



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 das Entlaufen einer abgestellten
Komposition

vom 28. November 2016

in Andermatt (UR)

Reg.-Nr.: 2016112801

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 Ereignisses | 7 |
| 1.2 Vorgeschichte | 8 |
| 1.3 Ablauf des Ereignisses..... | 8 |
| 1.4 Schäden..... | 8 |
| 1.4.1 Personen..... | 8 |
| 1.4.2 Infrastruktur | 8 |
| 1.4.3 Fahrzeuge | 9 |
| 1.5 Beteiligte und betroffene Personen | 9 |
| 1.5.1 Bahnpersonal..... | 9 |
| 1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen | 9 |
| 1.6.1 Infrastruktur | 9 |
| 1.6.2 Transportunternehmung | 9 |
| 1.6.3 Fahrzeugeigentümer | 9 |
| 1.7 Infrastruktur..... | 9 |
| 1.7.1 Bahnanlage..... | 9 |
| 1.8 Fahrzeuge..... | 10 |
| 1.8.1 Abgestellte Komposition auf Gleis 5 | 10 |
| 1.8.2 Rangiertraktor Typ Tm 4971-4972..... | 11 |
| 1.8.3 Umbau der Handbremse auf Federspeicherbremse | 12 |
| 1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung..... | 13 |
| 1.9.1 Fahrdatenschreiber | 13 |
| 1.10 Besondere Untersuchungen..... | 13 |
| 1.10.1 Rollversuche | 13 |
| 1.10.2 Funktionsüberprüfung des Federspeicherbremssystems..... | 14 |
| 1.10.3 Berechnung der Tangentialkraft im Gleisgefälle | 15 |
| 1.10.4 Rechnerische Simulation des Entlaufens | 15 |
| 1.11 Regelungen..... | 16 |
| 1.11.1 Schweizerische Fahrdienstvorschriften, Festhaltebremskraft | 16 |
| 1.11.2 Unterhalt des Fahrzeuges – Austausch der Federspeicherbremssohlen | 16 |
| 1.11.3 Spezifischer Druck der Bremssohle und Reibungskoeffizient | 16 |
| 1.12 Ähnliche Zwischenfall..... | 16 |

| | | |
|--------|--|---|
| 1.12.1 | Entlaufen des Tm 4972 von 1. September 2016..... | 16 |
| 1.12.2 | Zustand der Lauffläche der Federspeicherbremssohlen | 16 |
| 2 | Analyse..... | 17 |
| 2.1 | Technische Aspekte..... | 17 |
| 2.1.1 | Festhaltekraft der Federspeicherbremse des Rangiertraktors | 17 |
| 2.1.2 | Bremskonzept des Rangiertraktors | 17 |
| 2.1.3 | Einfluss der Einstellung der Bremsgestänge auf die Bremsklotzkraft des Federspeichers | 18 |
| 2.1.4 | Anprallgeschwindigkeit und rechnerische Simulation des Entlaufens | 18 |
| 2.1.5 | Beurteilung der Verfärbung an den Laufflächen der Federspeicherbremssohlen | 18 |
| 2.2 | Organisatorische Aspekte | 19 |
| 3 | Schlussfolgerungen | 20 |
| 3.1 | Befunde | 20 |
| 3.1.1 | Technische Aspekte | 20 |
| 3.1.2 | Betriebliche oder prozessuale Aspekte..... | 20 |
| 3.2 | Ursachen..... | 20 |
| 4 | Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen | 21 |
| 4.1 | Sicherheitsempfehlungen..... | 21 |
| 4.1.1 | Bremskonzept Federspeicherbremse | 21 |
| 4.2 | Sicherheitshinweise | 22 |
| 4.2.1 | Vorschriften für die Einstellung und die Überprüfung der Federspeicherbremse | Fehler! Textmarke nicht definiert. |
| 4.3 | Seit dem Unfall getroffene Massnahmen..... | 23 |

Zusammenfassung

Überblick

| | |
|--------------------------|--|
| Verkehrsmittel | Eisenbahn |
| Beteiligte Unternehmen | |
| Transportunternehmen | Matterhorn Gotthard Bahn AG, Brig |
| Infrastrukturunternehmen | Matterhorn Gotthard Bahn AG, Brig |
| Beteiligte Fahrzeuge | Rangiertraktor Tm 2/2 Nr. 4971, drei Dienstwagen |
| Ort | Andermatt (UR) |
| Datum und Zeit | 28. November 2016, ca. 09:20 Uhr |

Untersuchung

Das Entlaufen der abgestellten Komposition ereignete sich am 28. November 2016 um 09:20 Uhr. In Anbetracht dessen, dass es beim Ereignis keinen Sachschaden und keine Verletzten gab, hätte die Matterhorn Gotthard Bahn AG (MGB) auf eine Meldung des Vorfalls verzichten können (Art. 15 VSZV¹). Weil die Umstände des Entlaufens der Komposition ähnlich wie diejenigen beim Unfall vom 1. September 2016 waren (Schlussbericht Reg.-Nr.: 2016090101), verständigte die Matterhorn Gotthard Bahn AG die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) gegen 12:20 Uhr.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Untersuchung des Rangiertraktors Tm 4971;
- Technische Dokumentation und Zeichnungen der Rangierbremse und der Feststellbremse des Rangiertraktors Tm 4971;
- Resultate der Rollversuche in Andermatt vom 6. Dezember 2016;
- Resultate der Messungen der Bremsklotzkraft der Feststellbremse vom 2. Februar 2017.
- Auswertungen Teloc 500. Anhand dieser Auswertungen konnte eine Simulation für das Entlaufen berechnet werden.

Kurzdarstellung

Am 28. November 2016 gegen 09:20 Uhr wurde im Bahnhof Andermatt auf Gleis 5 eine Komposition, bestehend aus dem zweiachsigen Rangiertraktor Tm 4971 und drei Dienstwagen, abgestellt. Kurze Zeit später entlief die Komposition talwärts Richtung Göschenen und prallte nach ca. 150 m Fahrt gegen abgestellte Schotterwagen. Weder am Rollmaterial noch an der Infrastruktur entstand Sachschaden. Niemand wurde verletzt.

¹ SR 742.161 Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2015 (VSZV), Stand 1. Februar 2015

Ursachen

Das Entlaufen der Komposition ist auf eine ungenügende Festhaltekraft des Rangiertraktors Tm 4971 zurückzuführen, da die Bauart des Bremsgestänges der Feststellbremse die benötigte Reibungskraft nicht sicherstellen konnte.

Der folgende Faktor hat zum Unfall beigetragen:

- Die fehlende Vorschrift für die Einstellung und Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse.
- Die von der Rangierbremse unabhängige Feststellbremse, die ausschliesslich im Stillstand eingesetzt wird. Dadurch reiben die Grauguss-Bremssohlen nie gegen das drehende Rad und werden nie an die Radlauffläche angepasst und gereinigt.

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 weder eine Sicherheitsempfehlung, noch ein Sicherheitshinweis ausgesprochen. Es wird verwiesen auf zwei, mit dem Schlussbericht Reg.-Nr. 2016090101 ausgesprochene Sicherheitsempfehlungen.

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Ereignisses

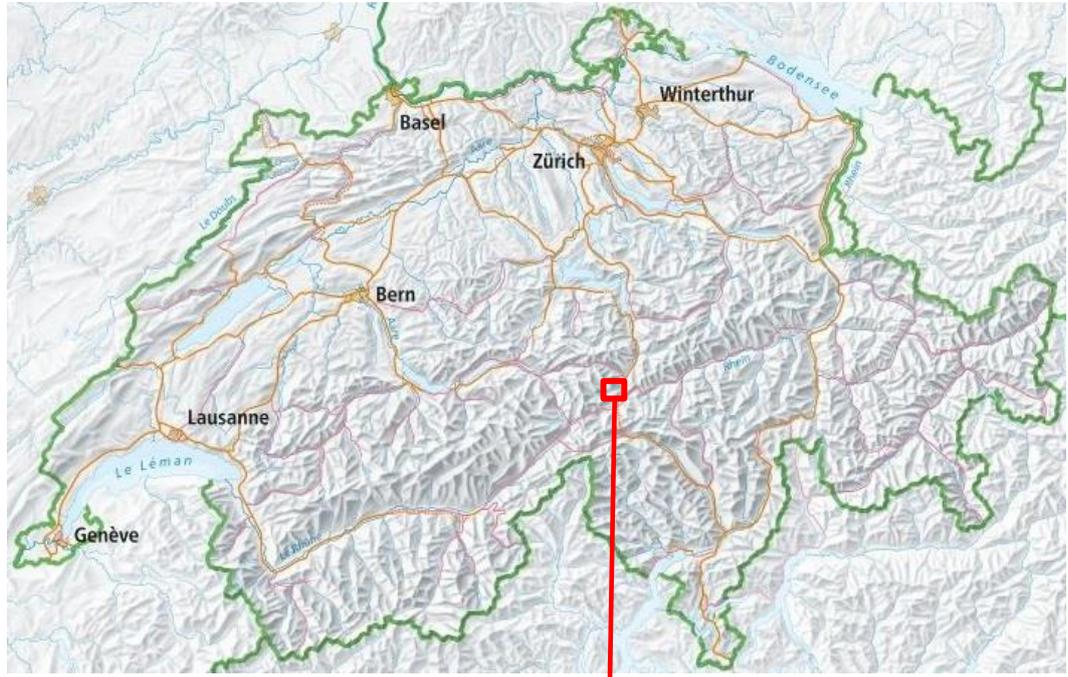


Abbildung 1: Übersichtskarte Andermatt. Basiskarte reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopografie Swisstopo (JA150149).



Abbildung 2: Gelb: Bahnhof Andermatt. Rot: Standort der abgestellten Komposition im Gleis 5. Grün: Standort der abgestellten Schotterwagen. Zwischen rot und grün: Bahnübergang (Quelle: Webcam Andermatt).

1.2 Vorgeschichte

Am 28. November 2016 gegen 09:20 Uhr wurde im Bahnhof Andermatt auf Gleis 5 eine Komposition der Matterhorn Gotthard Bahn AG, bestehend aus dem zweiachsigen Rangiertraktor Tm 4971 und drei Dienstwagen, abgestellt. Die Federspeicherbremse des Rangiertraktors wurde angelegt. Der Lokführer hatte das Fahrzeug verlassen, um weitere Rangiertätigkeiten auszuüben.

1.3 Ablauf des Ereignisses

Gegen 09:34 Uhr meldete ein Mitarbeiter der MGB-Infrastruktur, dass die früher auf dem Gleis 5 abgestellte Komposition gegen die drei in Richtung Göschenen abgestellten Schotterwagen aufgeprallt ist. Bis zum Anprall mit den Schotterwagen legte die entlaufene Komposition ca. 150 m zurück und fuhr über den kurz nach dem Bahnhof mit Blinklicht gesicherten, aber nicht eingeschalteten Bahnübergang „Gotthardstrasse“.

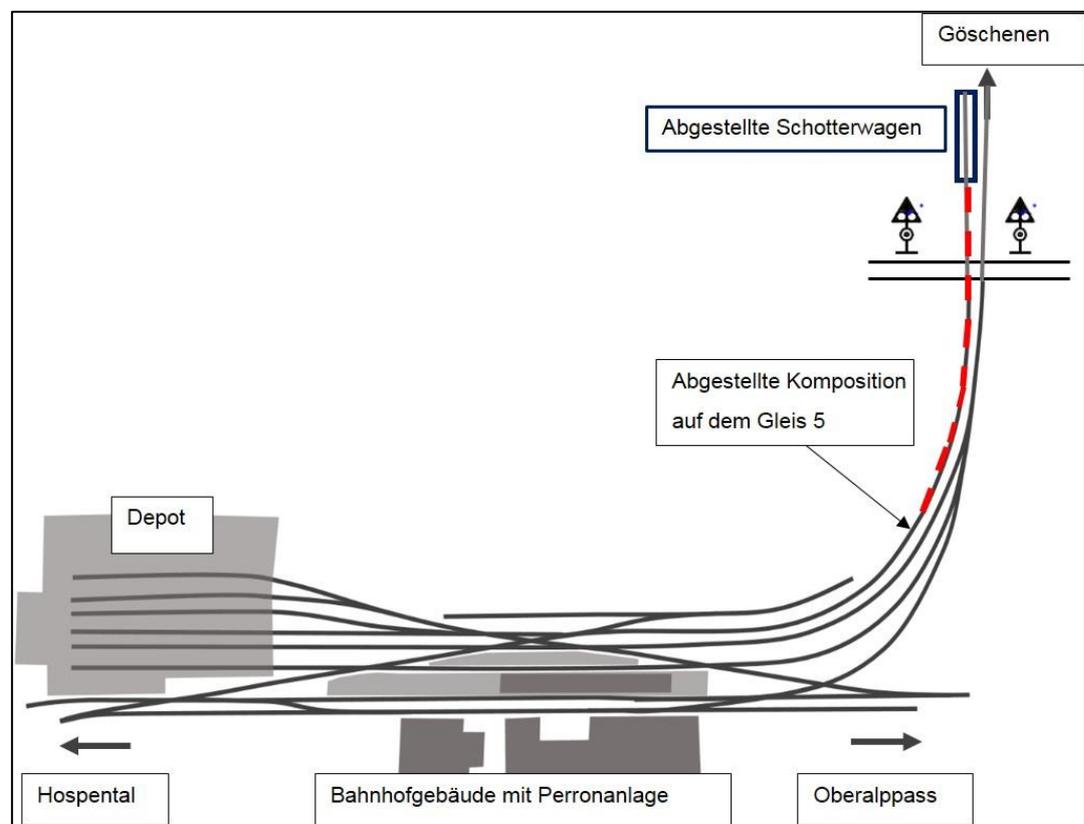


Abbildung 3: Detailplan des Bahnhofs Andermatt; rotgestrichelt: zurückgelegter Weg der entlaufenen Komposition

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Es gab keine Verletzte

1.4.2 Infrastruktur

Keine

1.4.3 Fahrzeuge

Keine

1.5 Beteiligte und betroffene Personen**1.5.1 Bahnpersonal**

1.5.1.1 Lokführer

Person

Jahrgang 1964

Anstellung bei der MGB

Berechtigung

BAV²-Ausweis Kategorie A

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen**1.6.1 Infrastruktur**

Matterhorn Gotthard Bahn AG, Brig

1.6.2 Transportunternehmung

Matterhorn Gotthard Bahn AG, Brig

1.6.3 Fahrzeugeigentümer

Matterhorn Gotthard Bahn AG, Brig

1.7 Infrastruktur**1.7.1 Bahnanlage**

1.7.1.1 Beschreibung

Kurz nach dem Bahnhof in Richtung Göschenen befindet sich der mit Blinklicht gesicherte Bahnübergang „Gotthardstrasse“. Dieser dient vorwiegend der Erschliessung der Logistikkbasis der Armee.

Die Ansteuerung des Bahnübergangs erfolgt für eine Zufahrstrasse automatisch und für eine Rangierbewegung obliegt sie dem Fahrdienstleiter.

Ab dem Abstellort der Komposition auf Gleis 5 in Richtung Göschenen weist das Gleis bis zu den abgestellten Schotterwagen ein Gefälle von 5 bis 15 ‰ auf (Abbildung 4).

² BAV: Bundesamt für Verkehr

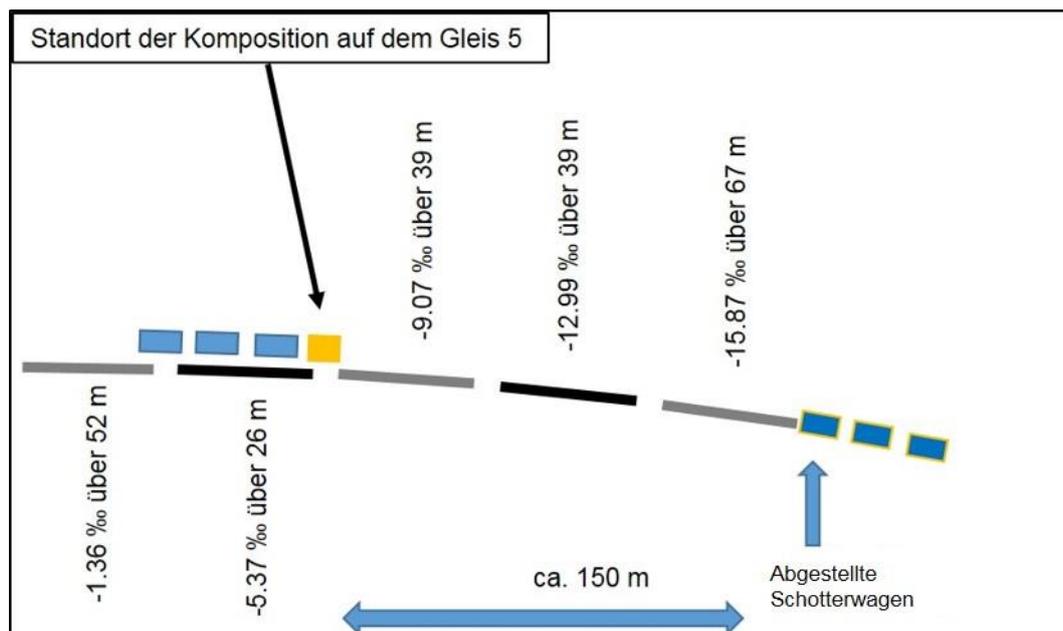


Abbildung 4: Gleisneigung vom Abstellort Gleis 5 bis zu den drei abgestellten Schotterwagen. Gelb: Rangiertraktor; blau: Dienstwagen.

1.7.1.2 Feststellung

Der Bahnübergang war während der Durchfahrt der entlaufenen Komposition nicht eingeschaltet.

1.8 Fahrzeuge

1.8.1 Abgestellte Komposition auf Gleis 5

Die Komposition war wie folgt gebildet:

| Fahrzeug | | Gewicht | Festhaltekraft ³ |
|-----------------------|----------|---------------|-----------------------------|
| Rangiertraktor Tm 2/2 | Nr. 4971 | 21.8 t | 11 t (11 kN) |
| Fahrleitungswagen | X 2911 | 22.9 t | |
| Hilfswagen | X 2916s | 20.2 t | |
| Flachwagen | K 4642s | 6.8 t | |
| Total | | 71.7 t | 11 t (11 kN) |

³ Die Festhaltekraft ist die neue Bezeichnung gemäss Schweizerischen Fahrdienstvorschriften FDV SR 742.173.001, Stand 1. Juli 2016.

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

1.8.2 Rangiertraktor Typ Tm 4971-4972

1.8.2.1 Funktionsbeschreibung des Antriebs- und Bremssystems

1.8.2.1.1 Antrieb und seine Steuerung

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 angeflanscht. Die Wendeschaltung erfolgt durch einen auf dem Führerpult eingebauten Hebel. Die Umschaltung von einer Position zur anderen (Vorwärts - 0 - Rückwärts) ist nur im Stillstand möglich.

Die Betriebsvorschriften schreiben vor, dass bei der Ausserbetriebssetzung des Fahrzeuges das Voith-Turbogetriebe auszuschalten ist (Wendeschalter auf Position 0).

1.8.2.1.2 Rangierbremse

Über das Rangierbremsventil des Typs Westinghouse kann ein Bremsdruck von maximal 5 Bar im einzigen Bremszylinder erzeugt und gesteuert werden. Das Rangierbremsventil verfügt über die folgenden Positionen: Lösen - Neutral - Bremsen - Vollbremsung.

- In der Position „Lösen“ wird der Bremszylinder entlüftet.
- In der Position „Neutral“ wird die Nachspeisung des Bremszylinders unterbrochen; die Luftverluste des Bremssystems werden somit nicht kompensiert.
- In der Position „Bremsung“ füllt das System den Bremszylinder zeitabhängig.
- In der Position „Vollbremsung“ verhindert eine Rastrierung, dass sich das Rangierbremsventil selbstständig wieder zurück in die „Neutral“-Position bewegt, und speist den Bremszylinder permanent nach.

Die Bremszylinderkraft wirkt über die Bremsgestänge auf vier Grauguss-Bremssohlen (zwei pro Achse) (Anlage 2, Abbildungen 8 und 9).

1.8.2.1.3 Feststellbremse⁴

Auf dem Führerpult befindet sich ein pneumatischer Hahn mit 0-I-Funktion, der einen Federspeicherbremszylinder steuert (Abbildung 5).



Abbildung 5: Hahn für die Federspeicherbremse auf dem Führerpult in der Position „fest“ (Anschrift Stillhaltebremse fest).

Die Federspeicherbremse hat zwei Positionen:

⁴ Feststellbremse: Als Feststellbremsen gelten Handbremse oder Federspeicherbremse.

- Position los, senkrecht;
- Position fest, waagrecht.

Die Federspeicherbremse wird nur im Stillstand angelegt. Sie wirkt über eigene Bremsgestänge auf zwei Grauguss-Bremssohlen einer Achse. Die Bremsgestänge und Bremssohlen der Feststellbremse sind komplett unabhängig von den Bremsgestängen und Bremssohlen der Rangierbremse (Anlage 2, Abbildung 9).

Eine automatische Kompensation der Klotzbremssohlenabnutzung der Federspeicherbremse (sog. Stopex) ist nicht eingebaut. Vor dem Umbau von der Handbremse zur Federspeicherbremse (1.8.4) hat die Gewindespindel der Handbremse diese Kompensation sichergestellt.

1.8.2.2 Feststellungen

Die Bremsen des Rangiertraktors Tm 4971 wurden durch das technische Personal der MGB vor der SUST-Untersuchung kontrolliert und nachgestellt.

Ein Teamleiter der MGB, der sich direkt nach dem Ereignis auf den Rangiertraktor Tm 4971 begab, stellte im Führerstand des Fahrzeuges fest, dass der Hahn der Federspeicherbremse auf der Position „fest“ stand (Abbildung 5).

1.8.3 Umbau der Handbremse auf Federspeicherbremse

1.8.3.1 Vorgeschichte

Die zwei Rangiertraktoren Tm 4971 und Tm 4972 wurden im Jahr 1976 durch die damalige Furka-Oberalp-Bahn (FO) für den Endausbau des Furkabasistunnels bei der Firma Schöma beschafft. Im Winter 1979/1980 wurden die beiden Fahrzeuge mit einer von der Rangierbremse unabhängigen Handbremse ausgerüstet (Handkurbel im Führerstand). Mit der Fusion der FO und der Brig-Visp-Zermatt-Bahn (BVZ) zur MGB im Jahr 2003 gingen die Fahrzeuge in deren Besitz über.

1.8.3.2 Bremsberechnung vor dem Umbau der Handbremse zur Federspeicherbremse

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

Die Berechnung für den Umbau der Federspeicherbremse ergab Folgendes:

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

1.8.3.3 Genehmigungsantrag für den Umbau

Am 27. August 2007 reichte die MGB beim BAV einen Antrag für den Ersatz der Handbremse durch eine Federspeicherbremse ein. Der Umbau der Handbremse sollte zur Erhöhung der Sicherheit beitragen und das Lösen der Handbremse bei unsachgemässer Bedienung verhindern.

Aufgrund 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 Radlaufläche 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 von 1.35 ergibt, gegenüber einer Sicherheit von 1.23 mit der Handkurbel.

Auf dieser Basis verzichtete das BAV auf eine Genehmigung. 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 verzichtete auf das Erteilen einer neuen Betriebsbewilligung.

1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.9.1 Fahrdatenschreiber

Der Rangiertraktor Tm 4971 ist mit einem Restwegspeicher des Typs „Tel 500“ ausgerüstet. Die Fahrdaten werden auf einer mobilen Kassette aufgezeichnet. Die Kassette wurde nach dem Ereignis durch die MGB entnommen und die Rohdaten der SUST zur Verfügung gestellt (Anlage 1, Abbildung 7).

Die Auswertung der Fahrdaten ergibt Folgendes:

- Bei der letzten Bewegung vor dem Abstellen der Komposition wurde der Rangiertraktor mit der Rangierbremse angehalten;
- Drei Minuten nach dem Abstellen der Komposition fällt der Rangierbremszylinderdruck unter 1 Bar;
- Ca. 5 Minuten nach dem Abstellen fängt die Komposition an wegzurollen;
- Die maximale Geschwindigkeit des Entlaufens betrug 8 km/h;
- Der zurückgelegte Weg bis zum Anprall betrug ca. 150 m;
- Ca. 12 Minuten nach dem Anprall wurde die Rangierbremse wieder angelegt;
- Der Federspeicherbremsdruck wird vom System nicht aufgezeichnet.

1.10 Besondere Untersuchungen

1.10.1 Rollversuche

Am 6. Dezember 2016 wurden Versuche mit dem Rangiertraktor Tm 4971 durchgeführt, um einerseits die vorhandene Festhaltekraft des Rangiertraktors zu verifizieren und um andererseits die Geschwindigkeit beim Entlaufen einer ungebremsten Komposition nach 150 m zu bestimmen.

Um das Gewicht der Anhängelast zu simulieren, wurde am Rangiertraktor Tm 4971 eine Lokomotive (50 t) angehängt. Die Lokomotive war ungebremst. Die Komposition wurde am gleichen Standort auf dem Gleis 5 (Strecken­neigung 5 ‰) aufgestellt.

1.10.1.1 Voraussetzungen Fahrzeugzustand

Zwei bereits eingeschliffene Bremssohlen der Rangierbremse wurden ausgebaut und als Federspeicherbremssohlen wieder eingebaut. Das Spiel zwischen Rad

und Federspeicherbremssohlen wurde mittels der Einstellmöglichkeit im Bremsgestängesystem neu eingestellt (Anlage 3, Abbildung 12).

1.10.1.2 Erster Teil des Rollversuches

Mit der angelegten Federspeicherbremse des Rangiertraktors Tm 4971 stand die Komposition still.

1.10.1.3 Zweiter Teil des Rollversuches

Der Wendschalter des Voith-Getriebes wurde in die 0-Position gebracht. Die Federspeicherbremse des Rangiertraktors Tm 4971 wurde gelöst, um die Komposition selbstständig rollen zu lassen.

Nach einer Fahrt von ca. 130 m erreichte die ungebremste Komposition eine Geschwindigkeit von 14 km/h.

1.10.2 Funktionsüberprüfung des Federspeicherbremssystems

1.10.2.1 Federspeicherbremszylinder

Der Federspeicherbremszylinder wurde ausgebaut und durch den Hersteller überprüft. Der Federspeicherbremszylinder ist neuwertig und funktioniert einwandfrei.

1.10.2.2 Bremsgestänge / Federspeicherbremssohlen

Die Länge der Bremsgestänge (Hebel, T-förmige Umlenkhebel) wurde überprüft und stimmt mit der Bremsskizze (Anlage 2, Abbildung 9) überein.

Die Konstruktion der Bremsgestänge des Federspeichersystems und deren Einstellmöglichkeiten lassen den Einbau einer neuen Bremssohle (60 mm Dicke) nicht zu. Daher muss eine teilweise abgenutzte Bremssohle von der Rangierbremse ausgebaut und als Federspeicherbremssohle eingebaut werden.

1.10.2.3 Kraftmessung an den Federspeicherbremssohlen

Um einerseits die effektive Anpresskraft der Bremssohlen gegen das Rad zu verifizieren und andererseits den Einfluss des Bremsklotzspiels auf die Anpresskraft zu bestimmen, wurden zwei verschiedene Messungen durchgeführt.

1.10.2.3.1 Messung mit Messbremssohlen

Eine mit Sensoren ausgerüstete Messbremssohle wurde anstelle der normalen Bremssohle eingebaut. Da die Dicke der Messbremssohle einer neuen Bremssohle entsprach, musste die Einstellung der Bremsgestänge angepasst werden, was zur Ungenauigkeit der Messungen führte.

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

1.10.2.3.2 Messung mit einem Dehnungssensor

Im Bremsklotzhalter wurde ein Messbolzen mit Dehnungssensor eingebaut (Anlage 3, Abbildung 11). Bei dieser Messmethode entsprach die Einstellung des Bremsgestänges der normalen Einstellung (abgenutzte Klotzbremssohlen).

Anschliessend wurde die Messung mit verschiedenen Einstellungen der Bremsgestänge wiederholt.

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

1.10.3 Berechnung der Tangentialkraft im Gleisgefälle

Bei einer Anhängelast von 50 t erzeugt die Schwerkraft in einem Gefälle von 5 ‰ eine Tangentialkraft von 2.5 kN.

Eine in einem 5 ‰-Gleisgefälle abgestellte Komposition von 72 t (wie beim Unfallzeitpunkt) erzeugt durch die Schwerkraft eine Tangentialkraft von 3.6 kN.

1.10.4 Rechnerische Simulation des Entlaufens

Die abgestellte Komposition mit dem Rangiertraktor Tm 4971 stand auf einem Gleisabschnitt mit 5 ‰ Neigung. Kurz vor dem Entlaufen war ausschliesslich die Federspeicherbremse angelegt. Mittels einer rechnerischen Simulation kann die Restbremskraft der Federspeicherbremse für das Entlaufen der Komposition ermittelt werden.

Die Parameter berücksichtigen die Masse der Komposition, die Rollreibung und die Streckenneigung über den abgefahrenen Weg. Die Restbremskraft (Wirkung der Federspeicherbremse) ist als variabel eingesetzt und variiert zwischen 0 und 900 N.

Die Simulation zeigt Folgendes:

- Mit einer Restbremskraft von 200 N entläuft die Komposition und nach einer Fahrt von 130 m erreicht sie eine Geschwindigkeit von 15 km/h.
- Mit einer Restbremskraft von 900 N entläuft die Komposition nicht.

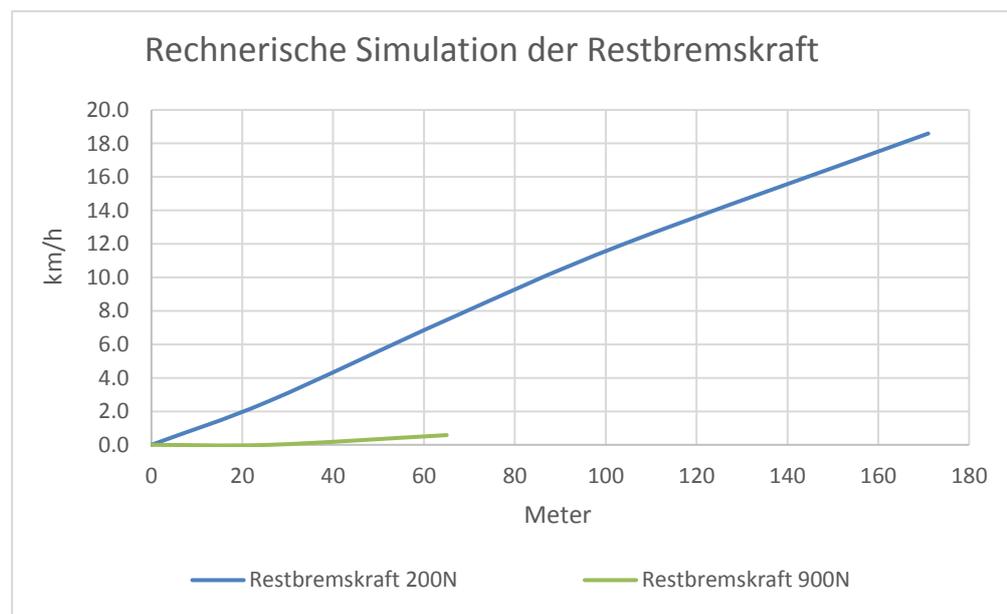


Abbildung 6: Blaue Kurve: rechnerische Simulation mit Restbremskraft von 200 N.
Grüne Kurve: rechnerische Simulation mit Restbremskraft von 900 N.

1.11 Regelungen

1.11.1 Schweizerische Fahrdienstvorschriften, Festhaltebremskraft

Gemäss den Schweizerischen Fahrdienstvorschriften⁵ (FDV) R 300.5 Beilage 1, Tabelle der Mindestfesthaltekraft, reicht für die Sicherung einer abgestellten Komposition mit einem Zuggewicht von 100 t in einer Streckenneigung von 5 ‰ eine Mindestfesthaltekraft von 8 kN. Für den Rangiertraktor Tm 4971 allein ist in einer Streckenneigung von 40 ‰ eine Mindestfesthaltekraft von 12.5 kN erforderlich.

1.11.2 Unterhalt des Fahrzeuges – Austausch der Federspeicherbremssohlen

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

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

Eine Überprüfung der tatsächlichen Bremswirkung der Feststellbremse ist nicht vorgesehen.

1.11.3 Spezifischer Druck der Bremssohle und Reibungskoeffizient

Gemäss den technischen Unterlagen von SIG⁶ über das Reibwertdiagramm der Bremssohle (Anlage 3, Abbildung 10) sind die Bremssohlen bis zu einem spezifischen Druck von 12 kg/cm² geeignet. Darüber verringert sich mit dem Anstieg des spezifischen Druckes der Reibungskoeffizient μ_k zwischen Bremsklotz und Rad massiv.

1.12 Ähnliche Zwischenfall

1.12.1 Entlaufen des Tm 4972 von 1. September 2016

Am 1. September 2016 entlief der Rangiertraktor 4972 mit vier angekuppelten Reisezugwagen vom Gleis 4 aus dem Bahnhof Andermatt in Richtung Göschenen (Schlussbericht Reg.-Nr.: 2016090101). Nach ca.1500 m Fahrt entgleiste die entlaufene Komposition in der Galerie „Bäzberg“.

1.12.2 Zustand der Lauffläche der Federspeicherbremssohlen

Die während der Untersuchung zum Zwischenfall vom 1. September 2016 durchgeführte Analyse der Lauffläche der Federspeicherbremssohlen (die normalerweise nur im Stillstand angelegt sind) zeigte zwei Verfärbungen der Lauffläche (Anlage 3, Abbildung 13).

⁵ SR 742.173.001 Schweizerische Fahrdienstvorschriften vom 01.07.2015, Stand am 1. Juli 2016

⁶ SIG: Ehemalige Schweizerische Industrie-Gesellschaft

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Festhaltekraft der Federspeicherbremse des Rangiertraktors

Die berechnete Reibungskraft der Federspeicherbremse (Festhaltekraft) des Rangiertraktors Tm 4971 (11 kN) reicht völlig aus, um die durch die abgestellten Fahrzeuge im Gleisabschnitt mit 5 ‰ Gefälle generierte Tangentialkraft (3.6 kN) aufzunehmen. Wenn die angenommene Festhaltekraft der Federspeicherbremse effektiv gewirkt hätte, wäre die abgestellte Komposition nicht entlaufen. Das Entlaufen der Komposition lässt den Schluss zu, dass die Federspeicherbremse nicht mit genügend grosser Kraft gewirkt hat.

2.1.2 Bremskonzept des Rangiertraktors

2.1.2.1 Rangierbremse

Die Rangierbremse des Rangiertraktors Tm 4971 verfügt über einen einzigen Bremszylinder. Infolge eines technischen Defekts am Bremszylinder selber oder beim Bruch der Luftleitung der Bremszylinderspeisung ist nur noch die Federspeicherbremse auf dem Rangiertraktor wirksam.

Unter diesem Aspekt ist es auch sicherheitsrelevant, dass die Federspeicherbremse mindestens die Mindestfesthaltekraft für ein Gefälle von 40 ‰ sicherstellt.

2.1.2.2 Federspeicherbremse

Im Normalfall ist die Federspeicherbremse nur im Stillstand angelegt. Weil die Federspeicherbremse über einen eigenen Federspeicherbremszylinder und eigene Bremsgestänge verfügt, kommen die Bremssohlen ausschliesslich im Stillstand mit den Rädern einer Achse in Kontakt. Daher werden die Bremssohlen keinem Verschleiss unterworfen und somit die Verschmutzungen oder Rostbildung an den Bremssohlen nie entfernt. Die Bremssohlen werden auch nie durch Reibung an das Radprofil angepasst.

Mit dieser Ausführung kann nicht sichergestellt werden, dass die Bremssohlen der Federspeicherbremse ganzflächig an den Rädern anliegen. Die Möglichkeit, dass die Bremssohlen die Räder nur an zwei oder drei Punkten berühren, ist vorhanden.

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

2.1.2.3 Ausfall der Rangierbremse – Einlegen der Federspeicherbremse als Notmassnahme

Wenn während einer Alleinfahrt des Rangiertraktors die Rangierbremse ausfällt, muss das Fahrzeug, als Notmassnahme, mit der Federspeicherbremse angehalten werden können.

Es ist deshalb wichtig, dass die Federspeicherbremse in jedem Fall die nötige Bremswirkung und die Mindestfesthaltekraft für das maximale Streckengefälle sicherstellen kann.

Die aktuelle Federspeicherbremse erfüllt diese Anforderung nicht.

2.1.3 Einfluss der Einstellung der Bremsgestänge auf die Bremsklotzkraft des Federspeichers

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 berechnete Reibungskraft der Federspeicherbremse zwischen 5 und 7 kN ergibt. Die effektive Reibungskraft der Federspeicherbremse ist somit ca. 40 % kleiner als der berechnete Wert von 11 kN für den Umbau auf Federspeicher im Jahr 2007.

Eine automatische Nachstellmöglichkeit des Bremsklotzspiels des Federspeichers (sog. Stopex) ist nicht vorhanden. Dagegen wurde mit dem ehemaligen Handbremssystem das Bremsklotzspiel durch das Festziehen der Kurbel bis zum Anschlag kompensiert. Andererseits wird eingeklemmtes Eis oder Schnee beim Schmelzen automatisch durch die Federspeicherbremse nachgestellt und ein Rückfedern des Gestänges wird ebenfalls eliminiert. Die Konzeption der Bremsgestänge ergibt je nach Einstellung eine massive Verminderung der Bremsklotzkraft. Ein ausreichender Hub des Federspeicherzylinders ist zwingend notwendig, um das Risiko dieser Bremskraftverminderung zu minimieren.

2.1.4 Anprallgeschwindigkeit und rechnerische Simulation des Entlaufens

Wenn der Rangiertraktor abgestellt ist, ist systembedingt die Nachspeisung der Rangierbremse nicht mehr gewährleistet. Mit der Undichtigkeit des Luftsystems erschöpft sich die Rangierbremse langsam, bis sie wirkungslos ist.

Bei einem ungebremsten Entlaufen der Komposition ergibt die rechnerische Simulation nach einer Fahrt von ca. 150 m eine momentane Geschwindigkeit von 15 km/h. Da bei diesem Ereignis die Anprallgeschwindigkeit ca. 8 km/h betrug, musste während des Entlaufens eine Restbremskraft vorhanden gewesen sein.

Die Simulation zeigt, dass eine Restbremskraft in der Grössenordnung von 200 N vorhanden sein musste. Bei einer Restbremskraft von 900 N oder mehr wäre die Komposition nicht entlaufen.

2.1.5 Beurteilung der Verfärbung an den Laufflächen der Federspeicherbremssohlen

2.1.5.1 Entlaufen vom 1. September 2016

Beim ca. 1500 m langen Entlaufen der Rangierkomposition mit dem Rangiertraktor Tm 4972 lagen die Bremssohlen der Federspeicherbremse längere Zeit an den Rädern an. Die Analyse dieser Bremssohlen zeigt folgende Besonderheiten (Anlage 3, Abbildung 13):

- Beide Bremssohlen lagen nur mit ca. 70 % der Lauffläche am Rad an;
- Zwei blaue Verfärbungen weisen auf eine örtliche Erhitzung der Bremssohlen hin.

Diese Beobachtungen lassen den Rückschluss zu, dass die Bremssohlen im Stillstand vor dem Entlaufen nur an zwei Orten am Rad anlagen. Somit hat sich die Federspeicherkraft auf diese zwei Orte der Bremssohle konzentriert. Der spezifische Druck pro Quadratzentimeter hat sich dort stark erhöht und der Reibungskoeffizient μ_k ging dort entsprechend zurück (Anlage 3, Abbildung 10).

2.1.5.2 Entlaufen vom 28. November 2016

An den Reibflächen der Bremsklötze der Federspeicherbremse waren keine, durch Hitze entstandenen Verfärbungen zu erkennen. Ein Rollweg von 150 m erzeugt

eine zu geringe Erwärmung, um eine Verfärbung der Laufflächen der Federspeicherbremssohlen zu produzieren. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass beim Rangiertraktor Tm 4971 die Wirkung der Federspeicherbremse, analog zum Vorfall von 1. September 2016, so stark reduziert wurde, dass ein Entlaufen möglich wurde.

2.2 Organisatorische Aspekte

Obwohl keine schriftliche Arbeitsanweisung vorliegt, tauschen die MGB seit Jahren beim jährlichen Präventivunterhalt der Rangiertraktoren Tm 4971 und Tm 4972 die Bremssohlen der Federspeicherbremse gegen zwei teilweise abgenutzte Bremssohlen der Rangierbremse aus. Diese Praxis zeigt, dass die nicht optimale Wirkung der Federspeicherbremse bekannt war. Warum sonst ist es nötig, die zwei Federspeicherbremssohlen, die keine Abnutzung aufweisen, auszutauschen, ausser um die Anpassung des Klotzes an das sich verändernde Rad annähernd zu gewährleisten.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Die Federspeicherbremse des Rangiertraktors ist mechanisch und pneumatisch von der Rangierbremse getrennt.
- Die Federspeicherbremse besitzt eigene Bremszylinder, Bremsgestänge und Grauguss-Bremssohlen.
- Der Federspeicherbremszylinder war praktisch neuwertig und funktionierte einwandfrei.
- Die Festhaltekraft (11 kN) der Federspeicherbremse des Rangiertraktors Tm 4971 reicht aus, um die durch die abgestellten Fahrzeuge im Gleisabschnitt mit 5 ‰ Gefälle generierte Tangentialkraft (3.6 kN) aufzunehmen.
- Die Wirkung der Federspeicherbremse genügte nicht, um die Komposition im Stillstand zu halten.
- Die Komposition ist mit festgestellter Federspeicherbremse entlaufen.
- Beim Anprallpunkt nach ca. 150 m Fahrt betrug die Geschwindigkeit der entlaufenen Komposition 8 km/h.

3.1.2 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

- Die Berechnung und die Zeichnungen der Komponenten der Federspeicherbremse sind vorhanden.
- Die Nachweisdokumentation nach dem Umbau der Federspeicherbremse ist vorhanden.
- Eine schriftliche Arbeitsanweisung für den Tausch der Bremssohlen der Federspeicherbremse ist nicht vorhanden, jedoch werden die Bremssohlen beim jährlichen Präventivunterhalt ausgetauscht.
- Die Überprüfung der effektiven Bremswirkung der Federspeicherbremse ist nicht vorgesehen.

3.2 Ursachen

Das Entlaufen der Komposition ist auf eine ungenügende Festhaltekraft der Feststellbremse des Rangiertraktors Tm 4971 zurückzuführen, da die Bauart des Bremsgestänges der Federspeicherbremse die benötigte Reibungskraft nicht sicherstellen konnte.

Der folgende Faktor hat zum Unfall beigetragen:

- Die fehlende Vorschrift für die Einstellung und Überprüfung der Bremswirkung der Feststellbremse.
- Die von der Rangierbremse unabhängige Feststellbremse, die ausschliesslich im Stillstand eingesetzt wird. Dadurch reiben die Grauguss-Bremssohlen nie gegen das drehende Rad und werden nie an die Radlauffläche angepasst und gereinigt.

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 Federspeicherbremse

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Die Federspeicherbremse ist mechanisch und pneumatisch unabhängig von der Rangierbremse. Sie wird ausschliesslich im Stillstand eingesetzt. Die Grauguss-Bremssohlen reiben nie gegen das drehende Rad und werden somit nie an die Radlauffläche und den Raddurchmesser angepasst. 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 nur noch die Federspeicherbremse auf dem Rangiertraktor wirksam. Unter diesem Aspekt ist es sicherheitsrelevant, dass die Federspeicherbremse mindestens die Mindestfesthaltekraft für ein Gefälle von 40 ‰ sicherstellt.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung

Das im vorliegenden Fall erhobene Sicherheitsdefizit wurde im Schlussbericht Reg.-Nr. 2016090101 über das Entlaufen einer Rangierkomposition vom 1. September 2016 in Andermatt bereits aufgegriffen und mit der Sicherheitsempfehlung Nr. 129 behandelt. Aus diesem Grund verzichtet die SUST auf die Aussprache einer weiteren Sicherheitsempfehlung.

Die mit dem Schlussbericht Reg.-Nr. 2016090101 an das BAV ausgesprochene Sicherheitsempfehlung Nr. 129 lautet:

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 im vorliegenden Fall erhobene Sicherheitsdefizit wurde im Schlussbericht Reg.-Nr. 2016090101 über das Entlaufen einer Rangierkomposition vom 1. September 2016 in Andermatt bereits aufgegriffen und mit der Sicherheitsempfehlung Nr. 130 behandelt. Aus diesem Grund verzichtet die SUST auf die Aussprache einer weiteren Sicherheitsempfehlung.

Die mit dem Schlussbericht Reg.-Nr. 2016090101 an das BAV ausgesprochene Sicherheitsempfehlung Nr. 130 lautet:

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.

Bei Anwendung der Federspeicherbremse wird als Sofortmassnahme vorläufig der Rangiertraktor zusätzlich mit einem Hemmschuh gesichert.

Beim Tm 4971 wurde ein zweiter Federspeicherbremszylinder auf die Klötze der Rangierbremse wirkend eingebaut. Die alte Federspeicherbremse wurde belassen. Durch die Betätigung des pneumatischen Schalters auf dem Führerstand werden jetzt alle sechs Klötze angesteuert und bilden die Federspeicherbremse. Die Festhaltekraft beträgt neu 25 kN.

Die P2-Checkliste⁷ wurde ergänzt. Der Punkt, die Federspeicherbremse auf ihre Wirkung zu prüfen, wurde eingefügt.

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, 12. Dezember 2017

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

⁷ P2-Checkliste: Checkliste für Präventiv-Unterhalt P2

Anlage 1

Fahrdaten Tm 4971

| Datum | Zeit | Weg(m) | km/h | Vo | Ru | B1 | B2 | Ho | Ra | Tr | BU |
|----------|----------|--------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 16-11-28 | 11:05:09 | 1865.1 | 0.9 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:05:08 | 1865.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:05:05 | 1866.1 | 0.7 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:05:03 | 1866.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:05:00 | 1867.1 | 0.5 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:56 | 1867.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:53 | 1868.1 | 0.5 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:49 | 1868.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:46 | 1869.1 | 0.5 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:41 | 1869.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:38 | 1870.1 | 0.4 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:28 | 1870.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:04:26 | 1871.1 | 0.2 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:03:22 | 1871.1 | 0.0 | . | . | . | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 11:02:21 | 1871.1 | 0.0 | . | . | B1 | . | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 10:59:32 | 1871.1 | 0.0 | . | . | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 10:59:21 | 1871.1 | 0.0 | . | Ru | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 10:59:18 | 1871.1 | 0.0 | . | . | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| 16-11-28 | 10:59:15 | 1871.1 | 0.0 | Vo | . | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| | | 1872.1 | 3.7 | Vo | . | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| | | 1873.1 | 4.4 | Vo | . | B1 | B2 | . | Ra | . | . |
| | | 1874.1 | 4.8 | Vo | . | B1 | . | . | Ra | . | . |

Abbildung 7: Tabellarischer Auszug der Fahrdaten (Restwegspeicher); gelbe Linie: Fahrzeug abgestellt, Wendschalter auf Rückwärts; rote Linie: Beginn des Entlaufens.

Legende der Signale:

Vo: Vorwärts

Ru: Rückwärts

B1: Bremsdruck 1 (> 1 bar)

B2: Bremsdruck 2 (> 3 bar)

Ra: Rangieren

Bemerkung:

- Die Registrierung der Geschwindigkeit startet über ein Timeout-Kontrollsystem (wegabhängig) wenn die Geschwindigkeit grösser als 1.8 km/h ist. Bei tieferen Geschwindigkeiten zeichnet das Gerät manchmal einen 0-Wert auf, obwohl das Fahrzeug sich langsam bewegt.
- Die registrierte Zeit stimmt mit der tatsächlichen Zeit (09:20 Uhr) nicht überein.

Anlage 2

Bremsskizze Tm 4971-4972

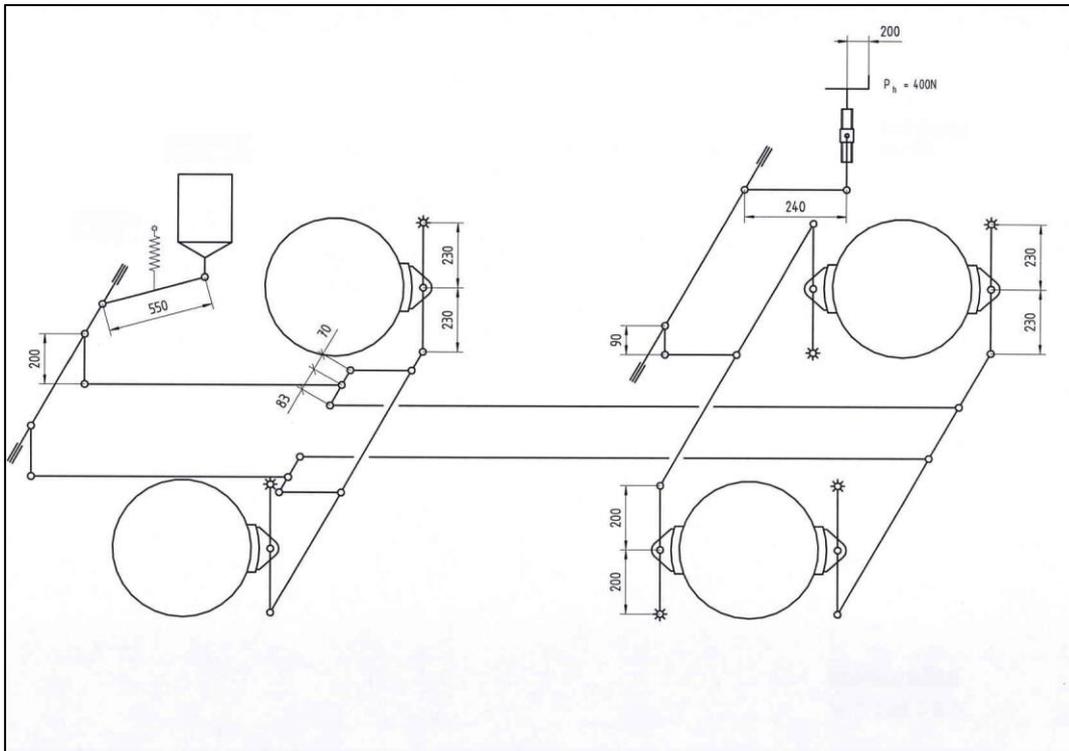


Abbildung 8: Bremsskizze vor dem Umbau (mit Handbremse), Quelle: MGB.

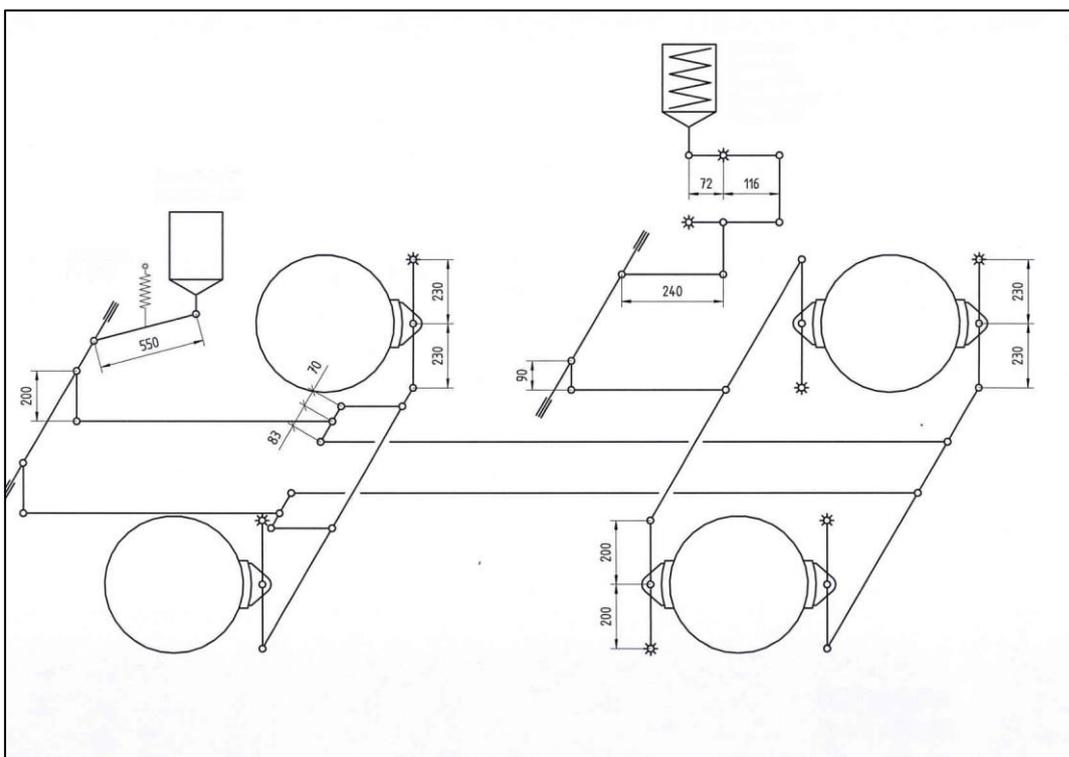


Abbildung 9: Bremsskizze nach dem Umbau 2008 (mit Federspeicher), Quelle: MGB.

Anlage 3

Grauguss-Bremssohlen

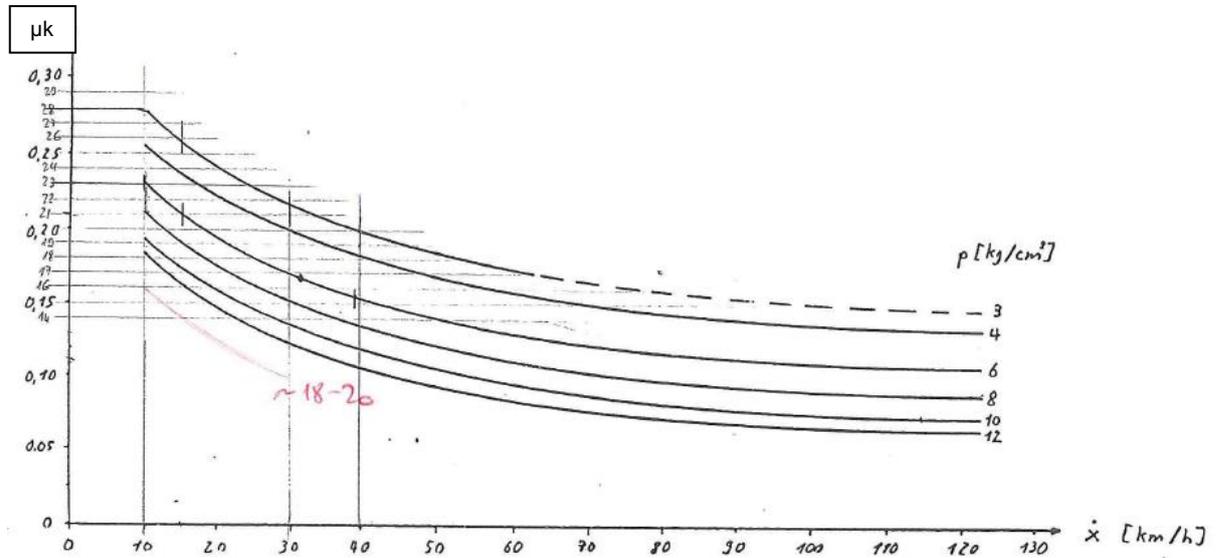


Abbildung 10: Auszug aus SIG-Dokument. Reibungskoeffizient μ_k in Funktion der Geschwindigkeit. Der spezifische Bremssohlendruck ist als Parameter angegeben. Bei den Rangiertraktoren Tm 4971 und Tm 4972 beträgt bei der Federspeicherbremse der spezifische Druck ca. 19 kg/cm², wenn die Bremssohle ganzflächig am Rad anliegt.

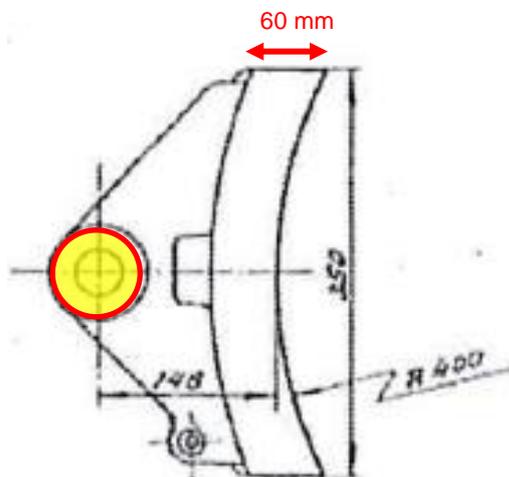


Abbildung 11: Bremssohle; gelb: Einbau eines Dehnungssensors für die Messung der Anlegekraft der Bremssohle.

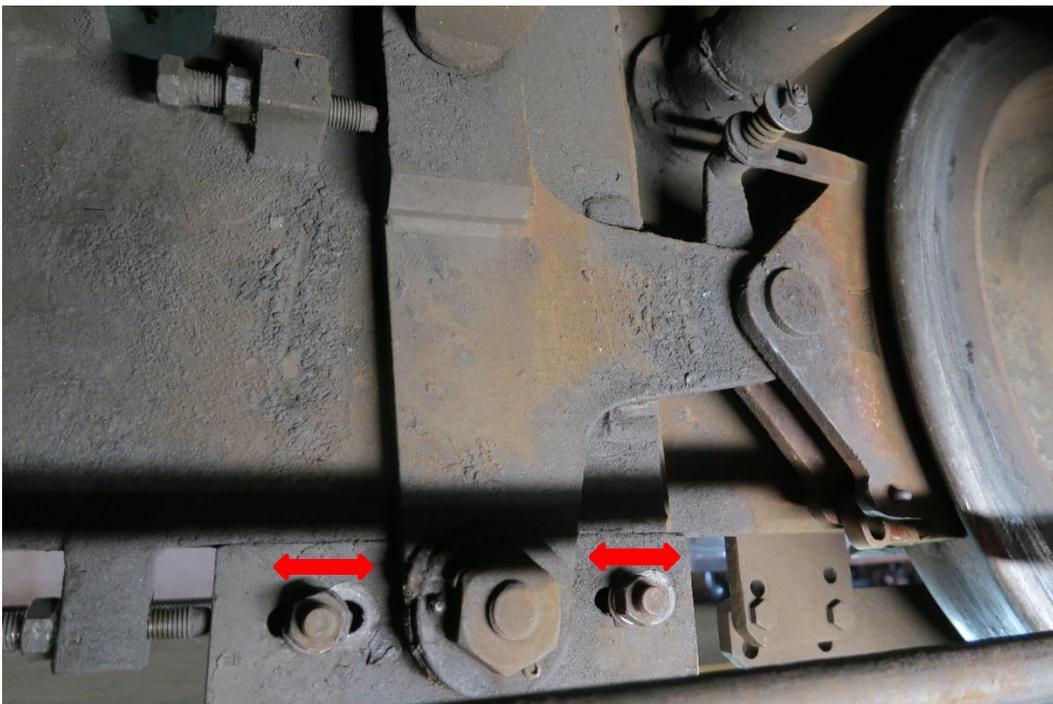


Abbildung 12: Rangiertraktor Tm 4971; rote Pfeile: Einstellmöglichkeiten der Federspeicherbremse bremssohlenspiele.



Abbildung 13: Rangiertraktor Tm 4972; Verfärbungen der Lauffläche einer Federspeicherbremssohle nach ca. 1500 m Fahrt der am 1. September 2016 entlaufenen Komposition; roter Kreis: Fläche, die keinen Kontakt mit dem Rad hatte.