



Schlussbericht

der Schweizerischen

Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über das Entlaufen einer Rangierkomposition

vom 1. September 2016

in Andermatt (UR)

Reg.-Nr.: 2016090101

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 Ort des Unfalls	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 Fahrzeuge.....	9
1.4.4 Umwelt	9
1.5 Beteiligte und betroffene Personen	10
1.5.1 Lokführer	10
1.5.2 Fahrdienstleiter	10
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen	10
1.6.1 Infrastruktur	10
1.6.2 Transportunternehmung.....	10
1.6.3 Fahrzeugeigentümer	10
1.7 Infrastruktur.....	11
1.7.1 Bahnhof Andermatt	11
1.7.2 Stellwerk	11
1.7.3 Strecke von Andermatt nach Göschenen	12
1.8 Fahrzeuge.....	13
1.8.1 Übersicht.....	13
1.8.2 Rangiertraktor	13
1.8.3 Reisezugwagen.....	20
1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung.....	21
1.9.1 Fahrdaten.....	21
1.9.2 Stellwerkdaten.....	22
1.9.3 Gesprächsaufzeichnung.....	22
1.9.4 Stationskamera	22
1.10 Besondere Untersuchungen.....	24
1.10.1 Wetter	24
1.10.2 Windlast auf die Fahrzeuge.....	24

1.10.3 Rangierbremsventil	25
1.10.4 Bremsklötze der Feststellbremse	26
1.10.5 Funktionsüberprüfung des Feststellbremssystems	28
1.10.6 Rechnerische Simulation des Entlaufens	30
1.10.7 Rollversuche	31
1.10.8 Austausch der Bremsklötze der Feststellbremse	31
1.11 Grundlagen zu den Bremsen.....	32
1.11.1 Mindestens erforderliche Festhaltekraft.....	32
1.11.2 Spezifischer Druck eines Bremsklotzes und Reibungskoeffizient	33
2 Analyse.....	34
2.1 Technische Aspekte.....	34
2.1.1 Festhaltekraft der Feststellbremse des Rangiertraktors.....	34
2.1.2 Rangierbremsventil	34
2.1.3 Windlast	34
2.1.4 Verfärbung an den Reibflächen der Bremsklötze der Feststellbremse.....	35
2.1.5 Rechnerische Simulation des Entlaufens	35
2.1.6 Einflüsse auf die Bremsklotzkraft der Feststellbremse.....	35
2.1.7 Anwenden der Feststellbremse bei Ausfall der Rangierbremse.....	36
2.2 Organisatorische Aspekte	37
3 Schlussfolgerungen	38
3.1 Befunde	38
3.1.1 Technische Aspekte	38
3.1.2 Organisatorische Aspekte	38
3.2 Ursachen.....	39
4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen	40
4.1 Sicherheitsempfehlungen.....	40
4.1.1 Bremskonzept Feststellbremse	40
4.1.2 Vorgaben für die Einstellung und die Überprüfung der Feststellbremse	41
4.2 Sicherheitshinweise	41
4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	41

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel	Eisenbahn	
Beteiligte Unternehmen		
Transportunternehmen	Matterhorn Gotthard Bahn Verkehrs AG (MGB), Brig	
Infrastrukturunternehmen	Matterhorn Gotthard Bahn Infrastruktur AG (MGB), Brig	
Beteiligte Fahrzeuge	Rangiertraktor Tm 4972	MGB
	Reisezugwagen BDk 2236	MGB
	Steuerwagen Abt 4194	MGB
	Reisezugwagen BDk 2237	MGB
	Steuerwagen Abt 4193	MGB
Ort	Andermatt (UR)	
Datum und Zeit	1. September 2016, 07:51 Uhr	

Untersuchung

Am 1. September 2016 um 08:40 Uhr traf die Meldung über das Entlaufen einer Rangierkomposition in Andermatt beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein und es wurde eine Untersuchung eröffnet.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme vor Ort;
- Fotos, vor Ort aufgenommen;
- Fahrdaten;
- Aufzeichnung Stationskamera;
- Wetterdaten;
- Rollversuche;
- Technische Unterlagen zum Rangiertraktor;
- Untersuchung der Fahrzeuge;
- Untersuchung von Bremskomponenten;
- Befragungen der Beteiligten.

Kurzdarstellung

Am 1. September 2016 um 07:51 Uhr rollte ein führerloser Rangiertraktor mit vier angekuppelten Reisezugwagen vom Abstellgleis aus dem Bahnhof Andermatt weg in Richtung Göschenen. Unterhalb der Teufelsbrücke entgleisten die Fahrzeuge in der Galerie Bänzberg und wurden dadurch gestoppt. Es befanden sich keine Personen in den Fahrzeugen. An der Infrastruktur und den Fahrzeugen entstand ein sehr grosser Sachschaden. Der Bahnbetrieb zwischen Andermatt und Göschenen war mehrere Tage unterbrochen.

Ursachen

Das Entlaufen von in einem Gefälle abgestellten Fahrzeugen ist auf eine ungenügende Festhaltekraft der Feststellbremse des Rangiertraktors zurückzuführen, da die Bauart des Bremsgestänges die benötigte Reibungskraft nicht sicherstellen konnte.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Durch das von der Rangierbremse unabhängige Bremsgestänge der Feststellbremse rieben die Bremsklötze nie gegen das drehende Rad und wurden nie an die Radlauffläche angepasst, gereinigt und aufgeraut.
- Die fehlende Vorschrift für die Einstellung und Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse.

Der folgende Faktor war zwar im vorliegenden Unfall weder ursächlich noch beitragend, wurde aber als risikoreich erkannt:

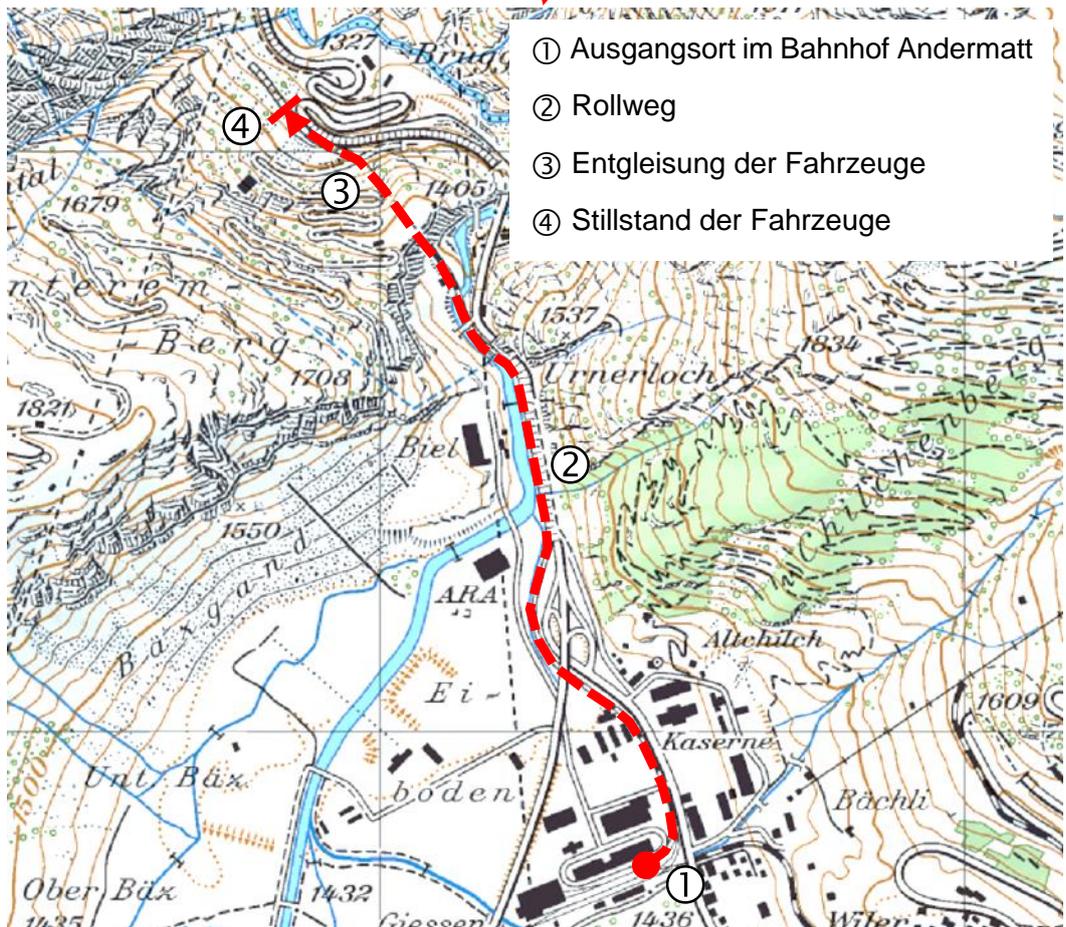
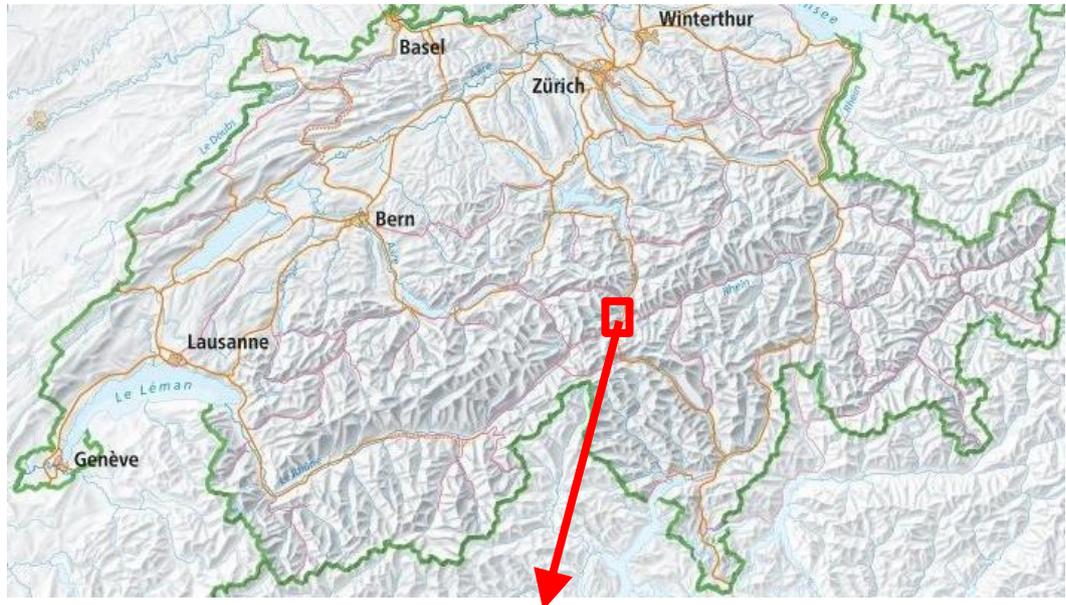
Bei einem Ausfall der Rangierbremse ist nur noch die Feststellbremse auf dem Rangiertraktor wirksam. Unter diesem Aspekt ist es sicherheitsrelevant, dass die Feststellbremse mindestens die Festhaltekraft für ein Gefälle von bis zu 40 ‰ sicherstellt. Die aktuelle Feststellbremse erfüllt diese Anforderung nicht.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht werden zwei Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Unfalls



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zur Unfallstelle. Basiskarten reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopografie.

1.2 Vorgeschichte

Mit einem zweiachsigen Rangiertraktor rangierte die Matterhorn Gotthard Bahn (MGB) in Andermatt verschiedene Reisezugwagen. Es wurden Verstärkungswagen von ankommenden Reisezügen weggenommen oder an Reisezügen zusätzlich angehängt.

Am 31. August 2017 um 18:50 Uhr wurden vier Reisezugwagen zusammen mit dem Rangiertraktor am östlichen Ende von Gleis 4 abgestellt. Dieser Ort wird Kurve 4 genannt (Abbildung 4).

1.3 Ablauf des Ereignisses

Am 1. September 2017 wurde um 06:45 Uhr bei der Fahrzeugkomposition in Kurve 4 am ersten Reisezugwagen Seite Göschenen die Handbremse festgezogen und der Rangiertraktor abgekuppelt. Die Reisezugwagen blieben stehen und mit dem Rangiertraktor wurden verschiedene Rangierarbeiten im Bahnhof Andermatt ausgeführt.

Um 07:40 Uhr fuhr der Rangiertraktor von der Seite Göschenen her wieder bis zu den in Kurve 4 stehenden Reisezugwagen und wurde mit ihnen gekuppelt. Auf dem Rangiertraktor wurde das Rangierbremsventil auf der linken Seite des Führertisches in die Vollbremsstellung verbracht und die Feststellbremse betätigt. Zwischen dem Rangiertraktor und den Wagen wurden die Schraubenkupplung beidseitig sowie die Vakuumleitung auf der in Fahrtrichtung Göschenen linken Seite verbunden. Die Handbremse des ersten Reisezugwagens wurde wieder gelöst.

Der Lokführer kontrollierte noch einmal, ob das Rangierbremsventil beim Rangiertraktor in der Vollbremsstellung stand. Danach entfernte er sich von den abgestellten Fahrzeugen, um bei anderen Rangierarbeiten mitzuhelfen.

Um 07:48 Uhr fuhr ein Reisezug pünktlich aus dem Bahnhof Andermatt ab Richtung Göschenen.

Um 07:49:38 Uhr meldete der Fahrdienstleiter von Andermatt über Funk dem Rangierlokführer, dass die Fahrzeugkomposition ab Kurve 4 ohne Zustimmung Richtung Göschenen rollt und sofort versucht werden muss, die Fahrzeuge aufzuhalten.

Die Rangierkomposition rollte über den kurz nach dem Bahnhof mit Blinklicht gesicherten, aber nicht eingeschalteten Bahnübergang „Gotthardstrasse“.

Der Rangierlokführer, der den Rangiertraktor in Kurve 4 abgestellt hatte, rannte vom Depot Andermatt her in Richtung Göschenen den entlaufenen Fahrzeugen nach.

Unterdessen verständigte der Fahrdienstleiter den Lokführer des in Richtung Göschenen vorausfahrenden Reisezuges über die Möglichkeit, von entlaufenen Fahrzeugen eingeholt zu werden. Der Lokführer forderte die Reisenden mit einer Durchsage auf, sich in den vorderen Teil des Zuges zu begeben.

Bevor der den entlaufenen Fahrzeugen nachrennende Rangierlokführer die Fahrzeuge sehen konnte, vernahm er im Tunnel zur Galerie Bözberg einen Lärm.

Der Rangiertraktor und die ersten beiden Wagen entgleisten in der Linkskurve rund 50 m nach der Tunneleinfahrt. Die Fahrzeuge stiessen an der Entgleisungsstelle gegen den Rand einer Nische und schrammten danach der Tunnelwand entlang. Die Führerkabine des Rangiertraktors wurde zum grossen Teil weggerissen und verschiedene Teile des Führerstands beschädigt. Der Rangiertraktor kam beim Übergang vom Tunnel zur einseitig geöffneten Galerie Bözberg zum Stehen.



Abbildung 3: Entgleister Rangiertraktor mit abgerissenem Führerhaus (die Silhouette des Rangiertraktors ist durch die gepunktete Linie hinzugefügt).

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Es wurden keine Personen verletzt.

1.4.2 Infrastruktur

Ab dem Ort der Entgleisung entstanden grosse Schäden an einer Tunnelnische, der Tunnelwand, den Gleisen, der Zahnstange und dem Oberbau. Die Fahrleitung wurde heruntergerissen.

1.4.3 Fahrzeuge

Der Rangiertraktor und die Reisezugwagen wurden durch den Anprall an der Kante einer Tunnelnische und dem Entlangschrammen an der Tunnelwand sehr stark beschädigt.

1.4.4 Umwelt

Eine Treibstoffleitung des Rangiertraktors wurde aufgerissen und Dieselkraftstoff versprüht. Die Menge des ausgelaufenen Treibstoffs ist nicht bekannt.

1.5 Beteiligte und betroffene Personen

1.5.1 Lokführer

Person	Jahrgang 1967 Anstellung bei MGB Dienstort Andermatt
Berechtigung	BAV ¹ -Ausweis Kategorie A
Letzte Befähigungsprüfung	Periodische Prüfung und ärztlicher Untersuchung im März 2014
Werdegang	Er hat im Jahr 1988 seine Ausbildung bei der MGB begonnen und arbeitet seitdem im Rangierbereich.
Einsatzzeiten vor dem Ereignistag	29.08.2016, von 13:00 Uhr bis 20:30 Uhr, 30.08.2016, von 12:00 Uhr bis 19:30 Uhr, 31.08.2016, von 12:00 Uhr bis 19:30 Uhr.
Arbeitsbeginn am Ereignistag	05:00 Uhr
Dienstzeit bis zum Ereignis	02:51 Std
Medizinische Feststellungen	Der Alkoholtest ergab 0.00 ‰.

1.5.2 Fahrdienstleiter

Person	Jahrgang 1963 Anstellung bei MGB Dienstort Andermatt
Werdegang	Er ist seit 32 Jahren als Fahrdienstleiter in Andermatt tätig.

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

1.6.1 Infrastruktur

Matterhorn Gotthard Bahn Infrastruktur AG, Brig

1.6.2 Transportunternehmung

Matterhorn Gotthard Bahn Verkehrs AG, Brig

1.6.3 Fahrzeugeigentümer

Matterhorn Gotthard Bahn Verkehrs AG, Brig

¹ Bundesamt für Verkehr

1.7 Infrastruktur

1.7.1 Bahnhof Andermatt

Der Bahnhof Andermatt liegt auf 1440 m/M, dehnt sich über eine Länge von rund 300 m aus und verfügt über vier für den Zugang von Reisenden nutzbare Gleise. Im Bahnhof führen die Strecken von Disentis über den Oberalppass, von Brig über Hospental und von Göschenen zusammen. Die Gleisanlage verfügt über verschiedene Abstellgleise sowie über mehrere Gleise, die in das Depot führen (Abbildung 4).

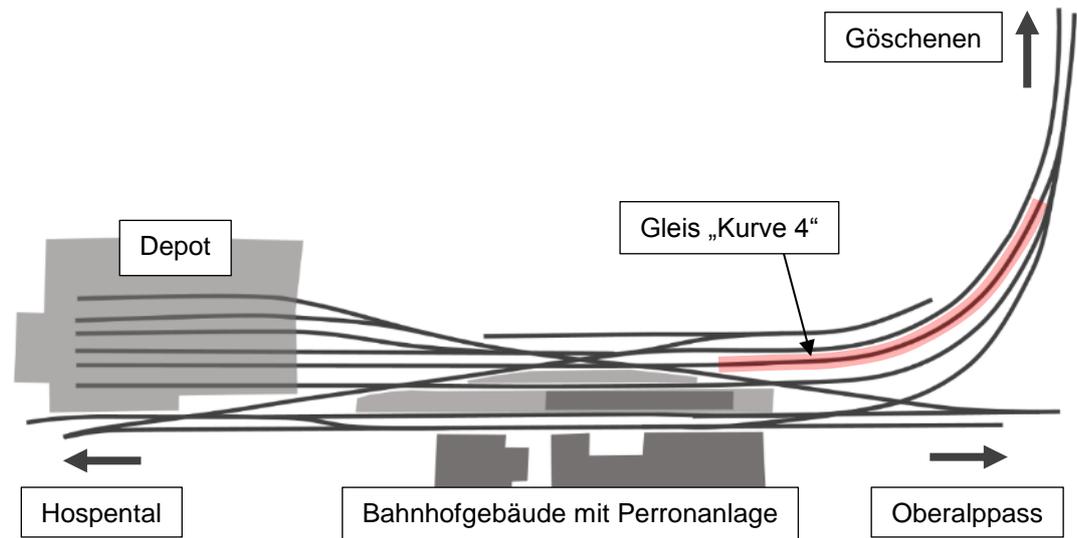


Abbildung 4: Übersicht Bahnhof Andermatt

1.7.2 Stellwerk

1.7.2.1 Beschreibung

Das vorhandene Stellwerk in Andermatt verfügt nicht über die Funktion, gesicherte Rangierfahrstrassen einzustellen. Die Weichen werden einzeln bedient. Das Aufschneiden einer Weiche löst einen Stellwerkalarm aus.

1.7.2.2 Feststellung

Das Stellwerk funktionierte wie vorgesehen. Die Bedienung der Sicherungsanlage hatte keinen Einfluss auf den Unfallablauf.

1.7.3 Strecke von Andermatt nach Göschenen

Ab der Kurve 4 im Bahnhof Andermatt weist das Gleis auf einer Strecke von 493 m ein Gefälle von durchschnittlich 12.17 ‰ auf. Der Höhenunterschied beträgt rund 5 m. Es geht danach über eine Strecke von 510 m in eine sanfte Steigung von durchschnittlich 2.5 ‰ über, womit ein Höhenzuwachs von rund 1 m erfolgt. Danach folgt die Zahnstangenstrecke. Bis zum Ort, an der die entgleisten Fahrzeuge zum Stillstand kamen, weist das Gleis über eine Strecke von 445 m ein Gefälle von durchschnittlich 130.33 ‰ auf. Der Höhenunterschied beträgt dabei rund 58 m.

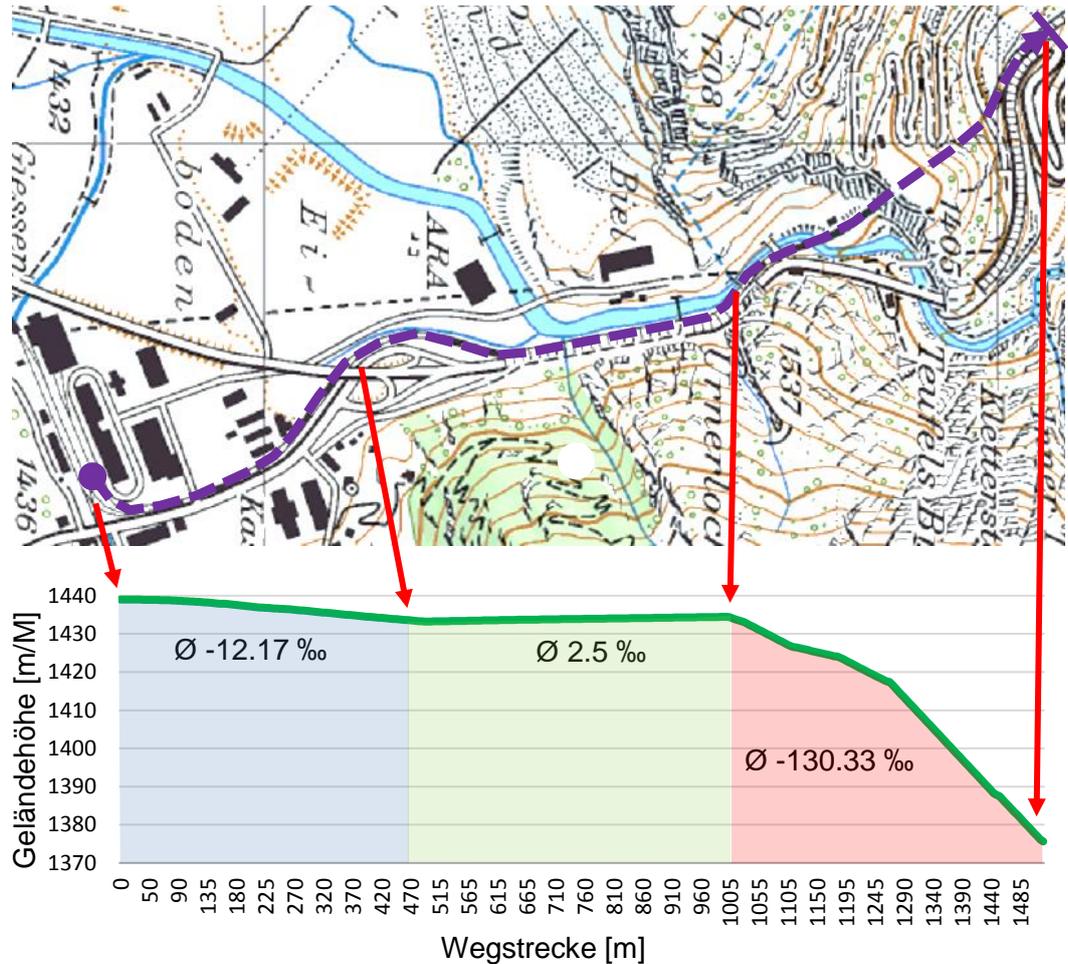


Abbildung 5: Streckenprofil ab Andermatt bis zum Stillstand der entlaufenen Fahrzeuge (gezeichnete grüne Linie entspricht nicht den tatsächlichen Neigungswinkeln). Basiskarte reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopografie Swisstopo (JA150149).

1.8 Fahrzeuge

1.8.1 Übersicht

Fahrzeug	Nummer	Länge	Masse	Festhaltekraft ²
Rangiertraktor	Tm 4972	7.2 m	21.8 t	11 t (11 kN)
Reisezugwagen	BDk 2236	18.5 m	17.8 t	ungebremst
Steuerwagen	ABt 4194	17.02 m	14.2 t	ungebremst
Reisezugwagen	BDk 2237	18.5 m	17.7 t	ungebremst
Steuerwagen	ABt 4193	17.02 m	14.2 t	ungebremst
Total		78.24 m	85.7 t	11 t (11 kN)

1.8.2 Rangiertraktor

1.8.2.1 Beschreibung

1.8.2.1.1 Allgemein

Die Firma Christoph Schöttler Maschinenfabrik GmbH (Schoema) aus Diepholz, Deutschland, hatte 1961 für eine schmalspurige Werksbahn zwei zweiachsige Diesellokomotiven geliefert. Die ehemalige Furka-Oberalp-Bahn (FO) hat die Lokomotiven 1976 übernommen, für die Schweizer Verhältnisse anpassen lassen und als Baudienst- und Rangiertraktoren Tm 2/2 4971 und Tm 2/2 4972 in Dienst gestellt. Mit der Fusion der FO und der Brig-Visp-Zermatt-Bahn (BVZ) zur MGB im Jahr 2003 gingen die Fahrzeuge in deren Besitz über (Abbildung 6).

1.8.2.1.2 Antrieb

Der Antrieb des Rangiertraktors erfolgt von einem 12-Zylinder-Deutz-Motor dieselhydraulisch über ein hydrodynamisches Voith-Getriebe. Beide Lokomotiven haben eine Vielfachsteuerung und können somit auch in Doppeltraktion vor schwereren Zügen eingesetzt werden. Die druckluftbetätigte Motor- und Getriebesteuerung erlaubt es, die erforderlichen Steuervorgänge zur Regelung der Fahrgeschwindigkeit in einem Handrad zu vereinigen. Die Tätigkeit des Lokführers beschränkt sich im Fahrbetrieb lediglich auf die Betätigung des Handrades und der Bremse (Abbildung 7). Die Bedienungsbühne ist zentral angeordnet und von allen Seiten zugänglich.

Die durch den Dieselmotor erzeugte mechanische Energie wird über ein Voith-Turbogetriebe an die zwei Triebradsätze des Tm übertragen. Direkt am Voith-Turbogetriebe ist ein Wendegetriebe angeschraubt. Die Wendeschaltung erfolgt durch einen auf dem Führerpult eingebauten Hebel. Die Umschaltung zwischen den Stellungen Vorwärts – Null – Rückwärts ist nur im Stillstand möglich.

Die Betriebsvorschriften schreiben bei der Ausserbetriebssetzung des Fahrzeuges vor, dass der Wendschalter auf Position Null zu stellen ist.

² Festhaltekraft ist die Bezeichnung gemäss den Schweizerischen Fahrdienstvorschriften vom 2. November 2015 (FDV), Stand 1. Juli 2016 (SR 742.173.001):

Anschriften in der Einheit Tonnen (t) sind gemäss folgender Regel einzusetzen: 1 t (Bremsgewicht) wird als 1 kN (Festhaltekraft) angerechnet.



Abbildung 6: Typengleicher Rangiertraktor

1.8.2.1.3 Einsatz auf der Strecke

Der Rangiertraktor verfügt nicht über ein Antriebs- oder ein Bremszahnrad für die Zahnstangenstrecken. Er kann deshalb nicht als Triebfahrzeug auf Zahnstangenstrecken eingesetzt werden. Er kann die Adhäsionsstrecken der MGB mit Gefällen von bis zu 40 ‰ befahren.

1.8.2.1.4 Rangierbremsventil

Über das Rangierbremsventil (Abbildung 7) wird ein Bremsdruck von maximal 5 bar direkt auf den Bremszylinder gegeben, wodurch über das Gestänge der Rangierbremse die Bremsklötze gegen die Triebräder gepresst werden. Um das einwandfreie Lösen des Bremszylinders zu gewährleisten ist ein Auslassventil eingebaut. Mit dem Rangierbremsventil kann stufenweise gebremst werden.

1.8.2.1.5 Funktionsweise Rangierbremsventil

Wird der Bedienhebel des Rangierbremsventils aus der Abschlusstellung nach hinten gezogen, strömt Luft zum Bremszylinder für die Rangierbremse. Der Bremszylinder bewegt ein Bremsgestänge und der Rangiertraktor wird gebremst. Wird der Hebel wieder in die Abschlusstellung gebracht, wird die Speisung des Bremszylinders unterbrochen und der Rangiertraktor bremst mit der eingeregelter Bremskraft. Wird der Hebel nach vorne gedrückt, strömt die Luft aus dem Bremszylinder über das Rangierbremsventil ins Freie und die Bremse wird gelöst. Das Ausströmen der Luft kann unterbrochen werden, indem der Hebel in die Abschlusstellung gebracht wird und der Rangiertraktor bremst mit einer geringeren Bremskraft. Derart ist ein stufenloses Bremsen und Lösen möglich. Wird der Hebel vollständig um die möglichen rund 90 Grad nach hinten in die Vollbremsstellung gezogen, rastet er ein und die volle Bremswirkung wird erzielt. In dieser Stellung werden allfällige Luftverluste stetig nachgespeist, da weiterhin Luft über das Rangierbremsventil zum Bremszylinder strömen kann.

1.8.2.1.6 Führerbremseventil für die automatische Bremse

Die automatische Bremse des Rangiertraktors ist eine indirekte Druckluftbremse. Über ein druckluftgesteuertes Vakuum-Relaisventil wird die Vakuum-Hauptleitung für die Zugsbremse gesteuert. Mit dem Führerbremseventil (Abbildung 7) wird der Steuerdruck in der Verbindungsleitung zum Vakuum-Relaisventil von 5 auf 0 bar abgesenkt. Proportional zur Druckabsenkung des Steuerdrucks von 5 auf 3.5 bar wird das Vakuum in der Vakuum-Hauptleitung vom Regelvakuum 52 cm Hg auf 0 zerstört. Der angehängte Zug wird somit gebremst. Durch das Absenken der Vakuum-Hauptleitung kann somit Druckluft in den Bremszylinder für die Rangierbremse einströmen und über ein Bremsgestänge werden die Bremsklötze an die Triebräder des Rangiertraktors gepresst.

Die automatische Bremse wird benutzt, um Züge mit Anhängelast zu führen. Im Zusammenhang mit dem hier vorliegenden Unfall ist die automatische Bremse nicht relevant.

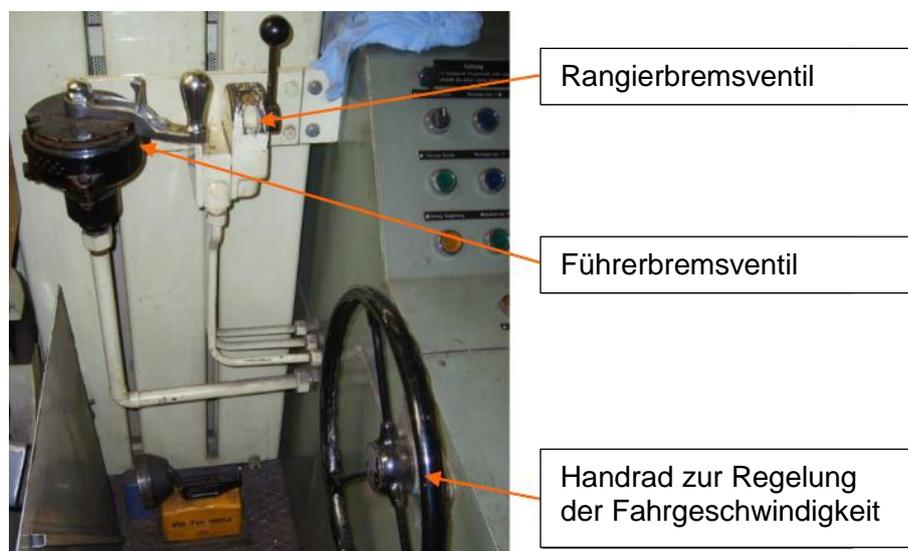


Abbildung 7: Bedienungseinrichtung auf der linken Führerstandseite

1.8.2.1.7 Feststellbremse

Bei der Auslieferung des Rangiertraktors war die Feststellbremse als Spindelhandbremse ausgeführt. Durch das Drehen der Handbremskurbel wurde über verschiedene Hebelumlenkungen je ein Grauguss-Bremsklotz einseitig an je ein Rad einer Achse gepresst.

Die MGB nahm im Jahr 2008 einen Umbau vor. Danach wurde anstelle der Bedienung über eine Handbremskurbel das Gestänge der Feststellbremse mittels eines Federspeicherbremszylinders bewegt. Durch einen, im Innern als Kugelhahn ausgeführten Lufthahn im Führertisch wird in der Stellung „Stillhaltebremse los“ Druckluft in den Federspeicherzylinder geleitet. Die Druckluft drückt die Feder im Innern des Federspeicherbremszylinders zusammen und über die Hubstange wird das Bremsgestänge so bewegt, dass sich die Bremsklötze weg von der Reibfläche am Rad bewegen. Wird der Lufthahn in die Stellung „Stillhaltebremse fest“ bewegt, entweicht die Druckluft aus dem Federspeicherbremszylinder ins Freie, die Feder im Innern entspannt sich und das Bremsgestänge wird mittels der Federkraft so bewegt, dass die Bremsklötze an die Räder gepresst werden.

Die Feststellbremse verfügt über ein eigenes Bremsgestänge. Die Rangierbremse wird über ein davon unabhängiges Bremsgestänge geführt (Abbildung 20).

1.8.2.1.8 Nachstellung der Bremse infolge Verschleiss

Im Betrieb verändern sich durch Verschleiss die Bremsklötze der Rangierbremse wie auch die Radlauflächen, auf denen die Bremsklötze anliegen. Insbesondere verringern sich die Dicke der Bremsklötze und der Raddurchmesser. Das führt dazu, dass sich das Bremsgestänge mit einem immer grösseren Weg bewegen muss, um eine gleichbleibende Bremskraft aufzubauen. Um dies auszugleichen, ist im Bremsgestänge der Rangierbremse ein sich mechanisch jeweils selbst nachstellender Bremsgestängesteller (Stopex) verbaut.

Das von der Rangierbremse unabhängige Bremsgestänge der Feststellbremse verfügt nicht über eine Selbstnachstellung. Die Bremsklötze der Feststellbremse werden nur im Stillstand benutzt. Ein Verschleiss oder eine Anpassung an die sich durch die Betriebsbremsungen verändernde Geometrie der Radlauflächen kann nicht erfolgen. Mit einer als Spindelhandbremse ausgeführten Feststellbremse kann durch Drehen der Handbremskurbel ein allfällig auftretender Mehrweg des Bremsgestänges ausgeglichen werden. Der Hub des Federspeicherbremszylinders ist begrenzt und führt zu einem begrenzten Ausgleich der durch die Betriebsbremsung erfolgten Verringerung des Raddurchmessers.

Bei einem Hub des Federspeicherbremszylinders von 40 mm ergibt sich ein Klotzspiel von maximal 4.6 mm zwischen dem abliegenden Bremsklotz und der Radlaufläche (Abbildung 8).

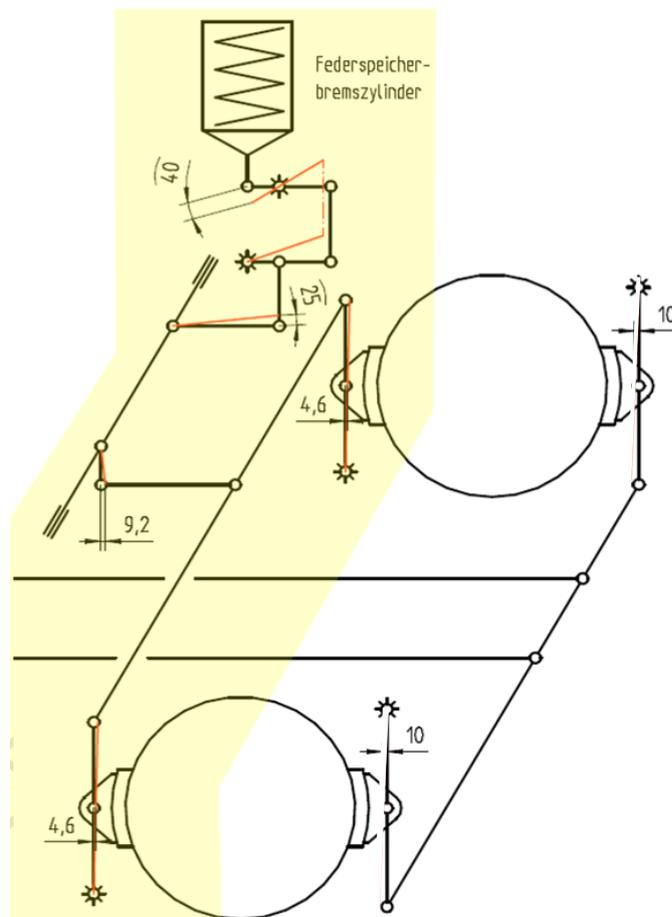


Abbildung 8: Bremsgestänge der Feststellbremse (gelb unterlegt). Die roten Linien zeigen die Auslenkung des Bremsgestänges der Feststellbremse.

1.8.2.1.9 Bremsberechnung für den Umbau der Feststellbremse

Vor dem Umbau ergab die Berechnung der Handbremse eine gesamte Reibungskraft am Radumfang (Festhaltekraft) von 10.5 kN.

Die Berechnung für den Umbau auf einen Federspeicherbremszylinder ergab folgendes:

- Eine gesamte Reibungskraft am Radumfang von 11 kN.
- Die Lauffläche eines Bremsklotzes beträgt 253 cm².
- Der spezifische Druck (berechnet für einen Grauguss-Bremsklotz und für eine effektive Kraft pro Klotz von 47 kN) beträgt 18.9 kg/cm².

1.8.2.1.10 Genehmigungsantrag für den Umbau der Feststellbremse

Am 27. August 2007 reichte die MGB beim BAV einen Antrag für den Ersatz der Handbremse durch einen Federspeicherbremszylinder ein. Der Umbau der Feststellbremse sollte zur Erhöhung der Sicherheit gegen ein selbsttätiges Lösen der Handbremse beitragen.

Auf Grund der eingereichten Unterlagen, insbesondere der neuen Bremsberechnung, stellte das BAV fest, dass:

- an der Adhäsionsbremse keine Veränderungen vorgenommen werden,
- die bisherige Handbremskurbel durch einen Federspeicherbremszylinder ersetzt wird,
- die Summe der Bremsklotzkräfte, ausgehend vom Federspeicherbremszylinder, im Vergleich zur Handkurbel um 5 % reduziert wird (Reduktion spezifischer Klotzdruck),
- aufgrund des reduzierten spezifischen Klotzdruckes zwischen Klotz und Radlauffläche ein Reibwert von 0.16 (mit Handkurbel 0.14) angenommen wird,
- sich in einer Neigung von 40 ‰ mit dem Federspeicherbremszylinder eine verbesserte Sicherheit gegen Abrollen (Entlaufen) von 1.35 ergibt, gegenüber der Sicherheit mit der Handkurbel von 1.23.

Auf dieser Basis verzichtete das BAV auf eine Genehmigung und Erteilung einer neuen Betriebsbewilligung. Das BAV behielt sich vor, nach der Prüfung der nachgereichten Umbauunterlagen eine Betriebsbewilligung mit Auflagen zu verfügen.

Nach dem Umbau im Jahr 2008 legte die MGB die definitive Nachweisdokumentation dem BAV vor. Das BAV belies unverändert die bestehende Betriebsbewilligung.

1.8.2.2 Sicherungssystem

1.8.2.2.1 Sicherheitssteuerung

Die Sicherheitssteuerung hat die Aufgabe, bei einem Unwohlsein des Lokführers eine Zwangsbremse einzuleiten. Beim Loslassen des Fuss- oder Handschalters strömt Druckluft unter den Leerlaufkolben des Totmann-Doppelventils, womit die Verbindung des Bremssteuerdrucks zum Austritt ins Freie hergestellt wird. Durch die hierbei erfolgte Drucksenkung wird die Bremsung herbeigeführt und die Antriebsanlage wird ebenfalls abgeschaltet.

Wenn der Fahrrichtungsschalter für das Wendegerieße in der Neutralstellung steht, ist die Sicherheitssteuerung nicht aktiv.

1.8.2.2.2 Warnanlage für Geschwindigkeitsbegrenzung

Um das Voith-Getriebe vor Überbelastung zu schützen, ist der Fahrtschreiber mit einer Warnanlage mit akustischen Signal versehen, die bei Überschreiten der maximal zulässigen Geschwindigkeit von 30 km/h in Tätigkeit gesetzt wird.

1.8.2.2.3 Zugbeeinflussung

Der Rangiertraktor verfügt über kein Zugbeeinflussungssystem.

1.8.2.3 Feststellungen

An der Unfallstelle wurden folgende Feststellungen gemacht:

Die obere Platte des Führertisches war gegen den Fahrrichtungsschalter verschoben worden. Der Fahrrichtungsschalter stand in die Fahrrichtung „Rückwärts“ in die Rollrichtung Seite Göschenen.

Der Lufthahn zur Feststellbremse stand in Stellung „Stillhaltebremse fest“.



Abbildung 9: Lufthahn zur Feststellbremse.

Der Zähler für den Kilometerstand zeigte 080115. Der Zähler für die Betriebsstunden zeigte 17862.7.

Der Schlüsselschalter für den Steuerstrom stand in Stellung „Ein“.

Der Anlassschalter stand in Stellung „0“.

Der Schalter für die Stirnbeleuchtung stand auf Stellung „R“.

Der Schalter zur Überbrückung der Sicherheitssteuerung war auf Stellung „Aus“ und mit einer intakten Plombierung versehen.

Die Schalter für die Motorraum- und Führerraumbeleuchtung standen auf Stellung „Aus“, der Schalter für die Instrumentenbeleuchtung auf „Ein“. Der Schalter für die Scheinwerfer stand auf Stellung „A“.

Alle Anzeigen der Instrumente waren in der Ausgangsstellung oder dunkel, alle Kontrollanzeigen waren dunkel.

Der Hauptlufthahn stand in Stellung „Offen“.

Die Luftabsperrhähne zur Fahrriechungs- und Motorsteuerung sowie zum vakuump-gesteuerten Druckluftproportionalventil standen in Stellung „Offen“.

Das Führerbremmsventil und das Rangierbremmsventil auf der rechten Seite des Führertisches standen jeweils in der Stellung „Abschluss“. Das Führerbremmsventil auf der linken Seite wurde weggerissen. Das Rangierbremmsventil auf der linken Seite war von seiner ursprünglichen Position weggerissen und hing noch an den verbogenen Luftleitungsrohren. Es stand in der Stellung „Abschluss“.



Abbildung 10: Rangierbremmsventil auf der linken Führerstandseite.

Die Sicherungsautomaten in der Mitte des Führertisches standen in den Stellungen:

Funk	Aus	Motordrehzahl Anzeige	Aus
Steckdose 24V	Ein	Motordrehzahl Überwachung	Ein
Scheibenwischer hinten	Aus	Öldruck	Aus
Scheibenwischer vorne	Aus	Getriebeöl Temperaturanzeige	Aus
Vorbau+Innenbeleuchtung	Aus	Getriebeüberwachung	Ein
Instrumentenbeleuchtung	Aus	Anzeige Getriebe Ein	Aus
Frontbeleuchtung	Ein	Steuerstrom	Aus
Sicherheitssteuerung	Ein	Steuerung Webasto Heizung	Aus
Motorstop	Aus	Webasto Heizung	Ein

1.8.3 Reisezugwagen

1.8.3.1 Beschreibung

Die Inbetriebsetzung der Wagen vom Typ BDK erfolgte in den Jahren 1986 bis 1990 durch die ehemalige Brig-Visp-Zermatt-Bahn (BVZ). Beidseits über den Drehgestellen ist jeweils ein Fahrgastabteil vorhanden, die zusammen 40 Sitzplätze bieten. Zwischen den Fahrgastabteilen ist ein Gepäckabteil vorhanden. Der Wagen verfügt über keine Toilette. Eingesetzt werden die Wagen als Zwischen- oder Schlusswagen.



Abbildung 11: Reisezugwagen BDK (Quelle: MGB).

Die Inbetriebsetzung der Wagen vom Typ ABt erfolgte im Jahr 1971 durch die ehemalige Furka-Oberalp-Bahn (FO). Die Wagen sind als Steuerwagen ausgeführt. An einem Wagenende ist die Einrichtung eines Führerstandes vorhanden zur Fernsteuerung von Triebfahrzeugen. Am gegenüberliegenden Wagenende sind eine Toilette und ein kleines Gepäckabteil vorhanden. Weiter sind drei Fahrgastabteile mit insgesamt 49 Sitzplätzen vorhanden. Durch die beidseits vorhandenen stirnseitigen Türen, Übergangsbretter und Faltenbälge ist der vollständige Durchgang möglich, womit die Wagen auch als Zwischenwagen eingesetzt werden können.



Abbildung 12: Steuerwagen ABt (Quelle: MGB).

Nach der Fusionierung von FO und BVZ zur MGB im Jahr 2003 gingen die Wagen in deren Besitz über.

1.8.3.2 Feststellung

Aufgrund der festgestellten Spuren und Stellung der Lufthahnen waren die Wagen unter sich und mit dem Rangiertraktor gekuppelt und die Vakuumleitung durchgehend verbunden. Die Handbremsen waren gelöst.

1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.9.1 Fahrdaten

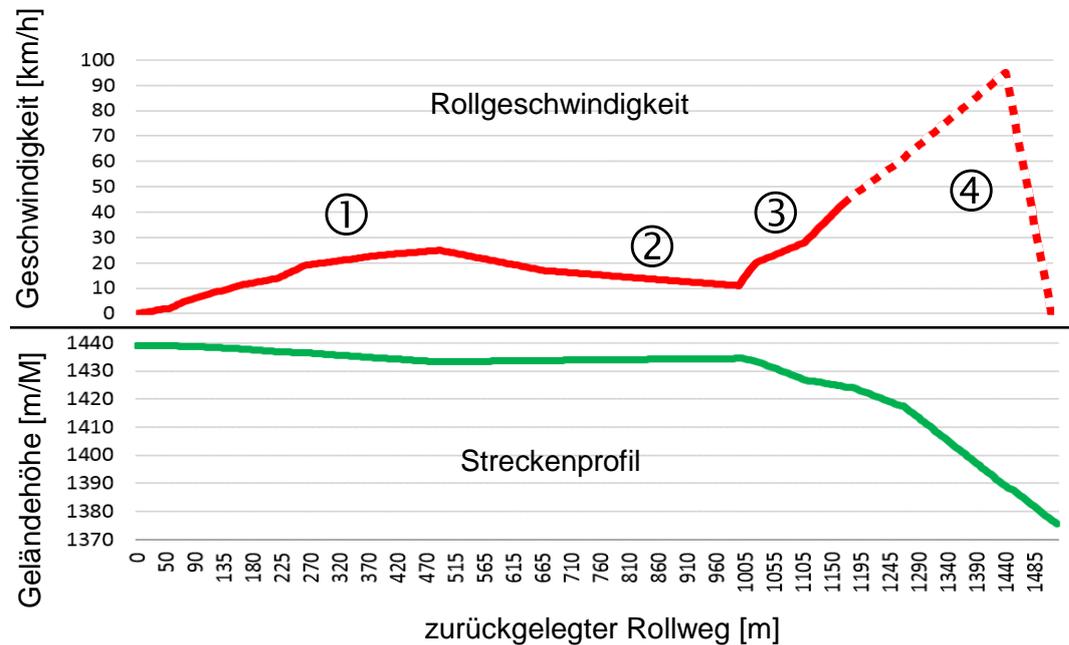


Abbildung 13: Streckenprofil und Rollgeschwindigkeit:

- ① Auf den ersten rund 500 m Rollweg sinkt die Streckenführung um rund 5 m ab und die Geschwindigkeit nahm von 0 km/h bis auf 25 km/h zu.
- ② Auf den weiteren rund 500 m Rollweg steigt die Streckenführung um rund 1 m an und die Geschwindigkeit nahm ab bis auf 11 km/h.
- ③ Auf den nächsten rund 180 m Rollweg sinkt die Streckenführung um 16 m und die Geschwindigkeit nahm zu bis über 45 km/h. Höhere Geschwindigkeiten konnte das Registriergerät technisch bedingt nicht mehr aufzeichnen und brach die Aufzeichnungen ab.
- ④ Auf den letzten rund 270 m Rollweg sinkt die Streckenführung um 42 m. Die gestrichelte Linie des Geschwindigkeitsdiagramms ist aufgrund nicht mehr aufgezeichneter Daten die angenommene, errechnete Geschwindigkeit. Demnach erfolgte eine Geschwindigkeitszunahme bis gegen 100 km/h und eine rasche Abnahme der Geschwindigkeit nach der Entgleisung.

1.9.2 Stellwerkdaten

Aus den Aufzeichnungen ist zu entnehmen (Uhrzeiten nach Aufzeichnung):

- Um 07:48:03 Uhr wurde das Gruppenausfahrtsignal E1-5 auf Fahrt gestellt.
- Um 07:48:06 Uhr wurde das Abfahrtsignal bedient.
- Um 07:50:33 Uhr wurde eine Weichenstörung der Weiche 28 gemeldet.

1.9.3 Gesprächsaufzeichnung

Aus den Gesprächsaufzeichnungen kann entnommen werden (Uhrzeiten nach Aufzeichnung):

- Um 07:38:01 Uhr verlangte der Rangierleiter eine Fahrstrasse nach Kurve 4.
- Um 07:49:38 Uhr meldete der Fahrdienstleiter dem Rangierleiter das Entlaufen der Rangierkomposition aus Kurve 4 Richtung Göschenen. Daraufhin entgegnete der Rangierleiter, dass dies nicht sein könne, er habe doch gebremst.
- Um 07:50:15 Uhr rief der Fahrdienstleiter den Richtung Göschenen abgefahrenen Zug auf, um die drohende Gefahr des Auflaufens der entlaufenen Rangierkomposition mitzuteilen.
- Um 07:55:31 Uhr fragte der Fahrdienstleiter beim Rangierleiter nach, ob er bereits etwas festgestellt hätte, und dass es mittlerweile einen Ausfall der Fahrleitungsspannung gab.
- Um 08:02:40 Uhr meldete der Rangierleiter dem Fahrdienstleiter den Standort der mittlerweile stillstehenden Fahrzeuge der zuvor entlaufenen Rangierkomposition.

1.9.4 Stationskamera

Die Aufzeichnungen der Stationskamera in Andermatt zeigen (Uhrzeiten nach Aufzeichnung):

- Rund 10 s vor Abfahrt des Zuges aus Gleis 3 um 07:47:55 Uhr war bei der Rangierkomposition in Kurve 4 eine kleine Bewegung von rund 30 bis 50 cm Richtung Göschenen zu erkennen. Danach stand die Rangierkomposition wieder still.
- Nach der Abfahrt des Zuges ab Gleis 3 um 07:48:16 Uhr Richtung Göschenen begann die Rangierkomposition um 07:48:32 Uhr in Fahrtrichtung des Zuges wegzurollen.

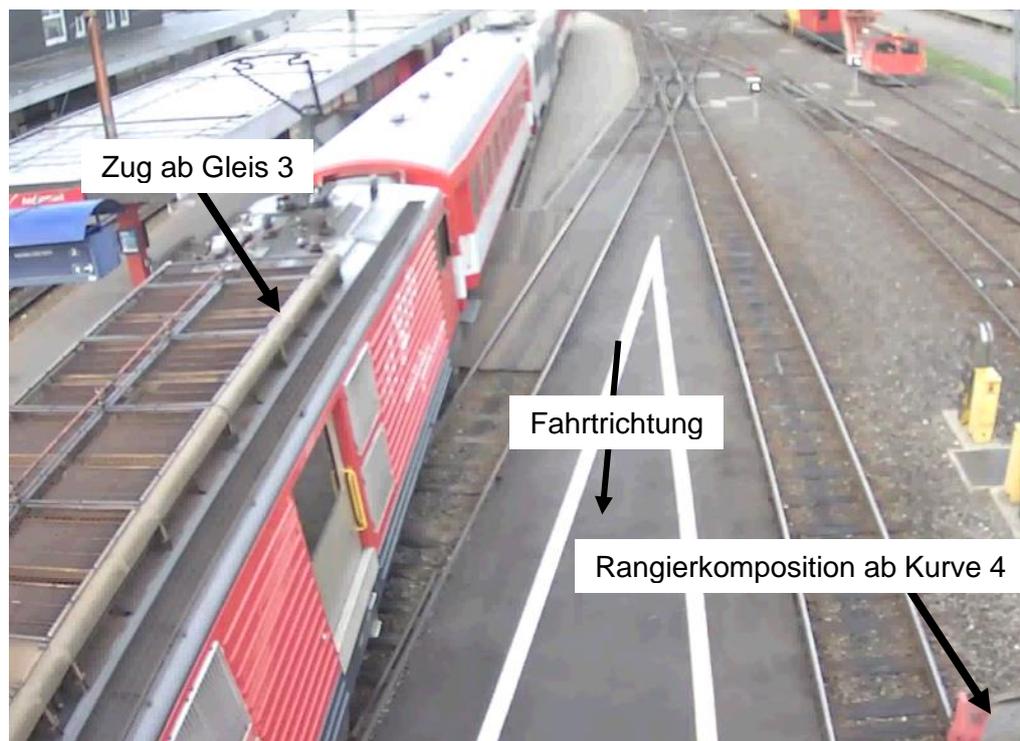


Abbildung 14: Ausschnitt Stationskamera Andermatt, kurz vor Abfahrt des Zuges.

1.10 Besondere Untersuchungen

1.10.1 Wetter

Der Unfallzeitpunkt war rund eine Stunde nach Sonnenaufgang, der Himmel war leicht bewölkt und es gab keinen Niederschlag.

Rund 1 km südwestlich, in gleicher Höhe m/M des Bahnhofs, befindet sich die Wetterstation Talboden Andermatt. Die aufgezeichneten Wetterdaten zeigen für den 1. September 2016 um 07:50 Uhr:

- Die Temperatur betrug 10 °C.
- Der Wind kam aus west-/südwestlicher Richtung (zwischen 254 und 259 Grad).
- Die Windstärke betrug 3 km/h mit Böenspitzen bis 5 km/h.

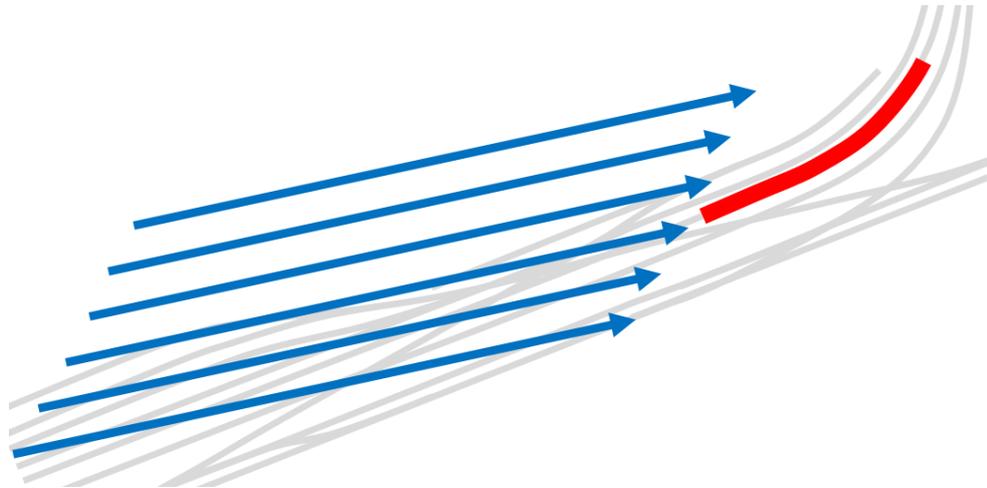


Abbildung 15: Windrichtung (blau) gegen die abgestellten Fahrzeuge (rot).

1.10.2 Windlast auf die Fahrzeuge

Die später entlaufenen Fahrzeuge standen in der Kurve 4 im Bahnhof Andermatt. Seitlich von hinten traf leichter Wind aus west-/südwestlicher Richtung auf die Flanke der Fahrzeuge sowie die Stirnfront des letzten Fahrzeugs. Es wurde die mögliche Windlast berechnet, die eine Anschubwirkung auf die Fahrzeuge gehabt hatte.

Für den Winddruck W_D und die Windlast w gilt:

$$W_D = c_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad [\text{N/m}^2] \quad (1)$$

$$w = A \cdot W_D \quad [\text{N}] \quad (2)$$

A	= Bezugsfläche [m ²]	berechnete Fläche = 93 m ³
c _p	= Druckbeiwert (dimensionslos)	mit 1 angenommen
v	= Windgeschwindigkeit [m/s]	normal 0.83 m/s, Böenspitze 1.39 m/s
ρ	= Dichte der Luft [kg/m ³]	1.252 kg/m ³ bei 10 °C

Die vollständige Bezugsfläche aller Fahrzeuge beträgt 210 m². Unter Berücksichtigung des Standorts des jeweiligen Fahrzeugs in der Kurve und den in spitzem Winkel seitlich von hinten auftreffenden Winddruck ergibt sich eine übrigbleibende Bezugsfläche von 93 m². Bei der normal aufgetretenen Windgeschwindigkeit von 3 km/h ergibt dies eine Windlast von 40 N. Die Windlast bei einer Böenspitze von 5 km/h ergibt 112 N.

1.10.3 Rangierbremsventil

1.10.3.1 Feststellung zum bedienten Rangierbremsventil

Beim auf der Unfallstelle sichergestellten Rangierbremsventil, das beim Abstellen der Fahrzeuge in die Vollbremsstellung verbracht wurde, sprang der Hebel bei mehreren Versuchen aus der vermeintlich eingerasteten Vollbremsstellung oftmals in die Abschlussstellung zurück.

1.10.3.2 Untersuchung der Rangierbremsventile

Beide Rangierbremsventile des verunfallten Rangiertraktors wurden näher untersucht. Die Steuerung der Luftströme zeigte keine Abweichungen zur vorgesehenen Funktion. Der Hebel des linken, bei der abgestellten Rangierkomposition verwendeten Rangierbremsventils verblieb nie in der Rastrierung der Vollbremsstellung. Beim rechten Rangierbremsventil benötigte es nur einen geringen Kraftaufwand, um die Rastrierung zu überwinden.

Bei der Zerlegung der Rangierbremsventile verblieb der Eindruck, dass sie seit längerer Zeit nicht mehr geöffnet worden waren.

Die für die Rastrierung zuständigen Federn und Stössel waren in Ordnung. Die zugehörige Kulisse war beim linken für die Sicherung der abgestellten Rangierkomposition benutzten Rangierbremsventil völlig abgenutzt. Beim rechten Rangierbremsventil waren geringere und auch deutliche Abnutzungsspuren festzustellen. Die Kulisse ist so ausgeführt, dass sie beidseitig mit einer eingefrästen Nut versehen ist. Je nach der jeweiligen Verwendung für das linke oder das rechte Rangierbremsventil rastriert der gefederte Stössel nur auf einer Seite der Kulisse ein. An der Kulisse kann somit der unbenutzte und der abgenutzte Zustand festgestellt werden.

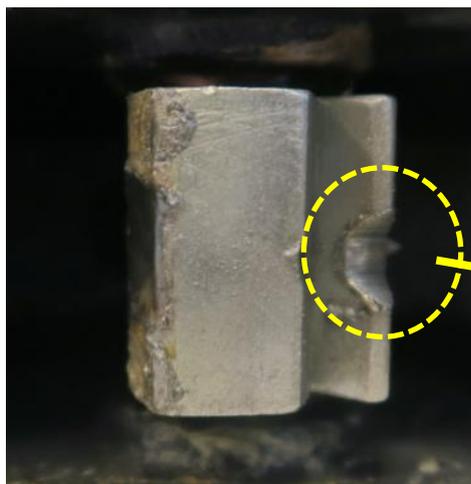


Abbildung 16: Linkes Rangierbremsventil: abgenutzte Seite der Kulisse für die Rastrierung der Vollbremsstellung (Kreis).

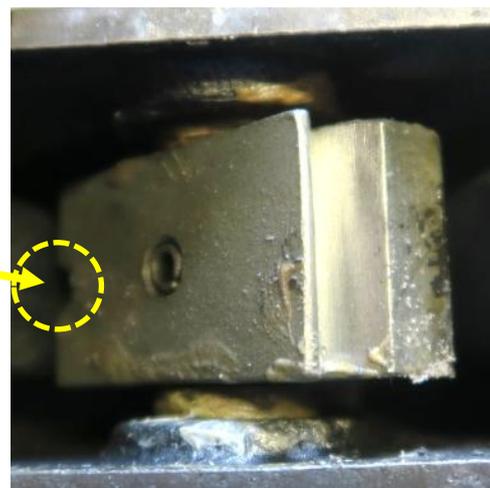


Abbildung 17: Linkes Rangierbremsventil: intakte Seite der Kulisse ohne Rastrierung.

1.10.3.3 Feststellung auf einem typengleichen Rangiertraktor

Bei Versuchen auf einem typengleichen Rangiertraktor wurde der Hebel zum Rangierbremsventil aus der Rastrierung der Vollbremsstellung bewegt und losgelassen. Der Hebel schnellte darauf zurück in die Abschlussstellung. Das Zurückspringen in die Abschlussstellung löste die Rangierbremse noch nicht. In der Abschlussstellung wird der Bremszylinder nicht nachgespeist. Es wurde festgestellt, dass sich der Bremszylinder durch die üblicherweise vorhandenen Luftverluste innerhalb von weniger als drei Minuten vollständig entleerte und der Rangiertraktor nicht mehr durch die Rangierbremse gebremst war.

1.10.4 Bremsklötze der Feststellbremse

Die Bremsklötze der Feststellbremse wurden ausgebaut. Auf den Reibflächen waren blau angelaufene Flächen festzustellen. Beim linken Bremsklotz waren die blau angelaufenen Stellen weniger ausgeprägt als beim rechten Bremsklotz.

Die Untersuchung der Bremsklötze zeigt, dass beide Bremsklötze nur mit ca. 70 % der Reibfläche auflagen. An zwei Stellen der Laufflächen sind jeweils blau angelaufene Stellen zu sehen (Abbildung 18 und Abbildung 19).



Abbildung 18: Reibfläche Bremsklotz der Feststellbremse (aus Einzelbildern zusammengesetzt), links. Blau angelaufene Stellen (Kreis).

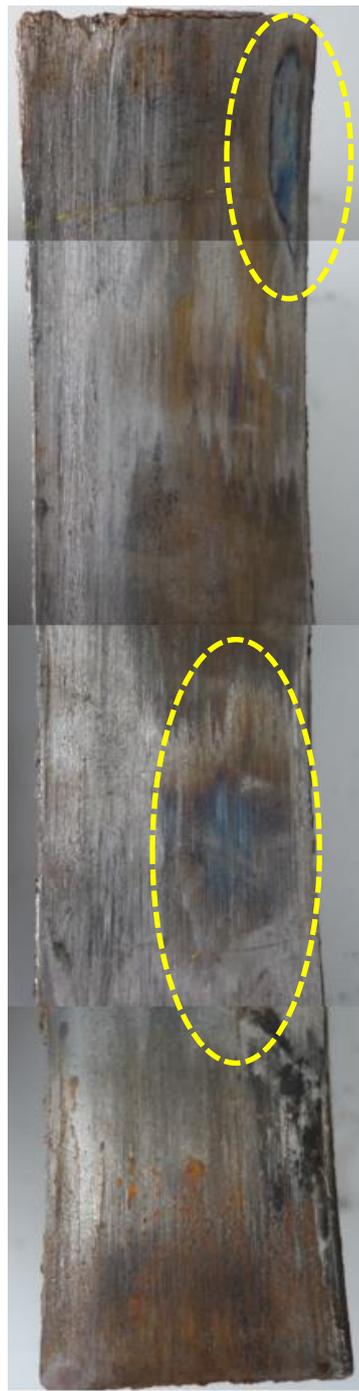


Abbildung 19: Reibfläche Bremsklotz der Feststellbremse (aus Einzelbildern zusammengesetzt), rechts. Blau angelaufene Stellen (Kreis).

1.10.5 Funktionsüberprüfung des Feststellbremssystems

Der Rangiertraktor wurde beim Unfall sehr stark beschädigt. Zur Bergung mussten verschiedene Teile abgebaut oder abgetrennt werden. Eine eingehende Untersuchung, insbesondere eine Funktionsprüfung, war nicht mehr möglich.

Am 28. November 2016 ist ein baugleicher Rangiertraktor Tm 4971 mit angehängten Wagen ebenfalls im Bahnhof Andermatt Richtung Göschenen entlaufen (Schlussbericht Reg. Nr.: 2016112801). Die nachstehende Funktionsprüfung des Feststellbremssystems wurde bei der Untersuchung dieses typengleichen, noch intakten Rangiertraktors durchgeführt. Die im Rahmen dieser Untersuchungen gemachten Feststellungen treffen auch auf den am Unfall vom 1. September 2016 beteiligten Rangiertraktor zu.

1.10.5.1 Federspeicherbremszylinder der Feststellbremse

Der Federspeicherbremszylinder der Feststellbremse wurde ausgebaut und durch den Hersteller überprüft. Es konnte ein neuwertiger Zustand und eine einwandfreie Funktion festgestellt werden.

1.10.5.2 Bremsgestänge und Bremsklötze der Feststellbremse

Die Längen der Bremsgestänge (Hebel, T-förmige Umlenkhebel) wurden überprüft und stimmten mit der Bremsskizze (Abbildung 20) überein.

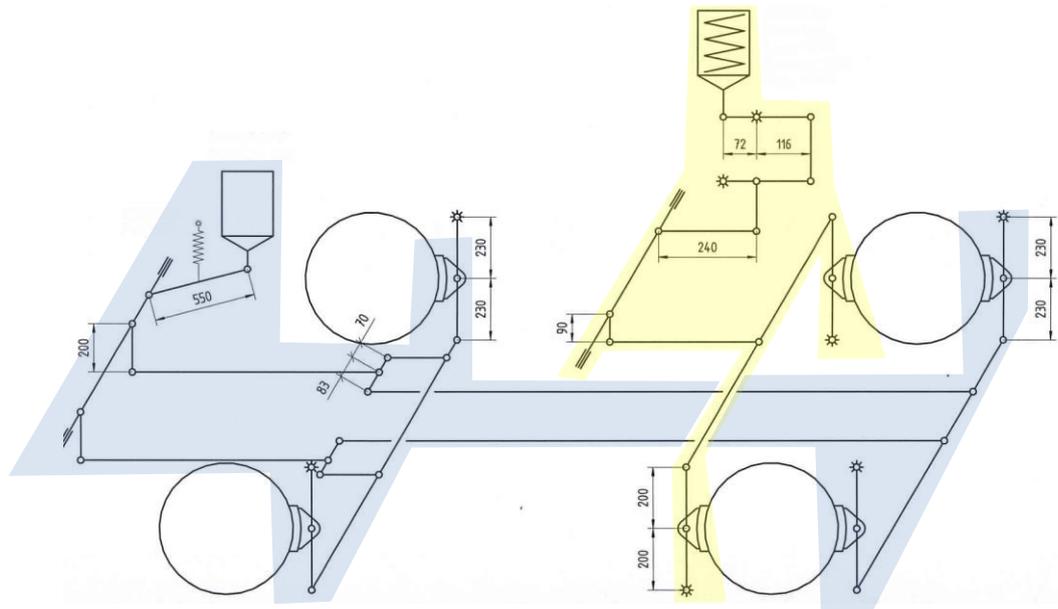


Abbildung 20: Bremsskizze nach dem Umbau im Jahr 2008 mit Federspeicherbremszylinder für die Feststellbremse.

Blau unterlegt: Komponenten der Rangierbremse.

Gelb unterlegt: Komponenten der Feststellbremse
(Quelle: MGB, eingefärbt durch SUST).

Die Konstruktion des Bremsgestänges des Feststellbremssystems und deren Einstellmöglichkeiten lassen den Einbau eines neuen Bremsklotzes (60 mm Dicke) nicht zu. Daher muss ein teilweise abgenutzter Bremsklotz von der Rangierbremse ausgebaut und als Bremsklotz der Feststellbremse eingebaut werden.

1.10.5.3 Kraftmessung an den Bremsklötzen der Feststellbremse

Um zum einen die effektive Anpresskraft der Bremsklötze gegen das Rad zu verifizieren und zum andern den Einfluss des Klotzbremsspiels auf die Anpresskraft zu bestimmen, wurden zwei verschiedene Messungen durchgeführt.

1.10.5.3.1 Messung mit Messbremsklotz

Ein mit Sensoren ausgerüsteter Messbremsklotz wurde anstelle des normalen Bremsklotzes eingebaut. Da die Dicke des Messbremsklotzes der eines neuen Bremsklotzes entsprach, musste die Einstellung des Bremsgestänges angepasst werden, was zu Ungenauigkeiten der Messungen führte.

Die gemessenen Werte lagen im Bereich von max. 20 kN.

1.10.5.3.2 Messung mit einem Dehnungssensor

Im Bremsklotzhalter wurde ein Messbolzen mit Dehnungssensor eingebaut (Abbildung 21). Bei dieser Messmethode entsprach die Einstellung des Bremsgestänges der normalen Einstellung (abgenützte Bremsklötze). Anschliessend wurde die Messung mit verschiedenen Einstellungen des Bremsgestänges wiederholt.

Die gemessenen Werte lagen im Bereich von max. 30 kN.

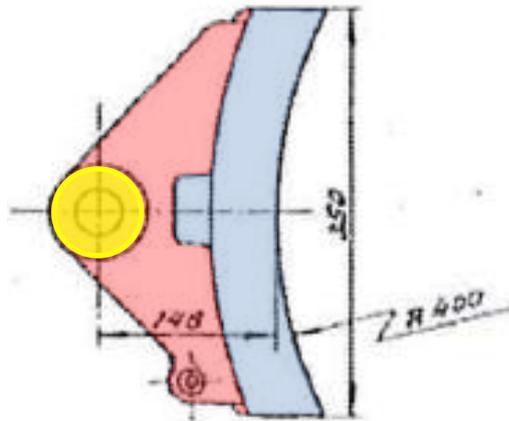


Abbildung 21: rot: Bremsklotzhalter; blau: Bremsklotz; gelb: Einbau eines Dehnungssensors für die Messung der Anlegekraft des Bremsklotzes.

1.10.6 Rechnerische Simulation des Entlaufens

Um einzuschätzen, ob eine Bremswirkung bei der entlaufenen Rangierkomposition vorhanden war, wurden Modellrechnungen vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass ohne vorhandene Bremskraft nach rund 950 m Rollweg am Ende des ansteigenden Streckenteils die Rollgeschwindigkeit höher ausfallen würde, als die aufgezeichneten Fahrdaten ergeben (Abbildung 22).

Die Parameter berücksichtigen die Masse der Komposition, die Rollreibung und die Streckenneigung über den abgefahrenen Weg. Die Restbremskraft ist als Variabel eingesetzt und variiert zwischen 0 und 600 N.

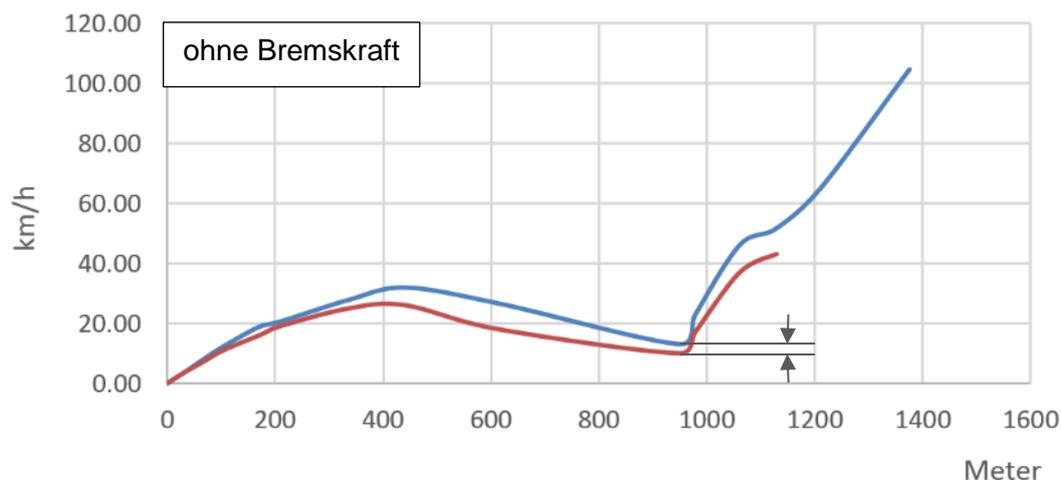


Abbildung 22: Diagramm der Modellrechnung zum Geschwindigkeitsverlauf ohne Bremskraft (blau) gegenüber den aufgezeichneten Fahrdaten (rot).

Bei der Modellrechnung mit 200 N Bremskraft zeigt sich nach rund 950 m Rollweg am Ende des ansteigenden Streckenteils eine gleiche Geschwindigkeit gegenüber den aufgezeichneten Fahrdaten (Abbildung 23).

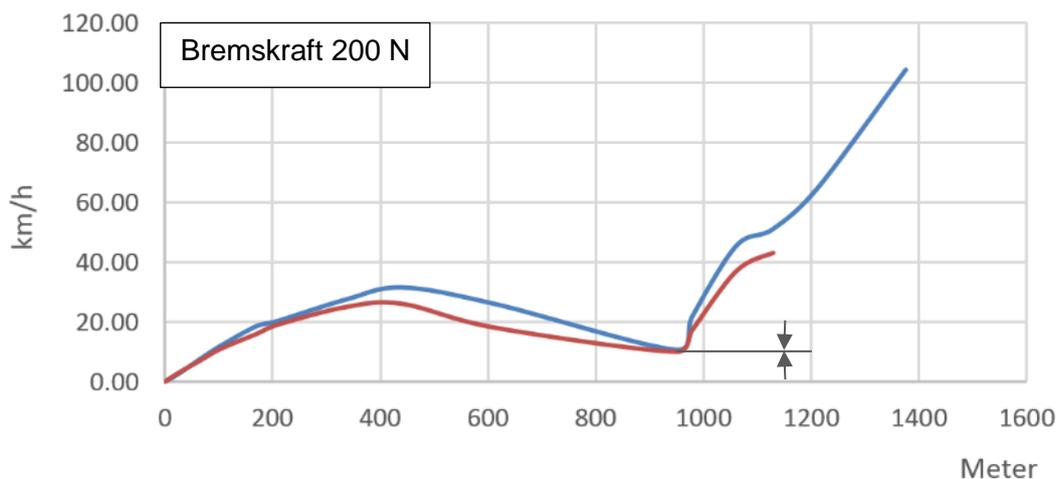


Abbildung 23: Diagramm der Modellrechnung zum Geschwindigkeitsverlauf mit einer Bremskraft von 200 N (blau) gegenüber den aufgezeichneten Fahrdaten (rot).

Bei der Modellrechnung mit 600 N Bremskraft zeigt sich, dass die entlaufene Rangierkomposition nach rund 950 m Rollweg am Ende des ansteigenden Streckenteils zum Stillstand gekommen wäre (Abbildung 24).

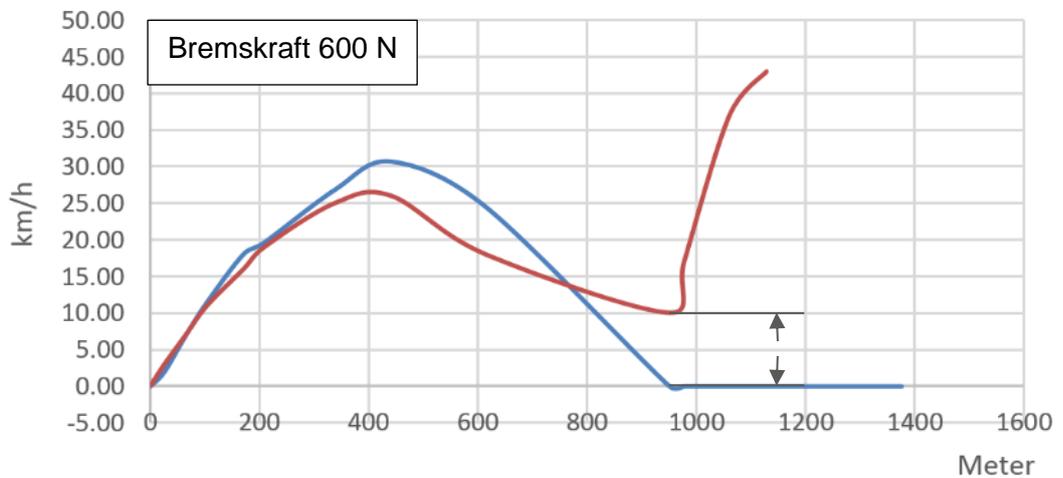


Abbildung 24: Diagramm der Modellrechnung zum Geschwindigkeitsverlauf mit einer Bremskraft von 600 N (blau) gegenüber den aufgezeichneten Fahrdaten (rot).

1.10.7 Rollversuche

Die entlaufene Rangierkomposition bestand aus einem Rangiertraktor und vier Reisezugwagen und hatte eine Masse von insgesamt 85.7 t. Am 2. und 8. September 2016 wurden mit einer ähnlichen Rangierkomposition Rollversuche ab dem Gleis Kurve 4 in Andermatt durchgeführt. Die Rangierkomposition für die Rollversuche bestand aus einem typengleichen Rangiertraktor und vier Reisezugwagen und hatte eine Masse von 77.7 t. Beim ersten Rollversuch bewegte sich die Rangierkomposition bei vollständig gelöster Bremse nicht selbständig. Nach einem kleinen Anschub rollten die Fahrzeuge weg und kamen nach wenigen Metern wieder zum Stillstand. Beim zweiten Rollversuch rollte die Rangierkomposition selbständig weg und rollte weiter.

1.10.8 Austausch der Bremsklötze der Feststellbremse

Obwohl die Feststellbremse nur im Stillstand angelegt wird, und daher keine Abnutzung der Bremsklötze entstehen kann, werden gemäss Auskünften der MGB während des jährlichen Präventivunterhalts der Fahrzeuge die zwei Bremsklötze der Feststellbremse ausgetauscht. Dafür werden zwei teilweise abgenutzte Bremsklötze der Rangierbremse ausgebaut und als Bremsklötze der Feststellbremse wieder eingebaut.

In der Arbeitsanweisung für die Instandhaltung des Fahrzeuges existiert kein Hinweis für den Austausch der Bremsklötze der Feststellbremse.

Eine Überprüfung der tatsächlichen Bremswirkung der Feststellbremse ist nicht vorgesehen.

1.11 Grundlagen zu den Bremsen

1.11.1 Mindestens erforderliche Festhaltekraft

Die Fahrzeuge waren in Kurve 4 abgestellt. Das Streckenprofil der Kurve 4 steigt zuerst leicht an und fällt danach ab. Durchschnittlich ergibt sich eine Neigung von 4 ‰ über die Länge der abgestellten Fahrzeuge (Abbildung 25). Bei einer Masse der abgestellten Fahrzeuge von insgesamt 85.7 t erzeugt die Schwerkraft in einem Gefälle von 4 ‰ eine Tangentialkraft von 3.43 kN.

Gemäss den Schweizerischen Fahrdienstvorschriften³ (FDV), R 300.5, Beilage 1, Tabelle der Mindestfesthaltekraft, reicht für die Sicherung einer abgestellten Komposition mit einer Masse von 85.7 t in einer Streckenneigung von 4 ‰ eine Mindestfesthaltekraft von 7 kN.

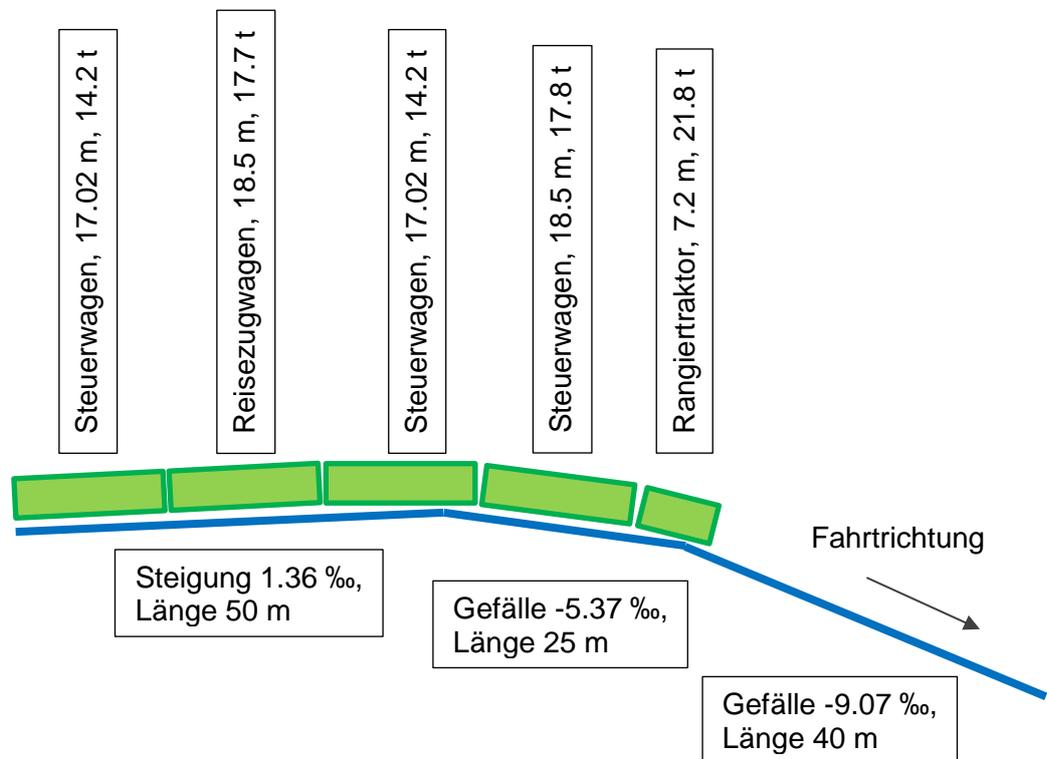


Abbildung 25: Überzeichnet dargestellte Skizze für das Streckenprofil (blau) am Ort der in Kurve 4 abgestellten Fahrzeuge (grün).

Für den Rangiertraktor allein ist in einer Streckenneigung von 40 ‰ eine Mindestfesthaltekraft von 12.5 kN erforderlich.

³ SR 742.173.001 Schweizerische Fahrdienstvorschriften vom 1. Juli 2015, Stand 1. Juli 2016

1.11.2 Spezifischer Druck eines Bremsklotzes und Reibungskoeffizient

Gemäss der technischen Unterlagen von SIG⁴ über das Reibwertdiagramm eines Grauguss-Bremsklotzes sind die verwendeten Bremsklötze bis zu einem spezifischen Druck von 12 kg/cm² geeignet. Darüber, mit dem Anstieg des spezifischen Druckes, verringert sich der Reibungskoeffizient μ_k zwischen Bremsklotz und Rad massiv.

Der spezifische Bremsklotz-Druck ist als Parameter angegeben (Abbildung 26).

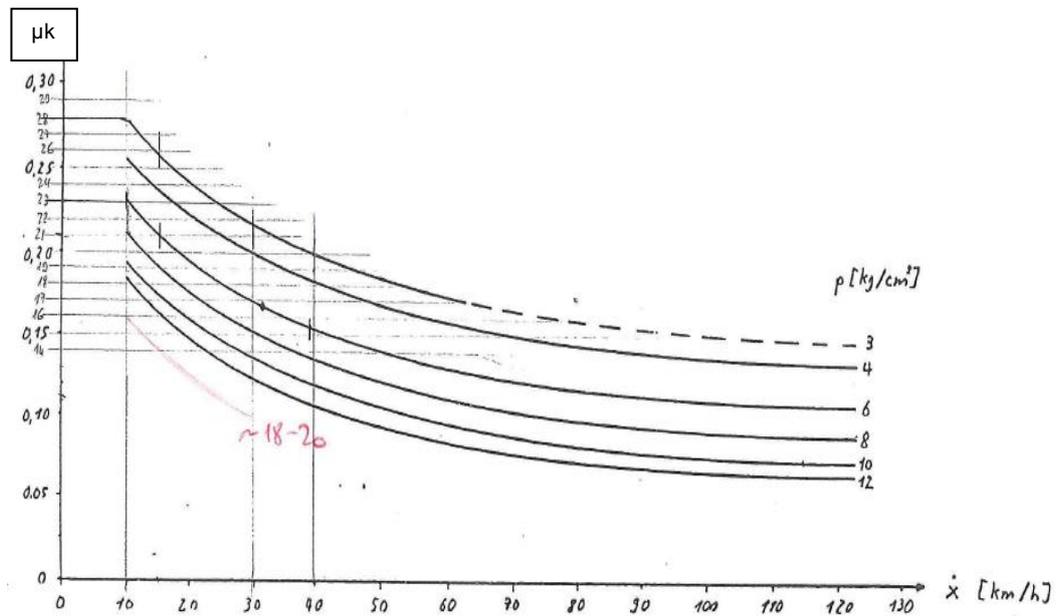


Abbildung 26: Auszug aus SIG-Dokument. Reibungskoeffizient μ_k in Funktion zur Geschwindigkeit. Beim Rangiertraktor beträgt bei der Feststellbremse der spezifische Druck ca. 19 kg/cm², wenn der Bremsklotz ganzflächig am Rad angelegt ist.

⁴ SIG: Ehemalige Schweizerische Industrie-Gesellschaft

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Festhaltekraft der Feststellbremse des Rangiertraktors

Die für den Umbau der Feststellbremse von einer Handbremskurbel auf einen Federspeicherbremszylinder berechnete Reibungskraft (Festhaltekraft) des Rangiertraktors von 11 kN hätte ausgereicht, um die durch die abgestellten Fahrzeuge, im Gleisabschnitt von durchschnittlich 4 ‰ Gefälle generierte Tangentialkraft von 3.43 kN aufzunehmen.

Wenn die angenommene Festhaltekraft der Feststellbremse effektiv gewirkt hätte, wäre die abgestellte Komposition nicht entlaufen. Das Entlaufen der Komposition lässt den Schluss zu, dass die Feststellbremse nicht mit genügend grosser Kraft gewirkt hat.

2.1.2 Rangierbremsventil

Das beim Abstellen des Rangiertraktors verwendete Rangierbremsventil war in einem technischen Zustand, bei dem nicht mehr eine sichere Rastrierung der Vollbremsstellung gewährleistet war.

Rund acht Minuten nach dem Einfahren des Rangiertraktors in das Gleis Kurve 4 sind die Fahrzeuge weggerollt. Zu Beginn dieser Zeit erfolgten das Ankuppeln der Reisezugwagen und die Arbeiten zum Sichern des Rangiertraktors. Bei Versuchen auf dem typengleichen Rangiertraktor zeigte sich, dass bei einer Abschlussstellung des Rangierventils durch systemimmanente Luftverluste die Rangierbremse innerhalb von rund drei Minuten vollständig gelöst war. Daraus ist zu schliessen, dass der Bedienhebel des Rangierventils erst rund drei bis vier Minuten nach dem Weggang des Rangierlokführers unbemerkt aus der vermeintlichen Rastrierung zurück in die Abschlussstellung schnellte. Damit war die Nachspeisung des Bremszylinders zur Rangierbremse nicht mehr vorhanden und die Bremskraft nahm stetig ab.

Deshalb sind die Fahrzeuge erst einigen Minuten nach dem Abstellen entlaufen.

Die verschlissene Rastrierung der Vollbremsstellung des Rangierventils war nicht ursächlich für das Entlaufen. Auch wenn die Rangierbremse keine Bremskraft mehr aufbringt, muss die Feststellbremse genügen. Das Anlegen der Rangierbremse ist folglich in den Vorschriften der Bahnen auch keine Massnahme zum dauerhaften Sichern eines abgestellten, unbesetzten Fahrzeugs.

2.1.3 Windlast

Auf den Aufzeichnungen der Stationskamera konnte erkannt werden, dass die abgestellten Fahrzeuge bereits vor dem eigentlichen Entlaufen einige Zentimeter rollten und dann wieder stillstanden. Die rechnerische Simulation des Entlaufens zeigt, dass eine Restbremskraft von rund 200 N vorhanden sein musste. Die durch den vorherrschenden Wind vorhandene Anschubkraft von rund 40 N wie auch die Windlast bei Böenspitzen von 112 N überstieg die noch vorhandene Restbremskraft zwar nicht. Doch war eine Tangentialkraft von 3.43 kN vorhanden. Durch den Abbau der Bremskraft der Rangierbremse wurde die Grenze erreicht, bei der die Fahrzeuge nicht mehr genügend festgehalten wurden.

Das lässt den Schluss zu, dass die Fahrzeuge jeweils durch Böenspitzen ins Rollen gebracht wurden, auch wenn diese von geringer Stärke waren. Wobei bei einem weiteren Nachlassen der Wirkung der Rangierbremse die Fahrzeuge auch ohne die geringe Anschubwirkung durch den Wind entlaufen wären.

2.1.4 **Verfärbung an den Reibflächen der Bremsklötze der Feststellbremse**

Die Verfärbungen an den Reibflächen der Bremsklötze der Feststellbremse deuten auf eine Hitzeeinwirkung hin. Die Bremsklötze der Feststellbremse werden im Unterhalt mit den Bremsklötzen der Rangierbremse getauscht. Bei Verwendung mit der Rangierbremse werden die Reibflächen weitgehend ganzflächig gegen die Radlaufläche angelegt. Auch bei Betriebsbremsungen entstehen durch Hitze bedingte Verfärbungen. Dann jedoch sind die Verfärbungen gleichmässiger über die Reibfläche verteilt.

Bei den Bremsklötzen der Feststellbremse ist die Hitzeeinwirkung, dem Spurenbild nach zu urteilen, nur punktuell an zwei Teilflächen aufgetreten. Das deutet auf ein nicht formschlüssiges Anliegen an die Radlaufläche hin, Das nicht formschlüssige Anliegen erfolgt bei der Feststellbremse nach einer gewissen Zeit, wenn sich die Radlaufläche und der Raddurchmesser durch Verschleiss während Betriebsbremsungen verändert hat.

Dass die durch Hitze entstandenen Verfärbungen lediglich an Teilflächen der Bremsklötze der Feststellbremse vorbestanden haben, ist daher unwahrscheinlich.

Typischerweise entstehen solche Verfärbungen dann, wenn die Bremsklötze über eine längere Wegstrecke und bei erhöhter Geschwindigkeit mit einer Anpresskraft an einem sich drehenden Rad anliegen. Bei der Feststellbremse werden die Bremsklötze jedoch nur im Stillstand angelegt und sind keiner Hitzeeinwirkung ausgesetzt, die durch sich drehende Räder entsteht.

Das führt zum Schluss, dass die Bremsklötze der Feststellbremse mit einer geringen Anpresskraft über die längere Strecke von rund 1500 m und mit zunehmender Geschwindigkeit von bis zu 100 km/h die Lauflächen der sich drehenden Räder des entlaufenen Rangiertraktors berührt haben mussten.

Weil die Bremsklötze nur punktuell an zwei Teilflächen gegen die Radlaufläche pressten, hat sich die Anpresskraft auf diese zwei Stellen der Bremsklötze konzentriert. Der spezifischen Druck hat sich dort stark erhöht und der Reibungskoeffizient μ_k dementsprechend reduziert (Abbildung 26).

Es zeigt, dass die Feststellbremse angelegt war, jedoch nicht genug Festhaltekraft aufbringen konnte.

2.1.5 **Rechnerische Simulation des Entlaufens**

Die rechnerische Simulation zeigt, dass eine Restbremskraft in der Grössenordnung von 200 N vorhanden gewesen sein musste. Bei einer Restbremskraft von 600 N oder mehr wäre die Komposition nicht Entlaufen bzw. wieder angehalten worden.

Das lässt auch den Schluss zu, dass die Fahrzeuge nicht ungebremst abgestellt wurden. Die Feststellbremse wirkte noch mit einer Bremskraft in der Grössenordnung von 200 N. Das entsprach etwa 2 % der angenommenen Festhaltekraft des Rangiertraktors von 11 kN.

2.1.6 **Einflüsse auf die Bremsklotzkraft der Feststellbremse**

2.1.6.1 Anpassung an Verschleiss

Im Normalfall ist die Feststellbremse nur im Stillstand angelegt. Weil die Feststellbremse über einen eigenen Federspeicherbremszylinder und ein eigenes Bremsgestänge verfügt, kommen die Bremsklötze ausschliesslich im Stillstand mit den Rädern einer Achse in Kontakt. Daher werden die Bremsklötze keinem Verschleiss

unterworfen und somit die Verschmutzungen oder Rostbildung an den Bremsklötzen nie gereinigt. Die Bremsklötze werden auch nie durch Verschleiss an das sich verändernde Radprofil und den sich verringernde Raddurchmesser angepasst.

Mit dieser Ausführung kann nicht sichergestellt werden, dass die Bremsklötze der Feststellbremse ganzflächig gegen die Räder anliegen. Die Möglichkeit, dass die Bremsklötze nur an zwei oder drei Punkten die Räder berühren, ist vorhanden.

Infolge der Reduktion der Kontaktfläche steigt der spezifische Druck eines Bremsklotzes und dadurch verringert sich der Reibungskoeffizient μ_k zwischen Rad und Bremsklotz massiv. Der bei der Bremsberechnung angenommene Reibungskoeffizient stimmt nicht mehr. Die erforderliche Bremswirkung kann nicht mit Sicherheit erbracht werden.

2.1.6.2 Einstellung des Bremsgestänges

Die Resultate der Bremsklotzkraftmessungen zeigen, dass, abhängig von der Bremseinstellung, die effektive Kraft pro Klotz zwischen 20 und 30 kN variierte. Der angegebene Wert von 47 kN pro Klotz wurde nicht erreicht, was eine nachberechnete Festhaltekraft der Feststellbremse zwischen 5 kN und 7 kN ergibt. Die effektive Festhaltekraft der Feststellbremse ist somit ca. 40 % kleiner als der berechnete Wert von 11 kN für den Umbau auf Federspeicherbremszylinder im Jahr 2007.

Die rechnerische Simulation des Entlaufens zeigte, dass eine Restbremskraft von rund 200 N vorhanden sein musste. Bei den Messungen der tatsächlich vorhandenen Festhaltekraft lagen die Werte rund 30 Mal höher. Die Fahrzeuge sind trotz betätigter Feststellbremse entlaufen.

Wenn der das Bremsgestänge bewegende Federspeicherbremszylinder seinen maximalen Hub ausführt, werden die Bremsklötze lediglich um 4.6 mm gegen die Radlauffläche bewegt, wobei der Bremsklotz erst anliegen kann, aber noch keine Anpresskraft aufgebaut wird. Eine automatische Nachstellmöglichkeit des Klotzbremsspiels der Feststellbremse ist nicht vorhanden. Dagegen wurde mit dem ehemaligen Handbremssystem das Klotzbremsspiel durch das Festziehen der Kurbel bis zum Anschlag kompensiert.

Ein ausreichender Hub des Federspeicherzylinders ist zwingend notwendig, um das Risiko einer Bremskraftverminderung zu minimieren.

2.1.7 Anwenden der Feststellbremse bei Ausfall der Rangierbremse

Die Rangierbremse des Rangiertraktors verfügt über einen einzigen Bremszylinder. Bei einem technischen Defekt des Bremszylinders oder beim Bruch der Luftleitung der Bremszylinderspeisung ist nur noch die Feststellbremse auf dem Rangiertraktor wirksam. Wenn während einer Alleinfahrt des Rangiertraktors die Rangierbremse ausfällt, muss das Fahrzeug, als Notmassnahme, mit der Feststellbremse angehalten werden können. Es ist deshalb wichtig, dass die Feststellbremse in jedem Fall die nötige Bremswirkung und die Mindestfesthaltekraft für das maximale Streckengefälle sicherstellen kann, bei dem der Rangiertraktor eingesetzt wird.

Unter diesem Aspekt ist es sicherheitsrelevant, dass die Feststellbremse jedenfalls die Mindestfesthaltekraft für ein Gefälle – wie es bei der MGB auf den Adhäsionsstrecken möglich ist – von bis zu 40 % sicherstellt.

Die aktuelle Feststellbremse erfüllt diese Anforderung nicht.

2.2 Organisatorische Aspekte

Obwohl keine schriftliche Arbeitsanweisung vorliegt, tauschte die MGB seit Jahren während des jährlichen Präventivunterhalts der Rangiertraktoren die Bremsklötze der Feststellbremse gegen zwei teilweise abgenutzte Bremsklötze der Rangierbremse aus. Diese Praxis zeigt, dass die nicht optimale bzw. im Betrieb stetig abnehmende Wirkung der Feststellbremse bekannt war. Andernfalls wäre es nicht nötig, die zwei Bremsklötze der Feststellbremse, die keine Abnutzung aufweisen, auszutauschen, ausser um die Anpassung der Klötze an das sich verändernde Rad annähernd zu gewährleisten.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Die abgestellten Fahrzeuge befanden sich auf einem Gleis mit einem Gefälle von durchschnittlich 4 ‰.
- Die für den Rangiertraktor konstruktiv geplante Festhaltekraft der Feststellbremse von 11 kN reicht aus, um die durch die abgestellten Fahrzeuge im Gleisabschnitt von 4 ‰ Gefälle generierte Tangentialkraft von 3.43 kN aufzunehmen.
- Der Federspeicherbremszylinder der Feststellbremse war in neuwertigem Zustand und funktionierte einwandfrei.
- Die Federspeicherbremse des Rangiertraktors ist mechanisch und pneumatisch von der Rangierbremse getrennt.
- Die Bremsklötze der Feststellbremse werden nicht an die durch Verschleiss entstehenden Veränderungen des Profils der Radlauffläche angepasst, gereinigt und aufgeraut.
- Die Bremsklötze lagen nicht mit der gesamten Reibfläche an der Radlauffläche an.
- Ohne ein Nachstellen des Bremsgestänges nach Verringerung des Raddurchmessers reduziert sich die Bremswirkung der Feststellbremse massiv.
- Die tatsächlich vorhandene Festhaltekraft der Feststellbremse genügte nicht, um die abgestellten Fahrzeuge im Stillstand zu halten.
- Die abgestellten Fahrzeuge rollten erst nach einigen Minuten weg, als die Bremswirkung der Rangierbremse nachliess.

3.1.2 Organisatorische Aspekte

- Die Nachweisdokumentation zum Umbau der Feststellbremse von einer Handkurbel auf einen Federspeicherbremszylinder ist vorhanden.
- Eine schriftliche Arbeitsanweisung für den Tausch der Bremsklötze der Feststellbremse ist nicht vorhanden, jedoch werden sie während dem jährlichen Präventivunterhalt mit den Bremsklötzen der Rangierbremse ausgetauscht.
- Eine Überprüfung der tatsächlichen Bremswirkung der Feststellbremse ist nicht vorgesehen.
- Vor dem Verlassen des abgestellten Rangiertraktors wurde der Hahn für die Feststellbremse in die Stellung „Stillhaltebremse fest“ und zusätzlich das Rangierbremsventil in die Vollbremsstellung verbracht.

3.2 Ursachen

Das Entlaufen von in einem Gefälle abgestellten Fahrzeugen in Andermatt am 1. September 2016 um 07:51 Uhr ist auf eine ungenügende Festhaltekraft der Feststellbremse des Rangiertraktors zurückzuführen, da die Bauart des Bremsgestänges die benötigte Reibungskraft nicht sicherstellen konnte.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Durch das von der Rangierbremse unabhängige Bremsgestänge der Feststellbremse rieben die Bremsklötze nie gegen das drehende Rad und wurden nie an die Radlaufläche angepasst, gereinigt und aufgeraut.
- Die fehlende Vorschrift für die Einstellung und Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse.

Der folgende Faktor war zwar im vorliegenden Unfall weder ursächlich noch beiträgend, wurde aber als risikoreich erkannt:

Bei einem Ausfall der Rangierbremse ist nur noch die Feststellbremse auf dem Rangiertraktor wirksam. Unter diesem Aspekt ist es sicherheitsrelevant, dass die Feststellbremse mindestens die Festhaltekraft für ein Gefälle von bis zu 40 ‰ sicherstellt. Die aktuelle Feststellbremse erfüllt diese Anforderung nicht.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) bezüglich Sicherheitsempfehlungen folgende Regelung vor:

„Art. 48 Sicherheitsempfehlungen

¹ Die SUST richtet die Sicherheitsempfehlungen an das zuständige Bundesamt und setzt das zuständige Departement über die Empfehlungen in Kenntnis. Bei dringlichen Sicherheitsproblemen informiert sie umgehend das zuständige Departement. Sie kann zu den Umsetzungsberichten des Bundesamts zuhanden des zuständigen Departements Stellung nehmen.

² Die Bundesämter unterrichten die SUST und das zuständige Departement periodisch über die Umsetzung der Empfehlungen oder über die Gründe, weshalb sie auf Massnahmen verzichten.

³ Das zuständige Departement kann Aufträge zur Umsetzung von Empfehlungen an das zuständige Bundesamt richten.“

Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Sicherheit im öffentlichen Verkehr anzustreben.

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes unter www.sust.admin.ch und erlaubt so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

4.1.1 Bremskonzept Feststellbremse

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Die Feststellbremse ist mechanisch und pneumatisch unabhängig von der Rangierbremse. Sie wird ausschliesslich im Stillstand eingesetzt. Die Bremsklötze reiben nie gegen das drehende Rad und werden somit nicht an die Radlauffläche und den Raddurchmesser angepasst, gereinigt und aufgeraut. Es besteht das Risiko, dass die Reibfläche zwischen den Bremsklötzen und den Radlaufflächen zu gering ausfällt und die erwartete Bremswirkung nicht erbracht werden kann. Die Bremsklötze der Rangierbremse werden hingegen im Betrieb abgenützt und bleiben über die gesamte Reibfläche formschlüssig zum Profil der Radlaufflächen.

Bei einem Ausfall der Rangierbremse ist bei einer Alleinfahrt des Rangiertraktors nur noch die Feststellbremse auf dem Rangiertraktor wirksam. Unter diesem Aspekt ist es sicherheitsrelevant, dass die Feststellbremse mindestens die Mindestfesthaltekraft für die Gefälle von 40 ‰ sicherstellt.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 129

Das BAV sollte veranlassen, dass auf dem typengleichen Rangiertraktor das Bremskonzept so angepasst wird, dass die Feststellbremse zu jeder Zeit genügend wirkt.

4.1.2 **Vorgaben für die Einstellung und die Überprüfung der Feststellbremse**

4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Das Unterhaltspersonal wechselt einmal jährlich die Bremsklötze der Feststellbremse gegen teilweise abgenützte Bremsklötze der Rangierbremse in der Annahme, dass sie wieder formschlüssig zum Profil der Radlaufflächen sind. Für diese Arbeiten sowie für die Einstellung des Bremsgestänges der Feststellbremse besteht keine Vorgabe. Es besteht ebenfalls keine Vorgabe für die Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse. Durch die fehlende Kontrolle der effektiven Wirkung der Feststellbremse besteht ein Risiko, dass eine mangelhafte Bremswirkung nicht erkannt wird.

Inwiefern weitere Fahrzeuge mit ähnlicher Bauweise mit getrennten Bremsgestängen zwischen der Betriebs- und der Feststellbremse existieren, ist der SUST nicht bekannt. Das Risiko würde dennoch bei solchen Fahrzeugen in gleicher Weise bestehen.

4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 130

Das BAV sollte prüfen, inwiefern Fahrzeuge mit ähnlicher Bauweise der Feststellbremse bestehen und den jeweiligen Bahnunternehmung vorschlagen, eine Vorgabe für die Einstellung und für die Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse dieser Fahrzeuge zu erstellen.

4.2 **Sicherheitshinweise**

Keine

4.3 **Seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.
--

Die MGB hat angeordnet, bis auf weiteres den Rangiertraktor zusätzlich zur Feststellbremse mit einem Hemmschuh zu sichern.

Die MGB hat in den baugleichen Tm 2/2 4971 einen zweiten Federspeicherbremszylinder auf die Bremsklötze der Rangierbremse wirkend eingebaut. Die bestehende Federspeicherbremse wurde unverändert beibehalten. Der neue Bremszylinder wirkt ergänzend parallel auf die Rangierbremse. Durch die Betätigung des pneumatischen Drehschalters werden jetzt alle sechs Klötze angesteuert. Die Festhaltekraft hat sich dadurch jetzt auf 25 kN erhöht.

Die MGB hat die Unterhaltscheckliste erweitert, indem nun die Wirksamkeit der Federspeicherbremse geprüft wird.

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, 16. Januar 2018

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle