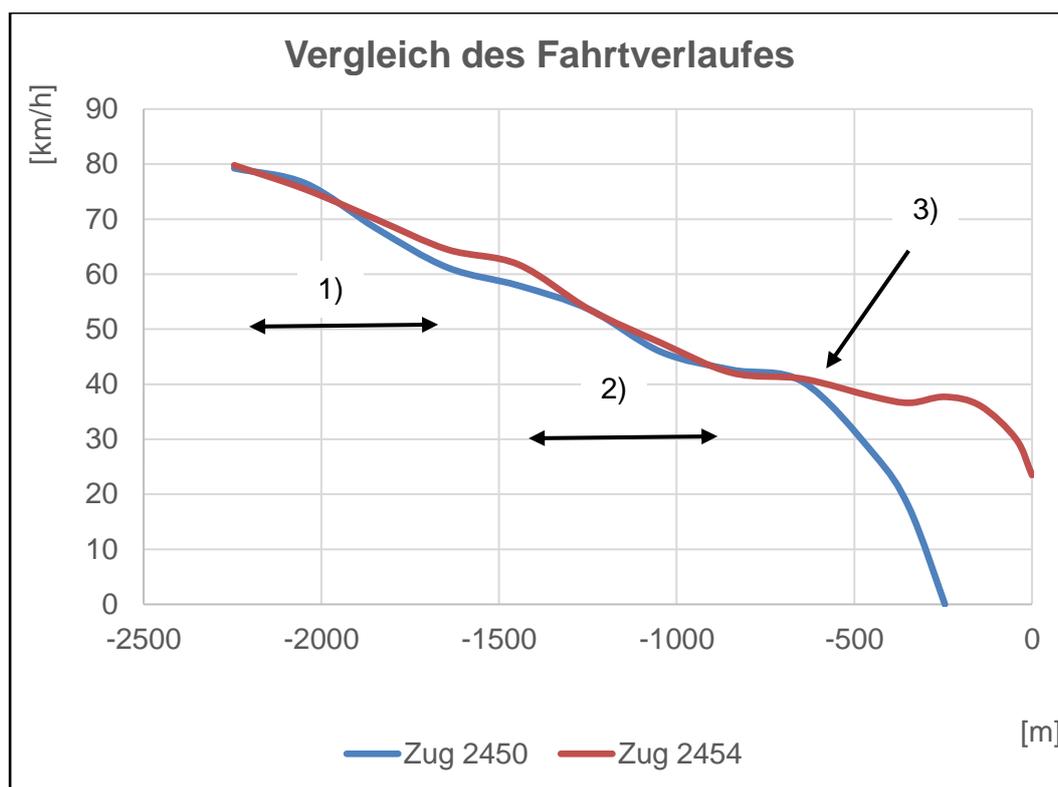


Abbildung 7: Rot markiert ist der Fahrtverlauf des Unfallzuges auf den letzten 2 000 m. Blau eingezeichnet ist der Fahrtverlauf des Vergleichszuges, der eine Stunde vor dem Ereignis dieselbe Strecke befuhr. Die Distanz wurde vom Prellbock im Gleis 91 (0 m) zurückgerechnet.

- 1) Erste Geschwindigkeitsreduktion von 80 auf ca. 60 km/h. Diese wurde alleine mit der automatischen Bremse durchgeführt.
- 2) Zweite Geschwindigkeitsreduktion von ca. 60 auf 42 km/h. Dabei wurde nur die elektrische Bremse verwendet.
- 3) Einleiten der Haltbremmung.

1.10.2 Stellwerkdaten

Die Stellwerkabläufe zum Zeitpunkt der Entgleisung wurden aufgezeichnet. Die Daten zeigen, dass zum Zeitpunkt der Entgleisung im Bereich der eingestellten Fahrstrasse weder Stellwerkbedienungen, wie beispielsweise Notbedienungen, stattfanden, noch irgendwelche Störungen auftraten.

1.10.3 Video

Auf den Aufzeichnungen einer im Bahnhof Realp installierten Videoanlage ist die Fahrt des Zuges durch den Bahnhof zu sehen. Dabei ist ersichtlich, wie sich die Geschwindigkeit des Zuges, vor dem abrupten Stillstand, nur schwach reduzierte. Nach dem Stillstand des Autozuges ist eine ruckartige Bremsung der Wagen sichtbar. Die Wagen bewegten sich kurz zurück und dann standen sie, ohne hin- und herzuschaukeln, still.

1.11 Funktionsbeschreibungen

1.11.1 Funktionsbeschreibung der Lok HGe 4/4 103

Die Lok HGe 4/4 103 ist eine meterspurige Universallokomotive für Adhäsions- und Zahnradbetrieb. Die Masse der Lok beträgt 64 Tonnen. Die Bremsausrüstung umfasst die automatische Bremse, die Rangier-, die Schleuder-, die Federspeicher- und die elektrische Rekuperationsbremse⁴.

1.11.2 Funktionsbeschreibung zu den Bremsverfahren

1.11.2.1 Elektrische Bremse

Die elektrische Bremse wirkt auf die Antriebsachsen der Lokomotive. So weit wie möglich werden Beharrungen und Verzögerungen mit der elektrischen Bremse getätigt. Die maximale elektrische Bremskraft beträgt auf Adhäsionsstrecken 100 kN. Wird eine noch grössere Verzögerung gefordert, so wird zusätzlich die Anhängelast mit der automatischen Bremse gebremst.

Damit die Lok-Antriebsräder nicht gemeinsam mit der elektrischen und der automatischen Bremse gebremst werden und dadurch zum Blockieren gebracht werden können, löst der Lokführer in diesem Fall an der Lokomotive die automatische Bremse aus. Die Lok bremst dann ausschliesslich mit der elektrischen Bremse. Dieses Auslösen ist aus Sicherheitsgründen nur bis zu einem Hauptluftleitungsdruck von 3.5 bar möglich. Wird die Hauptluftleitung tiefer abgesenkt, so wird die (mechanische) automatische Bremse aktiviert.

Um ein Verschleifen der Räder durch zu hohe Bremskraft zu verhindern, wird in diesem Moment die elektrische Bremse automatisch ausgeschaltet.

Die Lok wird von diesem Zeitpunkt an mit der gegenüber der elektrischen Bremse meist schwächeren automatischen Bremse gebremst.

1.11.2.2 Automatische Bremse

Wenn die elektrische Bremse nicht ausreicht, wird der Zug zusätzlich mit der automatischen Bremse gebremst. Diese wirkt mechanisch auf die einzelnen Räder.

Über die gesamte Länge eines Zuges verläuft eine pneumatische Leitung, die Hauptluftleitung. Beträgt der Druck in dieser Hauptluftleitung 5 bar, so sind alle Bremsen gelöst. Senkt der Lokführer mittels dem Führerbremssventil den Druck in der Hauptluftleitung ab, so beginnen die Bremsen zu wirken. Bei einem Hauptluftleitungsdruck von 3.5 bar ist die maximale Bremswirkung erreicht. Dies entspricht einer Vollbremsung.

Wird die Hauptluftleitung vom Lokführer über das Führerbremssventil auf 0 bar entleert, so spricht man von einer Schnellbremsung. Wird die Hauptluftleitung von einer Sicherheitseinrichtung über das Elektroventil E243 entleert, so spricht man von einer Zwangsbremung.

Beim Bremsen strömt die Hauptluftleitungsluft demnach von der Anhängelast nach vorne und entleert sich entweder im Führerbremssventil oder aber über das Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen.

⁴ Rekuperation: In der Technik wird der Ausdruck Rekuperation (lat. recuperare ‚wiedererlangen‘, ‚wiedergewinnen‘) für technische Verfahren zur Energierückgewinnung verwendet.

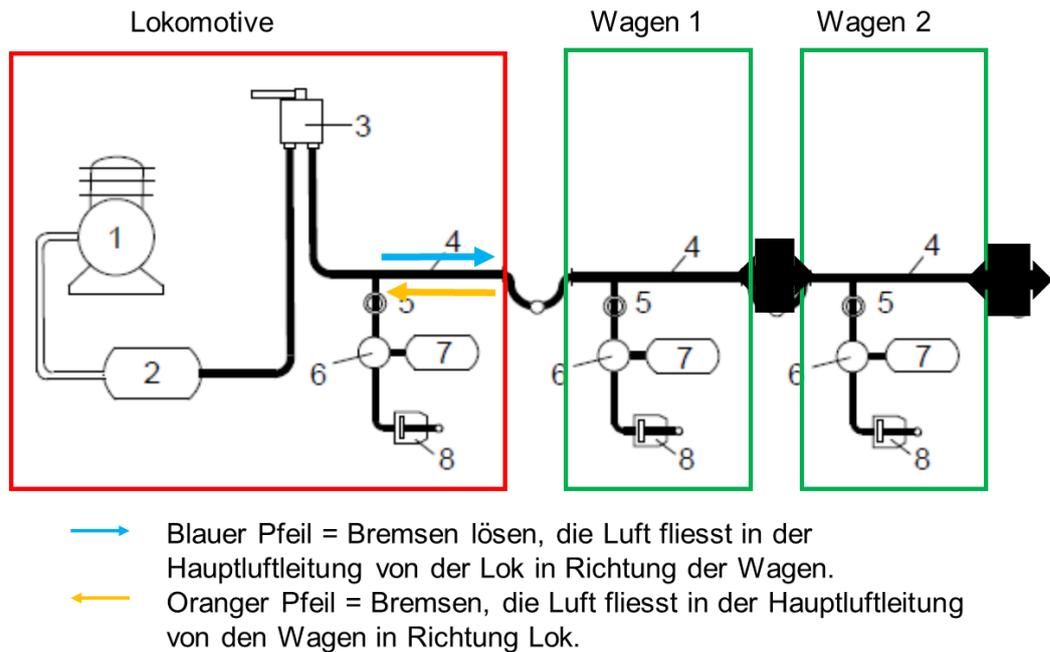


Abbildung 8: Prinzipschema zur Funktionsweise der automatischen Bremse. Die Verbindung der Hauptluftleitung zwischen der Lok und dem ersten Wagen ist mit einem Schlauch sichergestellt. Zwischen den Wagen wird die Hauptluftleitung über die automatische Kupplung verbunden.

Legende: 1) Kompressor 4) Hauptluftleitung 7) Hilfsluftbehälter
 2) Hauptluftbehälter 5) Ausschalthahn 8) Bremszylinder
 3) Führerbremssventil 6) Steuerventil

1.11.2.3 Führung der Hauptluftleitung zwischen Lok HGe 4/4 II und Wagen

Die Lokomotive HGe 4/4 II kann je nach deren Verwendung mit zwei unterschiedlichen zentralen Kupplungen ausgerüstet werden:

Im üblichen Personenverkehrseinsatz werden auf beiden Seiten Mittelpufferkupplungen montiert. Dabei werden sämtliche pneumatischen und elektrischen Verbindungen zum nächsten Fahrzeug ausserhalb der Kupplung und mittels Schläuchen und Kabel geführt. Die Mittelpufferkupplung dient nur der mechanischen Übertragung der Zug- und Stosskräfte von der Lok auf die Anhängelast.

Autozüge werden regelmässig mit dem Loktyp HGe 4/4 II geführt. Die Autozugwagen sind mit den halbautomatischen «+GF+Kupplungen» versehen. Deshalb werden an der Lok die Mittelpufferkupplungen vorübergehend demontiert und halbautomatische «+GF+Kupplungen» montiert. Die Zug- und Druckkräfte werden von der Lokomotive über diese Kupplung auf die Wagen übertragen.

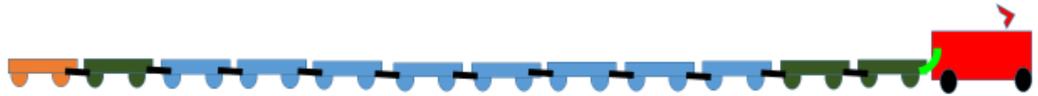


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Autozuges. Rot markiert ist die Lok, grün die Rampenwagen, blau die Verladewagen und orange der Steuerwagen. Die Hauptluftleitung zwischen Lok und erstem Wagen ist mit einer Schlauchverbindung sichergestellt (hellgrün dargestellt). Die Verbindung der Hauptluftleitung zwischen den Wagen unter sich wird über die halbautomatische Kupplung hergestellt (schwarz dargestellt).

Der Einfachheit halber wird von der Lok zum ersten Wagen die Hauptluftleitung nicht durch die «+GF+Kupplung» hindurch geführt, was mit einigem Aufwand möglich wäre, sondern analog zum Betrieb mit Mittelpufferkupplung ausserhalb der Kupplung mit einem Hauptluftleitungsschlauch. Der Unfallzug wurde in dieser Konstellation geführt.

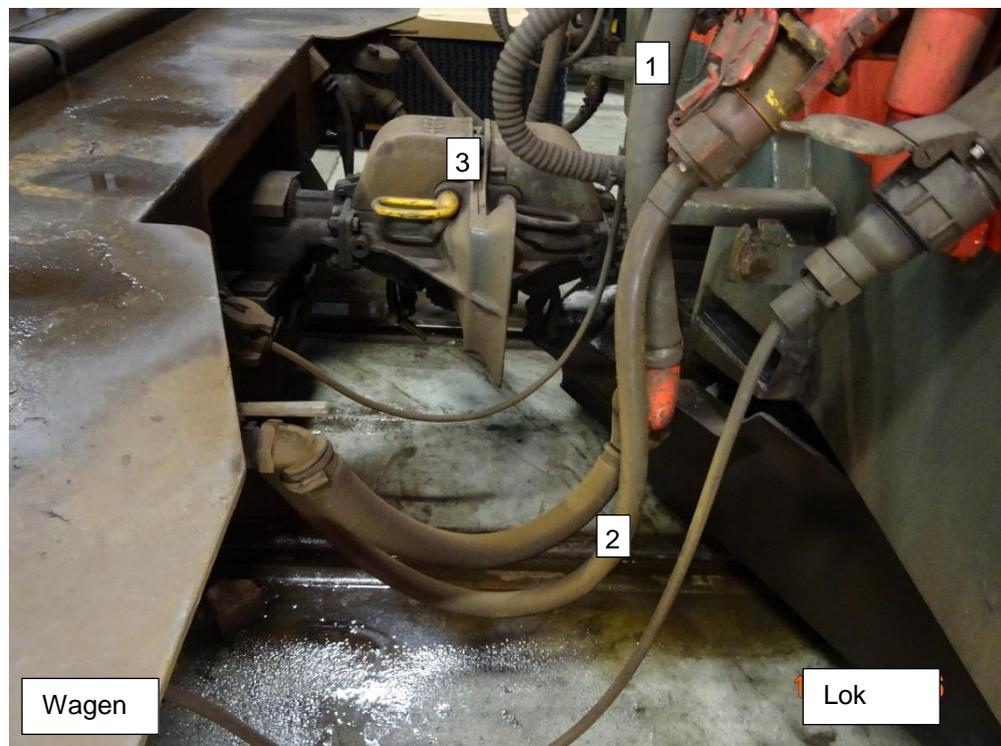


Abbildung 10: Beispiel einer Verbindung zwischen einer Lok vom Typ HGe 4/4 II und einem Autozugwagen. Folgende Elemente sind auf der Lokseite erkennbar:

- Der Hauptluftleitungsschlauch (1). Dieser wird an das Gegenstück des ersten Wagens gekuppelt.
- Die elektrische Leitung der Zugsammelschiene (2). Diese wird direkt in die Dose an der Lok eingesteckt.
- Die halbautomatische «+GF+Kupplung» (3). Diese dient in dieser Konstellation ausschliesslich der Übertragung der Zug- und Stoskräfte.

Der Hauptluftleitungsschlauch und die elektrische Leitung der Zugsammelschiene werden entweder parallel oder gekreuzt geführt. Welche Art zur Anwendung kommt, wird vom Kuppler bestimmt.

Der Hauptluftleitungsanschluss an der Stirnseite der Lok ist 720 mm von der Lokmitte nach aussen versetzt. Die Distanz von diesem Anschluss an der Lok bis zum Hauptluftleitungsanschluss am ersten Wagen verändert sich in Funktion der Zug-/Bremskraft und dem Kurvenradius. Dies hat auf den Biegeradius der beiden zusammengekuppelten Bremsschläuche einen Einfluss. Es wurden diesbezüglich Messungen durchgeführt mit den grösstmöglichen Zug- und Druckkräften sowie den engsten Kurvenradien. Bei diesen Messungen waren nur minimale Biege- und Streckbewegungen feststellbar.

1.11.2.4 Führung der Hauptluftleitung zwischen den Wagen des Autozuges

Unter den Wagen ist die Hauptluftleitung fest als metallene Rohrleitung verlegt. An den beiden Wagenenden führt sie in die beiden Kupplungsköpfe der halbautomatischen «+GF+Kupplung». Kuppeln zwei Wagen miteinander, so verbindet sich die Hauptluftleitung über ein sich beim Kupplungsvorgang selbsttätig öffnendes Ventil.

1.12 Besondere Untersuchungen

1.12.1 Untersuchungen der Lok 103

Die Lok 103 befand sich in einem guten Allgemeinzustand. Die vorgefundenen Schäden waren auf die Entgleisung bzw. auf den nachfolgenden Aufprall der Wagen zurückzuführen. Aufgrund der schweren Beschädigungen konnte die relevanten Elemente im Führerstand 2 nicht vollständig untersucht werden. Der Hauptluftleitungsschlauch von der beschädigten Seite der Lokomotive und der daran angekuppelte Hauptluftleitungsschlauch des ersten Wagens wurden zur Materialprüfung/Werkstoffbestimmung sichergestellt.

Im Rahmen der Untersuchung wurde von aussen Luft in die Hauptluftleitung eingespeist. Folgende Elemente der automatischen Bremse wurden auf ihre einwandfreie Funktion geprüft:

- Das Führerbremsventil, mit dem der Lokführer letztlich eine Vollbremsung auslöste.
Das Führerbremsventil entlüftete in der Bremsstellung die Hauptluftleitung.
- Das Elektroventil E243, das die Hauptluftleitung durch die Sicherheitseinrichtungen in dem Moment zusätzlich entleerte, als der Zug am «Halt» zeigenden Signal vorbeifuhr.
Das Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen funktionierte einwandfrei, der Luftauslass war nicht verstopft.
- Die freie Durchgängigkeit der Hauptluftleitung in beiden Fließrichtungen vom vordersten Wagen über sämtliche Elemente wie Hähne und Schläuche, durch die Lok hindurch bis zum Führerbremsventil bzw. bis zum Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen.

Es konnte festgestellt werden, dass sämtliche Teile der Hauptluftleitung (Röhren, Schläuche, Hähne) auf der Lok 103 in Richtung «Bremsen», das heisst von Führerstand 2 Richtung Führerstand 1, durchgängig waren.

Anhand des Pneumatikschemas wurde untersucht, ob eine ungewollte Nachspeisung der Hauptluftleitung möglich gewesen wäre.

In diesem Fall hätten zwei Elemente, nämlich das Führerbremsventil und das Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen gleichzeitig versagen müssen.

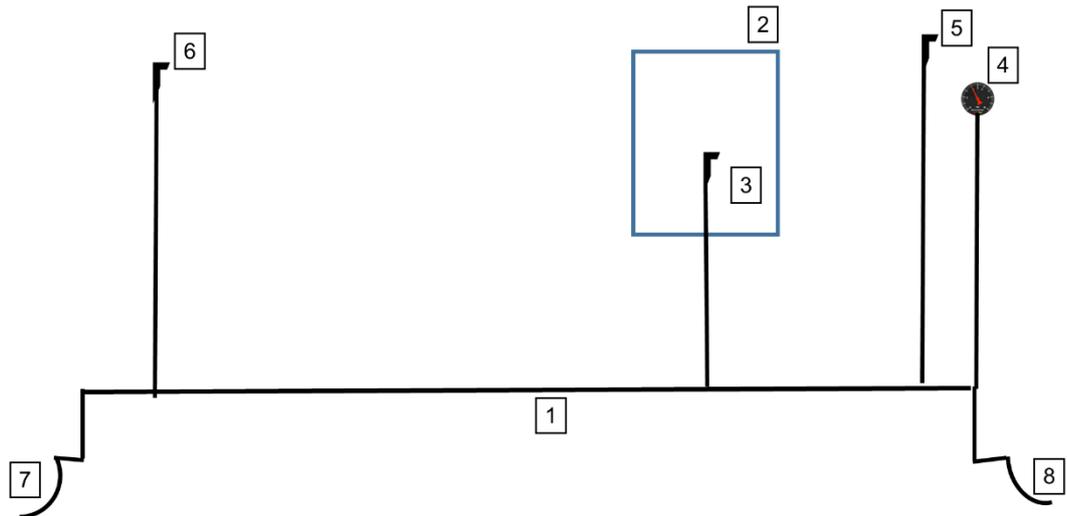


Abbildung 11: Vereinfachtes Pneumatikschema der Lok 103. Folgende Teile sind bezeichnet:

- | | |
|--|--|
| 1) Hauptluftleitung | 2) Tubo-Tafel ⁵ Seite Führerstand 1 |
| 3) Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen | 4) Manometer |
| 5) Führerbremsventil Führerstand 1 | 6) Führerbremsventil Führerstand 2 |
| 7) Hauptluftleitungsschlauch Führerstand 2 | 8) Hauptluftleitungsschlauch Führerstand 1 |

1.12.2 Untersuchungen des Wagens 4806

Der Rampenwagen 4806, der im Autozug an erster Stelle eingereicht gewesen war, befand sich in einem guten Allgemeinzustand. Der Abschlusshahn der Hauptluftleitung war offen. Die vorgefundenen Schäden waren auf die Kollision mit der Lok zurückzuführen. Bei der Untersuchung der Hauptluftleitung wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Bei den durchgeführten Versuchen konnte die Luft ungehindert durch die Hauptluftleitung strömen.

Bei einem Ventil der halbautomatischen Kupplung (Verbindung der Hauptluftleitung zwischen 1. und 2. Wagen) wurde eine Abnützung festgestellt. Dieses Ventil wurde durch die SUST für eine zusätzliche Untersuchung sichergestellt.

Bei dieser Zusatz-Untersuchung wurden mit der halbautomatischen Kupplung verschiedene Versuche durchgeführt. Bei all diesen Versuchen wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Alle Teile funktionierten normal. Es liessen sich keine Hinweise finden, dass das Ventil dieser Kupplung zum Ereignis beigetragen haben könnte.

1.12.3 Prüfung des Verhaltens der Bremsschläuche zwischen Lok und ersten Wagen

Wenn ein Zug ausschliesslich mit der elektrischen Bremse verzögert wird, so verringert sich, weil die Wagen nicht bremsen, durch das Eindrücken der Puffer die Distanz zwischen Lok und erstem Wagen. Geschieht dies über eine ablenkende Weiche, so verringert sich kurveninnenseitig diese Distanz noch zusätzlich.

⁵ Tubo-Tafel: Die pneumatischen Apparate (Ventile, Absperrhähne) sind auf einem zentralen Gestell im Maschinenraum aufgeschraubt.

Diese Tatsache wurde mit einer Vergleichs-Autozugskomposition dahingehend geprüft, ob es zu ungünstigen Bewegungen der diversen Schläuche kommen kann. Zu diesem Zweck wurde mit der Lokomotive eine äquivalente Schiebekraft erzeugt und über Weichen das Verhalten der verschiedenen Schläuche und Kabel in unterschiedlichen Verlegungskonstellationen zwischen Lok und Wagen statisch und dynamisch geprüft. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt, die Verbindung zwischen Lok und Rampenwagen war in allen Lagen sehr stabil. Es waren nur minimale Biege- und Streckbewegungen feststellbar.

1.12.4 Einsatz der Bremsschläuche

Gemäss Auskunft der MGB kommen bei ihnen sowohl Bremsschläuche des Typs «Benolpress» als auch solche, die über die SBB beschafft wurden zum Einsatz. Bei den sichergestellten Bremsschläuchen handelt es sich um einen Schlauch «Benolpress» (Lok) und einen Schlauch «SBB» (erster Wagen). Auf dem Bremsschlauch des ersten Wagens ist das folgende Produktionsdatum aufgeführt: SBB 04/05 (April 2005). Auf dem Bremsschlauch der Lok ist kein Produktionsdatum aufgeführt.

1.12.5 Gutachten Bremsschläuche

Zwei Bremsschläuche, einer von der Lok, der andere vom ersten Wagen, wurden zwecks Werkstoffbestimmung und Materialprüfung im Auftrag der SUST untersucht. Zusätzlich wurde, als Vergleichsobjekt, ein Hauptluftleitungsschlauch aus dem Bestand der MGB untersucht. Der Prüfbericht hält folgendes dazu fest:

Beide Schläuche erfüllen die Mindestanforderungen an die Trennfestigkeit. Beim Zerschneiden der Schläuche wurden keine Delaminationen⁶ zwischen den Innen- und den Aussenschichten festgestellt.

Im Rahmen der Druckverformungstests wurden die Schlauchschichten als gut vulkanisiert beurteilt.

Bei allen untersuchten Schläuchen konnten im Anlieferungszustand keine Ozonrisse in den Aussenschichten festgestellt werden.

Nach einer Ozonalterung wiesen beide Bremsschläuche deutliche Risse auf.

1.12.6 Bremskräfte und Bremsverhältnis

1.12.6.1 Bremsverhältnis

Der Unfallzug hatte ein Bremsverhältnis von annähernd 100 %. Gemäss Berechnungen der SUST verzögert ein Zug mit einem Bremsverhältnis von 100 % auf einer ebenen Strecke bei einer Schnellbremsung mit etwa 1 m/s². Um diese Verzögerung zu erreichen, muss pro Tonne Zugsgewicht eine Bremskraft von 1 kN aufgebracht werden. Nimmt man an, dass die Bremsleistung über den gesamten Zug gesehen einigermaßen gleichmässig verteilt ist, so bremst jedes Fahrzeug pro 1 t Gewicht mit einer Bremskraft von 1 kN.

⁶ Delamination (Enthaftung): bezeichnet das sich Ablösen von Schichten in Werkstoffverbunden.

1.12.6.2 Bremskräfte

Bei der Vorbeifahrt am Signal C31 wurde eine Zwangsbremmung eingeleitet und die elektrische Bremse stand, wie vorgesehen, nicht mehr zur Verfügung. Anhand der Aufzeichnungen im Geschwindigkeitsdiagramm konnte berechnet werden, dass dem Lokführer ab diesem Zeitpunkt bei Geschwindigkeiten über 35 km/h eine Bremskraft von 54 kN zur Verfügung stand. Als die Geschwindigkeit unter 35 km/h fiel, reduzierte sich die Bremskraft auf 33 kN.

Die automatische Druckluftbremse der Lokomotive steuert unter 35 km/h von der Hochleistungsbremse (R-Bremse) auf die Personenzugbremse (P-Bremse) um. Der Bremszylinderdruck reduziert sich dadurch. Die Lok alleine hat ein Gewicht von 64 t und folgende angeschriebenen Bremsgewichte: R = 60 t (94 %) und P = 40 t (62 %). Daraus kann gefolgert werden, dass eine Lok bei einer Geschwindigkeit > 35 km/h mit etwa 60 kN (R-Bremsgewicht = 60 t) bremst. Wenn die Geschwindigkeit < 35 km/h beträgt, bremst sie mit etwa 40 kN (P-Bremsgewicht = 40 t).

1.13 Regelungen für Bremsschläuche

1.13.1 Technische Lieferbedingungen für Elastomerschläuche für Druckluftbremskupplung (UIC-Norm 830-1 V⁷)

Die technischen Lieferbedingungen für Elastomer-Bremsschläuche sind in einer Norm der UIC geregelt. In dieser Norm sind unter anderem der Aufbau der Schläuche, die physikalischen und mechanischen Merkmale, sowie die Werte für die Bieg- und Druckfestigkeit der Schläuche definiert. Ausserdem sind in dieser Norm die Art und der Umfang der Untersuchungen und Prüfungen, denen die Schläuche zu unterziehen sind, festgelegt. Die Norm enthält eine Bestimmung, dass die maximale Lebensdauer eines Bremsschlauches 10 Jahre beträgt.

1.13.2 Bahnanwendungen – Bremskupplungen (EN 15807⁸)

Diese Norm enthält Bestimmungen, die aus der UIC-Norm 830-1 von 1981 übernommen wurden. Sie gilt für Bremskupplungen, die so gestaltet sind, dass sie entweder die Hauptluftleitung oder die Hauptluftbehälterleitung von Schienenfahrzeugen miteinander verbinden. Die EN 15807 enthält unter anderem Anforderungen an den Aufbau und die Herstellung von Hauptluftleitungen sowie für die Typprüfverfahren derselben.

⁷ UIC: Union Internationale des Chemins de fer / UIC-Norm 830-1 V: 4. Ausgabe vom 1. Juli 1981

⁸ EN 15807: Europäische Norm betreffend Bahnanwendungen – Bremskupplungen, Ausgabe vom Mai 2011

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Bremsen

Bei den Rangierfahrten in Oberwald reagierte die Komposition bezüglich dem Bremsverhalten den Erwartungen des Lokführers entsprechend. Ob vor der Abfahrt in Oberwald eine vereinfachte Bremsprobe gemacht wurde, konnte anhand der Fahrdaten nicht rekonstruiert werden. Die vereinfachte Bremsprobe wäre aus den Fahrdaten ersichtlich, wenn der Hauptleitungsdruck aufgezeichnet worden wäre.

Vor dem Bahnhof Realp wurde im Gefälle von 3 ‰ die Geschwindigkeit von 76 km/h auf 64 km/h reduziert. Diese Geschwindigkeitsreduktion wurde nach der Aussage des Lokführers allein mit der automatischen Bremse erreicht. Es ist nicht bekannt, ob er bei dieser Bremsung die Luftbremse des Triebfahrzeuges ausgelöst hat. Wurde sie ausgelöst, so hat die Anhängelast die Bremsung bewirkt und man dürfte davon ausgehen, dass in diesem Moment die Hauptluftleitungsverbindung zwischen Lok und Anhängelast noch in Ordnung war. Wurde sie dagegen nicht ausgelöst, so hat das Triebfahrzeug gebremst und wäre in der Lage gewesen, die benötigte Bremskraft alleine aufzubringen, was heissen würde, dass bereits in diesem Moment die Hauptluftleitungsverbindung unterbrochen war. Aufgrund der vorhandenen Fahrdaten konnte dies nicht geklärt werden. Dazu fehlen die Aufzeichnungen des Hauptleitungsdrucks, der elektrischen Bremskraft der Lok und des Bremszylinderdrucks der Lok. Zusätzlich fehlt das Signal, ob die automatische Bremse durch den Lokführer ausgelöst wurde.

Der gleiche Lokführer fuhr eine Stunde zuvor mit derselben Autozugkomposition einen Autozug von Oberwald nach Realp. Vergleicht man die beiden Geschwindigkeitsdiagramme auf den letzten 2 km, so stellt man bis zu dem Zeitpunkt, wo die Haltbremsung eingeleitet wird, eine weitgehende Übereinstimmung fest (Kapitel 1.10.1.3). Ab dem Punkt, wo im Normalfall die Haltbremsung eingeleitet wird, beginnt eine Verzögerung von ca. 0.15 m/s. Diese Verzögerung ist, im Vergleich zu anderen Autozügen, rund dreimal schwächer.

Auch das Auslösen der Zwangsbremse brachte keine wesentlich stärkere Verzögerung. Da die Luft bei einer Zwangsbremse zusätzlich über das Elektroventil E243 entweicht, kann man davon ausgehen, dass sich die Hauptluftleitung innerhalb der Lok entleert hat. Die automatische Bremse der Lok war somit wirksam.

Die erreichte Bremswirkung liegt deutlich unter dem Wert, den ein Zug mit einem Bremsverhältnis von 96% erreichen sollte. Die erreichte Verzögerung entspricht dem Wert, den der Zug erreichen kann, wenn nur die Lok bremst.

2.1.2 Bremsverhalten

Der Lokführer sagte aus, dass er vor der Verloaderampe eine Vollbremsung eingeleitet und weiterhin elektrisch gebremst habe. Dazu musste er die automatische Bremse an der Lok auslösen. Bei der Vorbeifahrt am «Halt» zeigenden Signal C31 sei die elektrische Bremse ausgefallen. Dies war die Folge des Eingriffs der Zugsicherung ZSI-90. Bei einer Vorbeifahrt an einem «Halt» zeigenden Signal bewirkt die Zugsicherung eine Entleerung der Hauptluftleitung und schaltet den Hauptschalter aus. Wenn der Autozug ab dem Zeitpunkt der Zwangsbremmung eine normale Bremswirkung aufgebaut hätte, wäre der Zug vor dem Prellbock zum Stehen gekommen.

Aufgrund der schlechten Bremswirkung konzentrierte sich die SUST bei der Ursachenforschung auf die Lok und den ersten Wagen. Wenn die Störung weiter hinten im Zug aufgetreten wäre, hätte eine bessere Bremswirkung erzielt werden können.

Das bestätigen folgende Berechnungen: Nimmt man an, dass die Bremsleistung über den gesamten Zug gesehen einigermaßen gleichmässig verteilt ist, so bremst jedes Fahrzeug pro 1 t Gewicht mit einer Bremskraft von 1 kN. Demnach war die Lok alleine (Bremskraft 60 kN) in der Lage, die berechneten Bremskräfte aufzubringen.

Hätten die beiden ersten Wagen mitgebremst, so hätte dies bei einem Wagengewicht von je 23 t eine um insgesamt 46 kN höhere Bremskraft ergeben. Bei einer Geschwindigkeit von >35 km/h hätte die Bremskraft 106 kN betragen. Der Zug wäre somit 61 m vor dem Prellbock zum Stehen gekommen (Abbildung 12, Szenario Zug D).

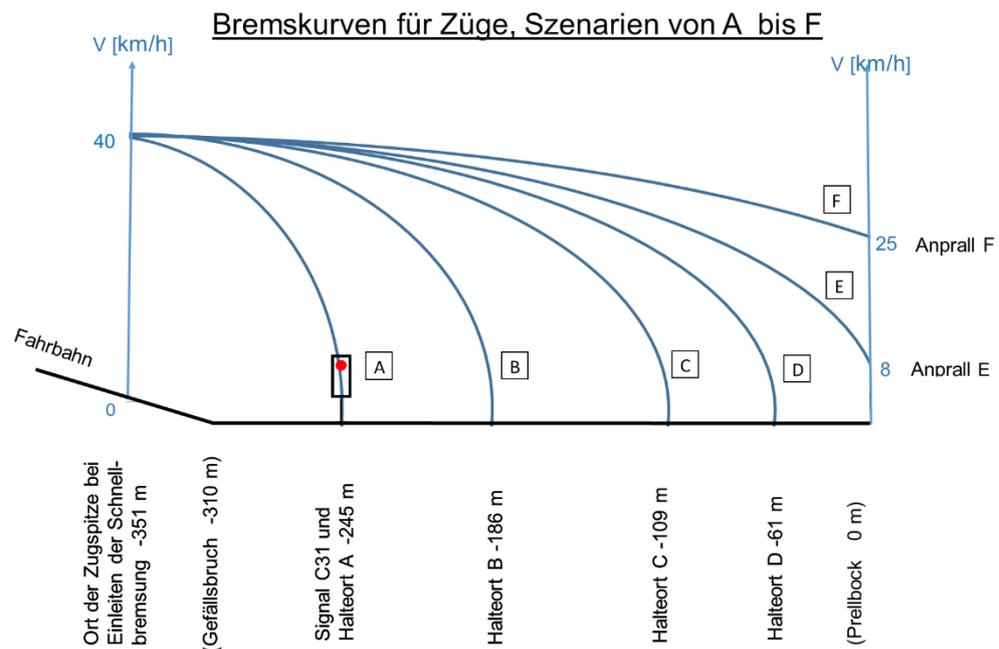


Abbildung 12: Diese Abbildung zeigt, an welchem Ort der Autozug zu stehen gekommen bzw. wie schnell er in den Prellbock gefahren wäre in Funktion einer unterschiedlichen Anzahl bremsender Fahrzeuge.

- Szenario Zug A: Der ganze Zug bremst.
- Szenario Zug B: Die Lok und die vordersten 6 Wagen bremsen.
- Szenario Zug C: Die Lok und die vordersten 3 Wagen bremsen.
- Szenario Zug D: Die Lok und die vordersten 2 Wagen bremsen.
- Szenario Zug E: Die Lok und der vorderste Wagen bremsen.
- Szenario Zug F: Die Lok bremst alleine.

Die Bilder der Videoaufzeichnung zeigen eine ruckartige Bremsung der Wagen. Der Zeitpunkt dieser Bremsung lässt sich auf den Moment festsetzen, als die Bremsverbindung zwischen der Lok und dem ersten Wagen durch den Aufprall beschädigt wurde. Daraus lässt sich schliessen, dass erst in diesem Moment die Hauptluftleitung der Anhängelast abgesenkt bzw. entleert wurde.

Die Beschädigungen zwischen der Lok und dem ersten Wagen führten zu einer Auftrennung der Luftverbindung zwischen der Lok und der Anhängelast. Dies ist die einzige mechanische Veränderung, die sich an der Hauptluftleitung ergab. Hätten der erste oder weitere Wagen vorher mitgebremst, so wäre deren Hauptluftleitung vor dem Unfall entleert gewesen.

Daraus kann geschlossen werden, dass der Zug nach der Ausfahrt aus dem Tunnel nur mit der elektrischen Bremse gebremst wurde. Nach dem Signal C31 bremste die Lok alleine und ausschliesslich mit der automatischen Druckluftbremse.

2.1.3 Bremsverbindungen

2.1.3.1 Schläuche

Die auf der Lok als Schläuche ausgeführten Teile der Hauptluftleitung konnten lückenlos kontrolliert werden, diese waren allesamt durchgängig.

Die Materialprüfung der Bremsschläuche ergab folgenden Befund:

Aufgrund der durchgeführten Werkstoffprüfungen und anhand der zur Verfügung stehenden Informationen und Unterlagen, konnten an den unfallbeteiligten Bremsschläuchen keine auffälligen, werkstofftechnischen Schwachstellen nachgewiesen werden. Dass die Schläuche, nach einer künstlich herbeigeführten «Ozonalterung», die Anforderungen für neue Schläuche nicht erfüllen, scheint in Anbetracht des Alters plausibel.

Der sichergestellte Schlauch des ersten Wagens des Autozuges war zum Ereigniszeitpunkt mehr als 10 Jahre alt. Gemäss der massgebenden EN 15807 beträgt die maximale Lebensdauer eines Bremsschlauches 10 Jahre. Die Untersuchung brachte aber keine Hinweise, dass diese Überschreitung der Lebensdauer für das Ereignis relevant gewesen wäre.

2.1.3.2 Rohre

Die auf der Lok als Rohre ausgeführten Teile der Hauptluftleitung konnten lückenlos kontrolliert werden, diese waren allesamt durchgängig.

2.1.3.3 Hähne

Die auf der Lok im Bereich der Hauptluftleitung vorhandenen Hähne konnten lückenlos kontrolliert werden, diese waren allesamt durchgängig.

2.1.3.4 Pneumatik

Anhand des Pneumatikschemas der Lok wurde untersucht, ob eine ungewollte Nachspeisung der Hauptluftleitung möglich gewesen wäre. In jedem Fall hätten zwei Elemente gleichzeitig versagen müssen. Und da sowohl das Führerbremssventil wie auch das Elektroventil E243 der Sicherheitseinrichtungen die Hauptluftleitung entleerten, ist es ausgeschlossen, dass ein undichtes Element die Hauptluftleitung derart hätte nachspeisen können.

2.1.3.5 Verbindungen Lok – erster Wagen

Die Hauptluftleitung und die Heizleitung werden bei den Autozügen in zwei unterschiedlichen Arten verbunden. In der Regel wird die Variante mit überkreuzten Leitungen gewählt.

Aufgrund der durchgeführten Fahrversuche kommt die SUST zum Schluss, dass die Verbindung in allen Konstellationen so stabil ist, dass es bei beiden Arten des Verbindens nicht zu einem Knicken der Bremsschläuche kommen kann.

2.2 Menschliche Aspekte

Der Lokführer verfügte über eine langjährige Berufserfahrung und war mit den Fahrzeugen und den örtlichen Verhältnissen des Autoverlads vertraut.

Er führte den Autozug, bis zum Punkt, an dem normalerweise die Haltbremsung erfolgt, nahezu identisch wie eine Stunde zuvor. Es ist daher nachvollziehbar, dass er bis zu diesem Zeitpunkt keine Alarmzeichen wahrnahm und von einer normalen Bremsung ausging. Sobald er bemerkte, dass die Bremsung nicht wie erwartet ausfiel, reagierte er richtig.

Beim Vorbeifahren am «Halt» zeigenden Signals C31 wurde eine Zwangsbremmung ausgelöst. Die Bremswirkung des Autozuges blieb ungenügend. Die Zwangsbremmung wirkt unabhängig von den Bedienhandlungen des Lokführers. Dieser Umstand lieferte die Bestätigung, dass die Ursache der ungenügenden Bremswirkung technischer Natur war. Bei einem Bedienfehler des Lokführers hätte ab dem Zeitpunkt der Zwangsbremmung die normale Bremswirkung aufgebaut werden können. Der Lokführer verhielt sich situationsgerecht. Nachdem er die Vollbremsung eingeleitet hatte, blieben ihm keine Möglichkeiten, den weiteren Hergang zu beeinflussen.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Aufgrund der Fahrdaten kann keine Aussage gemacht werden, ab wann die Bremsen des Autozuges nicht mehr richtig funktionierten.
- Für die Rekonstruktion des Hergangs fehlen die Aufzeichnungen des Hauptleitungsdrucks, der elektrischen Bremskraft der Lok, des Bremszylinderdrucks in der Lok und das Signal, ob die automatische Bremse durch den Lokführer ausgelöst wurde. Die Aufzeichnung dieser Daten ist nicht vorgeschrieben.
- Nach dem Auslösen der Vollbremsung konnte keine genügende Bremsleistung erreicht werden. Auch das Ansprechen der Zugsicherung bei der Vorbeifahrt am «Halt» zeigenden Signal verstärkte die Bremsung nicht.
- Die elektrische und die automatische Bremse der Lok funktionierten. Die erreichte Verzögerung des Zuges wurde von der Lok erzeugt.
- Die Anhängelast bremste erst nach dem Aufprall der Wagen auf die Lok.
- Die Bremsschläuche der Lok und des ersten Wagens waren in Ordnung, sie wiesen keine auffälligen, werkstofftechnischen Schwachstellen auf.
- Die Bestandteile der Hauptluftleitung (Röhren, Schläuche, Hähne) waren alleamt durchgängig.
- Die Schlauchverbindung zwischen der Lok und dem ersten Wagen war während der Testfahrten in allen Konstellationen sehr stabil, es gibt keine Anhaltspunkte für ein Knicken der Hauptluftleitung.

3.1.2 Menschliche Aspekte

Der Lokführer verhielt sich situationsgerecht. Er versuchte, mit seinem Verhalten die grösstmögliche Bremswirkung zu erreichen.

3.2 Ursachen

Die Kollision eines Autozuges mit einem Hindernis bei der Einfahrt in den Bahnhof Realp ist darauf zurückzuführen, dass der Zug keine genügende Bremswirkung aufbauen konnte.

Die erreichte Bremswirkung lässt den Schluss zu, dass nur die Lok gebremst hat. Die Ursache für die ungenügende Bremswirkung lag mit grosser Wahrscheinlichkeit in der Verbindung zwischen der Lok und dem ersten Wagen. Aufgrund der durch den Unfall verursachten Beschädigungen konnte die Ursache der ungenügenden Bremswirkung nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Bei der Vorbeifahrt an einem «Halt» zeigenden Hauptsignal wurde eine Zwangsbremse ausgelöst. Da die Bremswirkung auch dort ungenügend blieb, steht als Ursache ein technisches Versagen der Verbindung der Hauptluftleitung der Lok und des ersten Wagens im Vordergrund.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Keine.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass in den Fahrdaten nicht alle für eine Sicherheitsuntersuchung relevanten Daten aufgezeichnet werden. Die SUST wird zu dieser Thematik zu einem späteren Zeitpunkt eine separate Studie verfassen.

4.2 Sicherheitshinweise

Keine

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Der SUST sind keine getroffenen Massnahmen bekannt.

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, 14. August 2018

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle