



# **Schlussbericht**

## **der Schweizerischen**

### **Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST**

über die Entgleisung einer Lokomotive Bm 6/6

vom 3. März 2014

in Neyruz (FR)

Reg.-Nr.: 2014030301

## 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
Ursache .....	5
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise .....	6
Literaturverzeichnis.....	7
1 Sachverhalt.....	8
1.1 Ort des Ereignisses.....	8
1.2 Vorgeschichte .....	9
1.3 Ablauf des Ereignisses.....	9
1.4 Schäden.....	9
1.4.1 Personen.....	9
1.4.2 Infrastruktur .....	10
1.4.3 Fahrzeuge.....	10
1.5 Beteiligte und betroffene Personen .....	10
1.5.1 Bahnpersonal.....	10
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen .....	11
1.6.1 Infrastrukturbetreiberin .....	11
1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen.....	11
1.6.3 Fahrzeughalter .....	11
1.6.4 Dienstleister .....	11
1.7 Infrastruktur.....	11
1.7.1 Bahnanlage.....	11
1.7.2 Stellwerk .....	11
1.8 Fahrzeuge.....	11
1.8.1 Übersicht.....	11
1.8.2 Bm 6/6, Nr. 18509 .....	12
1.9 Kommunikation .....	12
1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung.....	12
1.10.1 Fahrdatenschreiber .....	12
1.10.2 Gesprächsaufzeichnung.....	12
1.11 Besondere Untersuchungen.....	13
1.11.1 Baureihen Bm 6/6 und Bm 4/4.....	13
1.11.2 Eigentumsverhältnisse .....	13
1.11.3 Technik .....	13
1.11.4 Instandhaltung.....	14
1.11.5 Revisionsfristen und -prozesse.....	15

---

1.11.6 Metallurgische Untersuchung .....	15
1.11.7 Zusätzliche Ultraschallprüfungen.....	18
2 Analyse.....	19
2.1 Technische Aspekte.....	19
2.1.1 Spezifisch zur gebrochenen Achse.....	19
2.1.2 Zu den Achsen im Allgemeinen .....	19
2.2 Revisionsfristen und Prozesse .....	20
2.3 Betriebliche Aspekte .....	20
3 Schlussfolgerungen .....	21
3.1 Befunde .....	21
3.2 Ursachen.....	21
4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen .....	22
4.1 Sicherheitsempfehlungen.....	22
4.1.1 Zerstörungsfreie Prüfung von typengleichen Achsen.....	22
4.2 Sicherheitshinweise .....	23
4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	23

## Zusammenfassung

### Überblick

Verkehrsmittel	Eisenbahn	
Beteiligte Unternehmen		
Eisenbahnverkehrsunternehmen	SBB AG, Infrastruktur, Bern	
Infrastrukturbetreiberin	SBB AG, Infrastruktur, Bern	
Weitere Unternehmen	Widmer Rail Services (WRS), Buochs Schorno-Locomotive-Management SLM GmbH (SLM), Winterthur	
Beteiligte Fahrzeuge	Am 841 021-9	SBB
	Bm 6/6 18503	SLM
	Bm 6/6 18509	SLM
	Am 847 906-5	WRS
Ort	Neyruz (FR)	
Datum und Zeit	3. März 2014, 13:50 Uhr	

### Untersuchung

Am 3. März 2014 um 14:59 Uhr traf die Meldung über die Entgleisung in Neyruz beim Untersuchungsdienst der damaligen Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle (SUST) ein. Der Untersuchungsleiter entschied, nicht vor Ort zu gehen. Das BAV stellte am 8. Mai 2014 einen Antrag auf Untersuchung durch die SUST, dem entsprochen wurde.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Ein Sachverständigenbericht des Instituts für Werkstofftechnologie (IWT);
- Ein Expertenbericht über den Bruch der Radsatzwelle bei der Bm 6/6 Nr. 18509 im Auftrag des Lokeigentümers [1];
- Fahrdaten;
- Eine technische Beschreibung zum Loktyp Bm 6/6 aus der Schweizerischen Bauzeitung vom 16. April 1955 [2].

### Kurzdarstellung

Am 3. März 2014 entgleiste um 13:50 Uhr die vorderste Achse einer geschleppten Lokomotive Bm 6/6 kurz nach der Haltestelle Neyruz. Die Untersuchung zeigte, dass die Achse bereits mehr als 5 km vor der Entgleisung gebrochen war.

### Ursache

Die Entgleisung der vordersten Achse der Lokomotive Bm 6/6 ist auf einen Achsbruch aufgrund einer Rissinitiierung durch Korrosion zurückzuführen. Als systemische Ursache für den Achsbruch wurde die wesentliche Überschreitung der Revisionsfristvorgaben für die Ultraschallprüfung der Achsen ermittelt.

## **Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise**

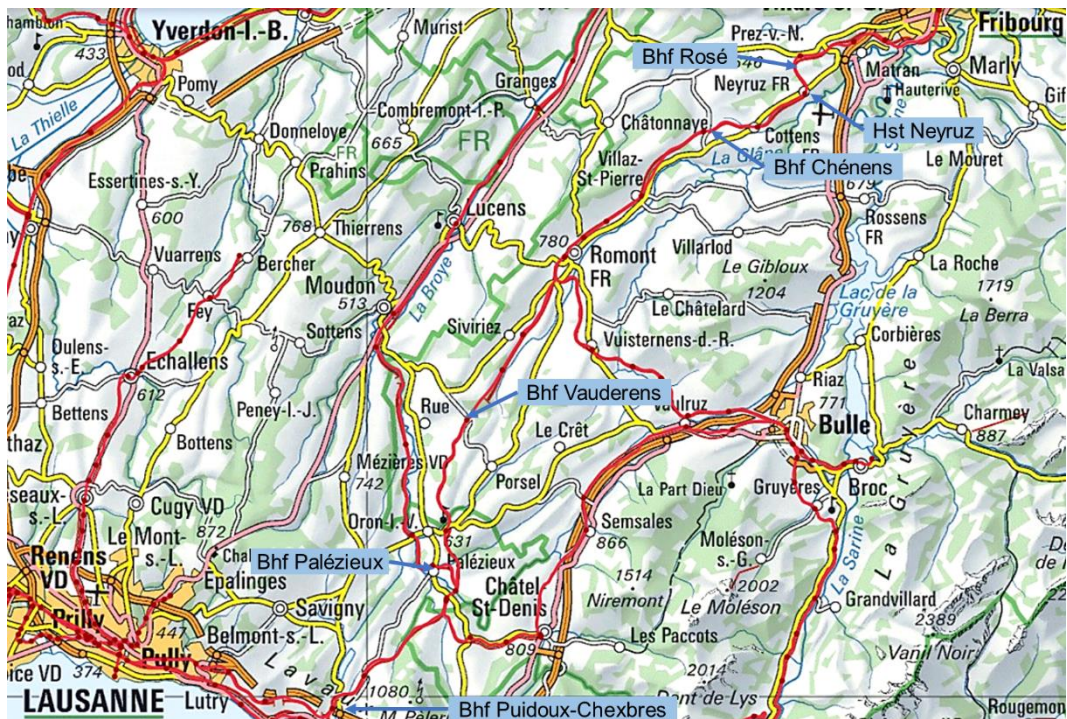
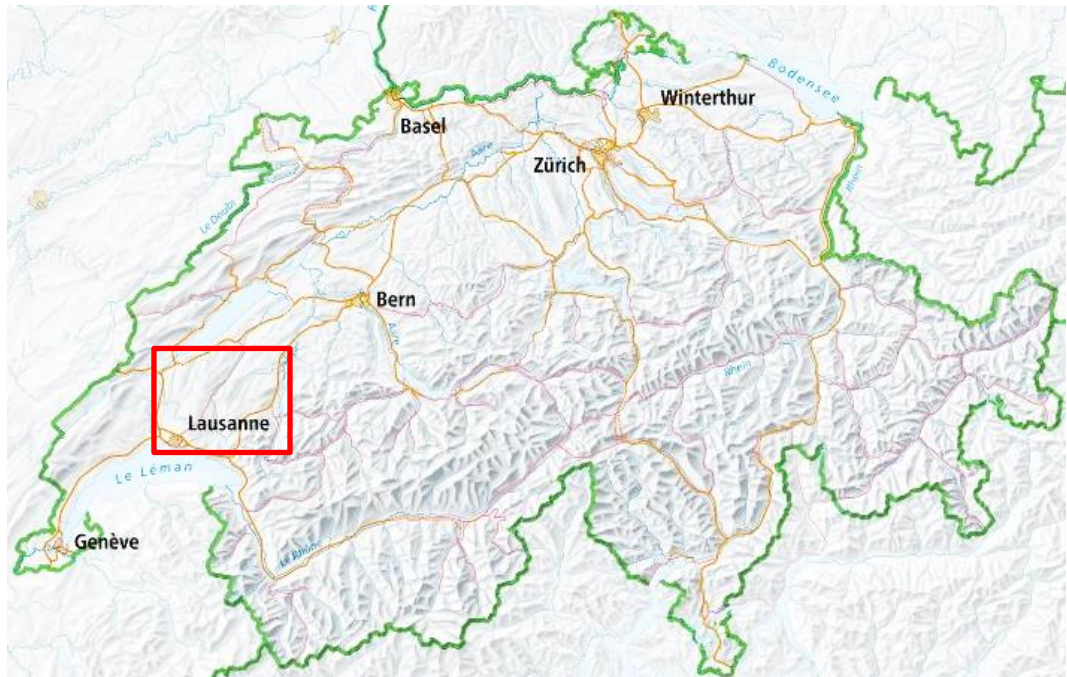
Mit diesem Bericht wird eine Sicherheitsempfehlung ausgesprochen.

## Literaturverzeichnis

- [1] Scherler, L., *Bruch Radsatzwelle Bm 6/6 18509, Expertenbericht*, Nr. 2014-100 V01. Schwadernau, 2014. (nicht öffentlich)
- [2] Meyer, E., *Die Dieselelektrische Lokomotive Bm 6/6 der SBB*. Schweizerische Bauzeitung, Band 73, Heft 16. Zürich, 1955.

# 1 Sachverhalt

## 1.1 Ort des Ereignisses



**Abbildungen 1 und 2:** Übersichtskarten zur Visualisierung der Fahrt des Lokzuges von Puidoux-Chexbres nach Fribourg (Freiburg). Quelle der Karte: Bundesamt für Landestopografie.



## 1.2 Vorgeschichte

Die Bm 6/6 Nr. 18509 sollte mit dem Lokzug 34231 am 3. März 2014 in Schleppfahrt von Puidoux-Chexbres nach Freiburg überführt werden. Der Lokzug bestand aus vier Diesellokomotiven: einer Zuglok und drei geschleppten Lokomotiven. Der Zug wurde unter dem Debicode<sup>1</sup> 971 geführt und fuhr somit unter der Verantwortung von SBB Infrastruktur. Auf der Zuglok an der Zugspitze waren der Lokführer und zwei Lokführer in Ausbildung.

## 1.3 Ablauf des Ereignisses

Die Fahrt des Zuges 34231 verlief nach der Abfahrt in Puidoux-Chexbres (Abbildung 2) anfänglich ohne Zwischenfälle.

Nach dem Bahnhof (Bhf) Palézieux wurde der Lokführer von einem Kollegen eines Gegenzuges über Funk darauf aufmerksam gemacht, dass er am Zug Funkenwurf festgestellt habe. Die Kontrolle durch den Lokführer nach einem ausserordentlichen Halt brachte die Erkenntnis, dass die Bremsklötze an der Bm 6/6 Nr. 18509 etwas stark an die Radreifen drückten. Er schaltete daraufhin am vorderen Drehgestell die Bremsen aus.

Bei der Einfahrt in Vauderens stellte der Fahrdienstleiter eine Achszählerstörung fest und informierte den Lokführer.

Bei der Fahrt durch den Vauderens-Tunnel kontrollierte der Lokführer den Zug erneut auf Funkenwurf, konnte aber nichts Aussergewöhnliches feststellen.

Im 10-‰-Gefälle nach dem Vauderens-Tunnel musste der Zug zweimal mit der automatischen Bremse mittels der Reguliermethode in Beharrung gehalten werden.

Zwischen den Bahnhöfen Chénens und Rosé stellte der Lokführer fest, dass im hinteren Teil seines Zuges ein Gegenstand durch die Luft wirbelte. Sie hielten kurz nach der Haltestelle (Hst) Neyruz bei Bahn-km 55.650 an und liessen die Strecke sperren. Beim Nachschauen fanden sie einen gleisseitigen Zugsicherungsmagneten neben dem Gleis liegen. Bei dieser Gelegenheit entdeckten sie Schäden an den Schienenbefestigungen.

Der Lokführer kontrollierte die Fahrzeuge und stellte bei der geschleppten Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 an der vordersten Achse (Achse 1) Unregelmässigkeiten fest: Das rechte Rad war nach innen entgleist. Das linke Rad derselben Achse stand aber noch auf der Schiene.

Um später das daneben liegende Betriebsgleis durch notwendige Aufgleisarbeiten nicht zu blockieren, wurde versucht, den Zug sehr langsam in den Bahnhof Rosé zu ziehen, was aber nicht gelang. Der Zug kam dann bei Bahn-km 55.800 endgültig zum Stehen (Abbildung 3).

## 1.4 Schäden

### 1.4.1 Personen

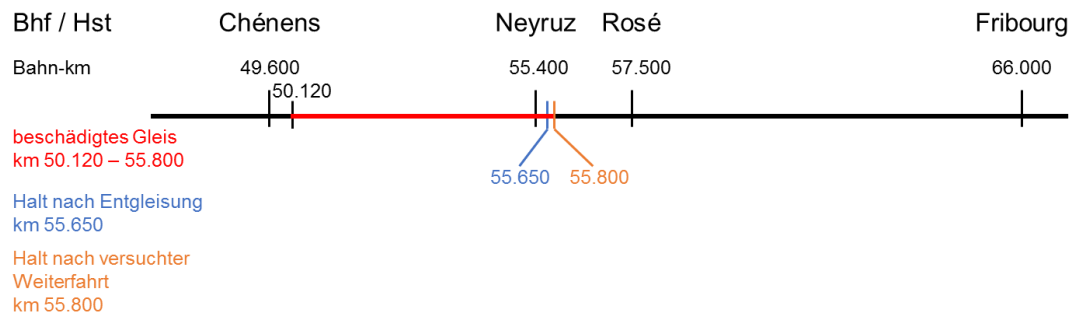
Keine.

---

<sup>1</sup> Debicode: Für die Bestellung und Abrechnung der Leistungen werden die Netzbenutzer über einen Debitorencode identifiziert.

## 1.4.2 Infrastruktur

Das in Fahrtrichtung linke Gleis wurde von Bahn-km 50.120 bis 55.800 durch die entgleiste Achse beschädigt (Abbildung 3). Es konnte erst nach 48 Stunden wieder befahren werden.



**Abbildung 3:** Skizze der Ausdehnung der Schäden an der Infrastruktur.

## 1.4.3 Fahrzeuge

An der Bm 6/6 Nr. 18509 brach die Achse 1. Die Radsatzwelle hat die Inventar-nummer 9512.

## 1.5 Beteiligte und betroffene Personen

### 1.5.1 Bahnpersonal

#### 1.5.1.1 Lokführer

Person	Jahrgang 1961, Anstellung bei Widmer Rail Services (WRS)
Berechtigung	BAV <sup>2</sup> -Ausweis Kategorie B
Besonderes	Prüfungsexperte des BAV

#### 1.5.1.2 Lokführer in Ausbildung 1

Person	Jahrgang 1992, Anstellung bei Widmer Rail Services (WRS)
Berechtigung	BAV-Lernfahrausweis

#### 1.5.1.3 Lokführer in Ausbildung 2

Person	Jahrgang 1960, Anstellung bei Widmer Rail Services (WRS)
Berechtigung	BAV-Lernfahrausweis

<sup>2</sup> BAV: Bundesamt für Verkehr

## 1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

### 1.6.1 Infrastrukturbetreiberin

SBB AG, Infrastruktur, Bern

### 1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

SBB AG, Infrastruktur, Bern

### 1.6.3 Fahrzeughalter

Fahrzeug	Verwendung	Fahrzeughalter
Am 841 021-9	Zuglok	SBB AG, Infrastruktur, Bern
Bm 6/6 18503	geschleppt	Schorno-Locomotive-Management SLM GmbH (SLM), Winterthur
Bm 6/6 18509	geschleppt, entgleist	SLM
Am 847 906-5	geschleppt	Widmer Rail Services (WRS), Buochs

### 1.6.4 Dienstleister

Widmer Rail Services, Buochs

## 1.7 Infrastruktur

### 1.7.1 Bahnanlage

Die Strecke von Puidoux-Chexbres bis zum Halteort vor Rosé misst 43.6 km. Die letzten 6 km sind abfallend.

### 1.7.2 Stellwerk

Die Stellwerk- und Sicherungsanlagen haben korrekt funktioniert.

## 1.8 Fahrzeuge

### 1.8.1 Übersicht

Der Lokzug verkehrte in folgender Reihenfolge:

- 1) Am 841 021-9, als Zuglok SBB AG
- 2) Bm 6/6 18503, geschleppt SLM
- 3) Bm 6/6 18509, geschleppt, entgleist SLM
- 4) Am 847 906-5, geschleppt WRS

Zug- und Bremsreihe: A 80 % (nach Ausschalten der Bremsen: A 70 %).

Zuglänge: 62.4 m.

Zugsgewicht: 357 t.

## 1.8.2 Bm 6/6, Nr. 18509

### 1.8.2.1 Beschreibung

Die Bm 6/6 ist eine Diesellokomotive mit zwei dreiachsigen Drehgestellen (Abbildung 4).

### 1.8.2.2 Sicherungssysteme

Das Triebfahrzeug ist mit einer Sicherheitssteuerung und mit der automatischen Zugsicherung mit Magnetfeldsonde sowie mit ETM-S21 S<sup>3</sup> ausgerüstet.

### 1.8.2.3 Eigentümer und Betreiber

Eigentümer der entgleisten Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 ist die Firma Schorno- Locomotive-Management SLM GmbH. Diese vermietete die Lokomotive an die Firma WRS. Die Firma WRS wiederum vermietete sie mitsamt Lokführer an die SBB Infrastruktur weiter.

### 1.8.2.4 Feststellung

Das in Fahrtrichtung rechte Rad der vordersten Achse (Achse 1) war nach innen entgleist. Das linke Rad derselben Achse stand noch auf der Schiene.

## 1.9 Kommunikation

Die Funkgespräche sind für den Unfallablauf nicht relevant.

## 1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

### 1.10.1 Fahrdatenschreiber

Das zugführende Triebfahrzeug war die Am 841 021-9. Von diesem Triebfahrzeug existierte keine Aufzeichnung mehr. Es standen einzig die Fahrdaten der geschleppten Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 zur Verfügung. Diese ist mit einem elektromechanischen Geschwindigkeitsmesser mit Registrierfarbscheibe und einem Registrierstreifen ausgerüstet. Zwischen den Geschwindigkeitsanzeigen der beiden Fahrzeuge kann eine Differenz von ca. 5 km/h bestehen.

Die Auswertung des Registrierstreifens ergibt, dass der Zug auf der Strecke von Puidoux-Chexbres bis zum Bahn-km 50.120, dort wo die Entgleisungsspuren begannen, mit einer Geschwindigkeit von bis zu 80 km/h fuhr. Die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit der Lok Bm 6/6 beträgt 75 km/h. Die Geschwindigkeiten über 75 km/h wurden über kurze Wegstrecken gefahren. Zwischen Bahn-km 50.120 und 55.650 fuhr der Zug mit Geschwindigkeiten zwischen 28 und 70 km/h. Von Bahn-km 55.650 bis 55.800 gibt es aufgrund der geringen Geschwindigkeit keine auswertbare Geschwindigkeitsaufzeichnung.

### 1.10.2 Gesprächsaufzeichnung


Es wurden keine Gespräche aufgezeichnet.

---

<sup>3</sup> ETM-S21 S dient der Auswertung der EuroSIGNUM-P44-Daten.

## 1.11 Besondere Untersuchungen

### 1.11.1 Baureihen Bm 6/6 und Bm 4/4

Loktyp	Bm 6/6	Bm 4/4
Typenbild	 <p><b>Abbildung 4:</b> Bm 6/6 Quelle: M. Senn</p>	 <p><b>Abbildung 5:</b> Bm 4/4 Quelle: E. Suter</p>
Baujahr	1954–1961	1960–1970
Anzahl gebaute Loks	14	46
Nummerierung	18501–18514	18401–18446
Gewicht	106 t	72 t
Anzahl Achsen	6	4
Achslast	17.7 t	18 t
Höchstgeschwindigkeit	75 km/h	75 km/h
Ausmusterung ab	1999	2006

### 1.11.2 Eigentumsverhältnisse

2004 verkaufte SBB Infrastruktur die gesamte Bm-6/6-Flotte (ohne 18505) an die SLM mit der Auflage, diese nicht auf dem Netz der SBB einzusetzen. Sie wurden aber erst in den Jahren 2006–2008 übergeben. Infolge Triebfahrzeugmangels mietete die SBB später trotz ihrer früheren Auflage diese Loks wieder an.

Die folgenden Loks waren zum Zeitpunkt des Ereignisses im Eigentum von SLM: 18503, 18508, 18509, 18510, 18511, 18513.

Die Lokomotive 18505 war zum Zeitpunkt des Ereignisses im Eigentum von SBB Personenverkehr.

Ungefähr 20 bis 24 Lokomotiven des Typs Bm 4/4 waren zum Zeitpunkt des Ereignisses bei SBB Cargo und SBB Infrastruktur, weitere vier Loks waren bei Privatfirmen in Betrieb.

### 1.11.3 Technik

Für die Achslagerung sind mit Fett geschmierte, zweireihige Timken-Kegelrollenlager eingebaut. Die Achsen sind geschmiedet. Auf den aus Stahlguss bestehenden Speichenrädern sind gewalzte Radreifen aufgezogen [2].

Jede Achse wird von einem elektrischen Fahrmotor über ein beidseitiges Getriebe mit Schrägverzahnung angetrieben.

Die Radsatzwellen der Bm 6/6 und der Bm 4/4 sind gleichwertig und gegenseitig austauschbar.

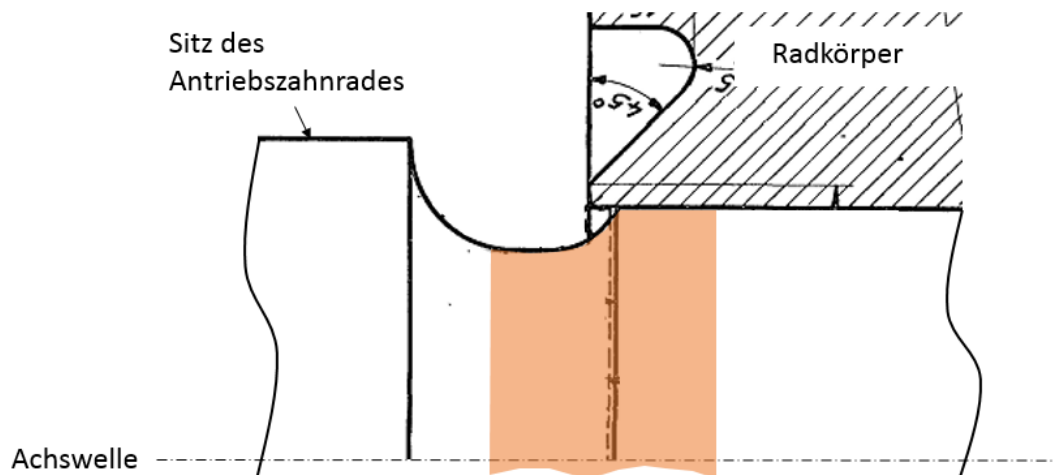
Der Radsatzwellentyp der Lokomotiven Bm 6/6 und Bm 4/4 wurde als dauerhaft dimensioniert.

## 1.11.4 Instandhaltung

### 1.11.4.1 Historie generell

Als die Lokomotiven noch im Eigentum und Besitz der SBB waren, wurde an den Radsätzen alle fünf bis acht Jahre eine Revision durchgeführt. Dabei wurde jeweils eine Ultraschallprüfung an diesen Zonen der Achswellen gemacht, wo Rissbildungen am häufigsten auftraten. Bei diesen Revisionen konnten Risse mit mindestens 3 bis 4 mm Tiefe entdeckt werden. Die Radkörper bzw. die Antriebszahnäder wurden sehr selten demontiert. Eine Demontage wurde nur vorgenommen, wenn sich bei der Rissprüfung gezeigt hatte, dass eine genauere Verifizierung notwendig war [1].

In den Jahren 1992 bis 2001 wurden anlässlich dieser Rissprüfungen eine kleine Anzahl von Radsatzwellen gefunden, die Anrisse im Übergangsradius zwischen Radkörper und Antriebszahnrad sowie im Nabenbereich des Radkörpers nahe dem Übergangsradius aufwiesen (Abbildung 6). Es handelt sich um die bei Radsatzwellen am höchsten belastete Zone. Diese Wellen wurden damals ausgemustert [1].



**Abbildung 6:** Braun eingezeichnet die Achswellenzone, wo Anrisse gefunden wurden.

### 1.11.4.2 Historie der Lokomotive Bm 6/6 18509

Die letzte Drehgestellrevision an der Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 fand anlässlich der Revision R2<sup>4</sup> am 10. Juli 1996 bei einer Laufleistung von 623 979 km in der Verantwortung der SBB statt. Dabei wurde die letzte Ultraschallprüfung an den Radsatzwellen durchgeführt.

In den Jahren 2002 und 2003 wurde je eine technische Sichtkontrolle durch SBB Cargo durchgeführt.

Die Lokomotive hatte am 17. Juli 2000 beim Kilometerstand von 670 423 km einen Anprall Seite I (auf derselben Lokseite, wo später die Achse brach). Die Reparatur fand in der Hauptwerkstätte Biel statt.

Von Ende 2006 bis 2011 war die Lokomotive vorübergehend nicht in Betrieb. Seither wurde sie alle 12 000 km durch SLM einer Sichtprüfung ohne Demontage der Achswellen unterzogen. Zu diesem Zweck hat SLM teilweise das Industriewerk

<sup>4</sup> R2: Revision zur Erhaltung der Betriebstüchtigkeit

Biel der SBB AG hinzugezogen. Zum Zeitpunkt des Ereignisses hatte sie eine Laufleistung von 727 146 km. Es liegen keine Instandhaltungsnachweisdokumente vor.

#### 1.11.5 Revisionsfristen und -prozesse

Die Instandhaltungsgrundsätze sind in Artikel 13 der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen<sup>5</sup> (EBV) festgelegt. Gemäss Abs. 2 ist die Instandhaltung so zu organisieren, dass die gesetzlichen und die betriebsinternen Vorschriften eingehalten werden und die Verantwortlichen jederzeit den Zustand der Fahrzeuge überblickt.

Die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung<sup>6</sup> (AB-EBV) legen zu Artikel 13 EBV die Arten der durchzuführenden Kontrollen und Revisionen sowie die Zeitintervalle der Instandhaltungsarbeiten fest. Für Lokomotiven der Typen Bm 6/6 und Bm 4/4 schreibt die AB-EBV ein Zeitintervall zwischen zwei Revisionen von 4 bis 6 Jahren vor. Die AB-EBV präzisieren noch: „*Liegen besondere Verhältnisse vor, z. B. wenn ein Fahrzeug längere Zeit ununterbrochen ausser Betrieb gesetzt wird, kann die Frist zwischen zwei aufeinanderfolgenden Revisionen, insbesondere R1<sup>7</sup>, verlängert werden; möglichen Stillstands Schäden ist dabei Rechnung zu tragen, anderseits ist die Frist zu verkürzen, wenn der Zustand des Fahrzeuges es erfordert.*“

Als die Bm 6/6 im Zeitraum von 1960 bis 1999 bei der SBB im Einsatz waren, galt die ZfW<sup>8</sup>-Weisung 101/84, die die Revisionsintervalle und die durchzuführenden Instandhaltungsarbeiten festlegte. Gemäss dieser wurden die Revisionen nach folgenden Zyklen und Intervallen geplant:

- Zyklus: R3<sup>9</sup> – R2 – R2 – R2 – R2 – R3; dabei sind jeweils die Achsen mit Ultraschall auf Risse geprüft worden.
- Intervalle zwischen zwei Revisionen: 100 000 km.

Die Bm 4/4 sind nach dem gleichen Revisionszyklus revidiert worden. Die Intervalle zwischen zwei Revisionen betragen 110 000 km.

Diese Planung entspricht den Anforderungen der EBV und der AB-EBV.

#### 1.11.6 Metallurgische Untersuchung

Das Institut für Werkstofftechnologie (IWT) wurde mit der Klärung der Frage beauftragt, welche Faktoren zum Bruch der Achse geführt haben.

##### 1.11.6.1 Bruchstelle

Die Bruchstelle befindet sich zwischen Rad und Antriebszahnrad und verläuft senkrecht zur Rotationsachse der Welle.

---

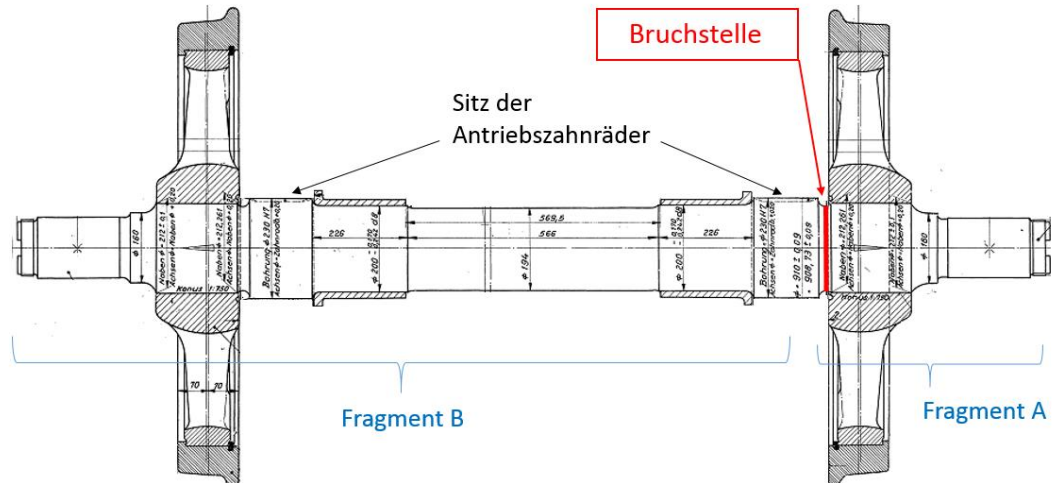
<sup>5</sup> SR 742.141.1 Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung) vom 23. November 1983, Stand am 1. Juli 2013

<sup>6</sup> SR 742.141.11 Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung vom 15. Dezember 1983, Stand am 1. August 2013

<sup>7</sup> R1: Revision zur Gewährleistung der Sicherheit

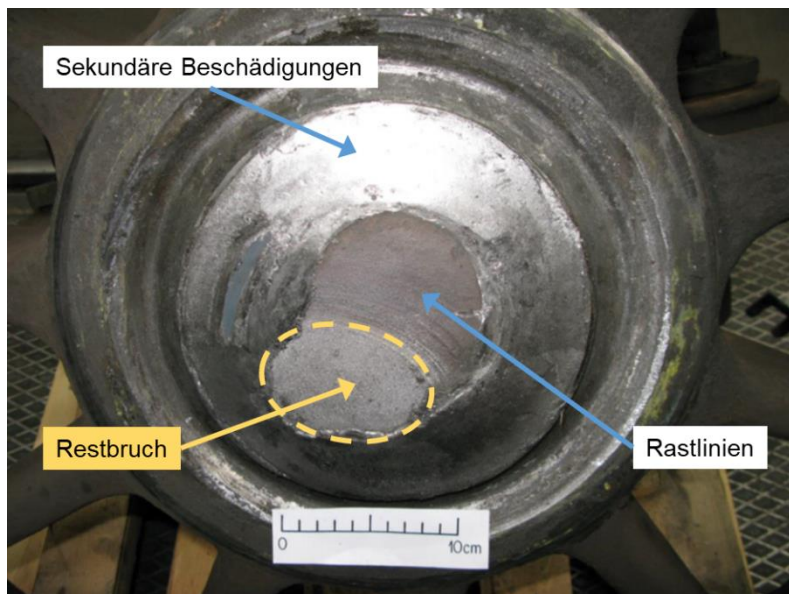
<sup>8</sup> ZfW: Abteilung Zugförderung und Werkstätten der SBB

<sup>9</sup> R3: Revision zur Teilerneuerung des Fahrzeuges



**Abbildung 7:** Schnittzeichnung der gebrochenen Achse.

Die Bruchfläche selber und auch die Oberfläche rings um die Bruchfläche sind durch die gegenseitige mechanische Reibung der beiden Fragmente während der Fahrt über eine Wegstrecke von 5.5 km stark sekundär<sup>10</sup> beschädigt worden. Die Bruchfläche im Zentrum der Welle zeigt keine sekundären Beschädigungen und weist Rastlinien<sup>11</sup> (Abbildung 8) auf. Die Untersuchung konnte nur noch am Fragment B durchgeführt werden, da durch die sekundäre Beschädigung das Fragment A dafür nicht mehr verwendet werden konnte. Es wurde festgestellt, dass die Bruchstelle bereits vor der Entgleisung zu 75 % angerissen war.



**Abbildung 8:** Bruchfläche Seite Rad (Fragment A) mit starken sekundären Beschädigungen im Aussenbereich und mit Rastlinien versehene Bruchfläche im Zentrum. Der Restbruch ist gelb eingekreist.

<sup>10</sup> Sekundäre Beschädigung bedeutet, dass dieser Schaden nichts mit der Ursache des Bruches zu tun hat, sondern lediglich eine Folge davon ist.

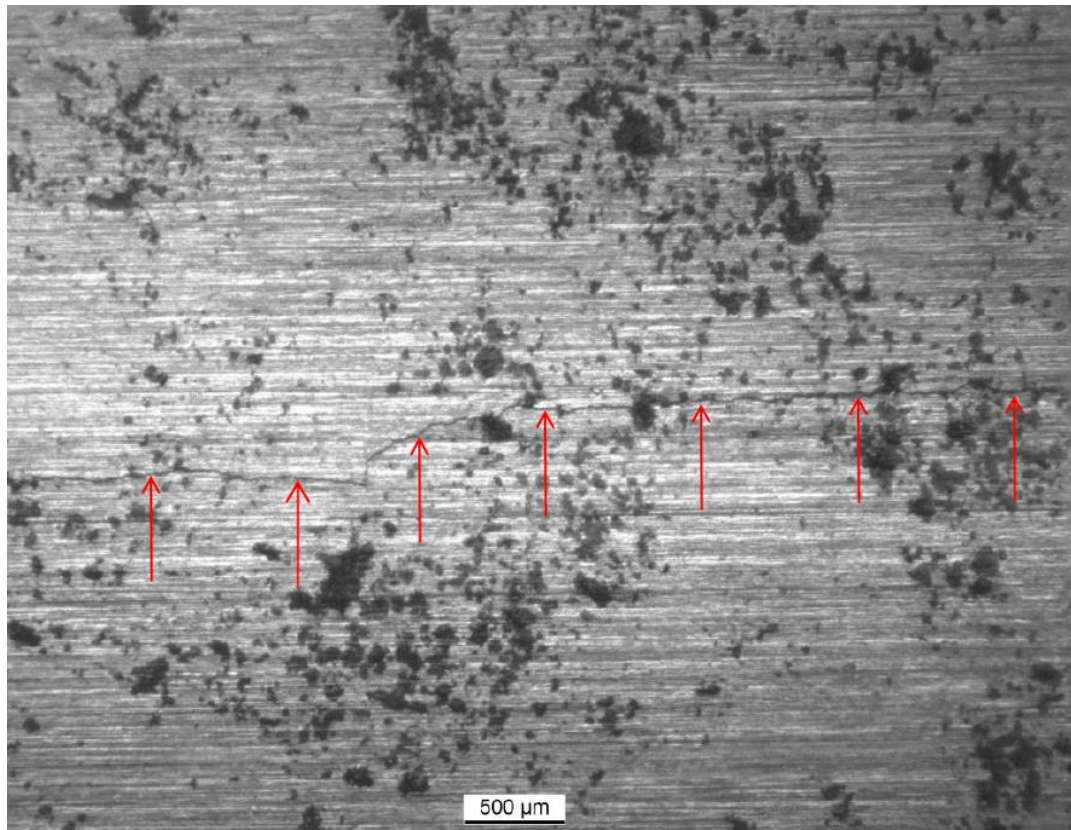
<sup>11</sup> Rastlinie: Auf der Bruchfläche sichtbare Linien, als makroskopisches Kennzeichen für einen Ermüdungsbruch. Sie entstehen, wenn die Schwingbeanspruchung zeitweilig unterbrochen wird oder auch nur absinkt, wobei sich die Anrissflächen glätten können.



Es ist bekannt, dass sich auch während einer Stillstandzeit unter ungünstigen Umständen ein vorhandener Riss weiter ausbilden kann. Die statische Last des Fahrzeugs hält den Riss offen bzw. das Umgebungsklima kann korrosiv wirken.

#### 1.11.6.2 Magnetpulverrissprüfung (MT-Prüfung)

An der korrespondierenden Stelle auf der anderen Seite der Welle (Fragment B), also in der Nähe des gegenüberliegenden Rades, sind Risse mittels MT-Prüfung<sup>12</sup> festgestellt worden. Die Oberfläche an dieser Stelle ist übersät mit Korrosionsnarben.



**Abbildung 9:** Fragment B: Mit Korrosionsnarben (dunkle Flächen) übersäte Oberfläche und ein Riss (rote Pfeile), der sich entlang der Korrosionsnarben und der Drehriefen orientiert.

Die Bruchfläche eines Risses im Fragment B wurde freigelegt. Die Untersuchung mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigt entlang der freigelegten Bruchfläche auf der Oberfläche der Welle zahlreiche Korrosionsnarben, die mit Korrosionsprodukten gefüllt sind. In den Korrosionsprodukten konnte mittels EDX<sup>13</sup> Kalzium als legierungsfremdes Element detektiert werden. Kalzium alleine hat keine ausgeprägte, korrosive Wirkung. Andere aggressive Substanzen wie Chloride konnten nicht nachgewiesen werden.

Die freigelegte Bruchfläche des Risses zeigt mikroskopisch die für einen Schwingbruch typischen Schwingungsstreifen und Nebenrisse.

<sup>12</sup> MT-Prüfung bedeutet Magnetpulverrissprüfung.

<sup>13</sup> EDX: Energy dispersive X-ray spectroscopy ist eine zur Röntgenspektroskopie gehörende Messmethode, die Aufschluss gibt über die Elementzusammensetzung eines Materials.

Das Gefüge der Welle besteht aus einer ferritisch-perlitischen Mikrostruktur mit eingeformten Zementit-Lamellen im Perlit-Korn und Mangansulfid-Einschlüssen. Es sind keine Gefügeunterschiede zwischen Kern- und Randbereich feststellbar.

#### 1.11.6.3 Zusammensetzung des Werkstoffes

Die chemische Zusammensetzung des Werkstoffes stimmt mit einem Stahl C35 gemäss Zeichnung überein. Sie liegt jedoch bezüglich Schwefel- und Chromgehalt leicht über der Toleranz nach SN EN 13261:2003<sup>14</sup>, die als Referenz bei der metallurgischen Untersuchung beigezogen wurde.

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften erfüllen sowohl die Anforderungen der Zeichnung als auch die Anforderungen der Norm SN EN 13261:2003. Zwischen Kern, Mitte Radius und Randbereich sind keine signifikanten Unterschiede der mechanisch technologischen Eigenschaften feststellbar.

#### 1.11.7 Zusätzliche Ultraschallprüfungen

Aufgrund der Entgleisung wurden die Fahrzeuge vom Lokeigentümer kurzfristig ausser Betrieb genommen. Das BAV stellte in Aussicht, dass Achsen, die durch zusätzliche Ultraschallprüfungen als frei von Rissen bestätigt werden, wieder in Betrieb gehen dürfen.

Ziel einer Ultraschallprüfung ist es, Risse im Anfangsstadium zu erkennen.

Da Korrosionsangriffe auf anderen baugleichen Radsätzen nicht ausgeschlossen werden können, wurde beschlossen, dass sämtliche Achsen der Bm 6/6-Flotte von der Firma SLM ohne Demontage ultraschallgeprüft werden. Gerissene Achsen müssten ausgewechselt werden. Ausgebaut vorliegende Achsen (z. B. Reserveachsen) mussten vor ihrer Verwendung vollständig in allen Bereichen zerstörungsfrei rissgeprüft werden.

Im Januar 2015 sind von den Loks 18503, 18508 und 18510 18 Achsen in eingebautem Zustand geprüft worden. Es wurden Rissanzeigen an mehreren Achsen gefunden.

Der Lokeigentümer sah vor, einige dieser Achsen auszubauen und die Achswellen an den kritischen Zonen soweit freizulegen, dass weitere Prüfungen vorgenommen werden können. Diese Massnahme wurde vom Lokeigentümer aus Kostengründen nicht durchgeführt.

---

<sup>14</sup> SN EN 13261:2003 ist eine von der Schweizerischen Normen-Vereinigung herausgegebene Norm zum Thema „Produktanforderung an Eisenbahnachsätze“.

## **2 Analyse**

### **2.1 Technische Aspekte**

#### **2.1.1 Spezifisch zur gebrochenen Achse**

Da die primäre Bruchfläche sowie auch die Oberfläche um den Bruchbereich stark sekundär beschädigt wurden, konnte an dieser Stelle (Fragment A) die Rissinitiierung nicht direkt ermittelt werden. An der korrespondierenden Stelle auf der anderen Seite der Welle (Fragment B) sind ebenfalls Risse vorhanden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass diese Risse durch den gleichen Mechanismus initiiert wurden. Die Untersuchung der Anrisse an Fragment B zeigt, dass die Risse durch Korrosionsangriffe initiiert wurden. Dabei wirken die durch die Korrosionsangriffe entstandenen Narben als Kerben. Nach der Rissinitiierung dürften die Korrosionsreaktionen zumindest anfänglich das Risswachstum begünstigt haben. Dies zeigen die auf der freigelegten Bruchfläche des Risses nachgewiesenen Korrosionsprodukte. Im Anfangsstadium des Risswachstums kann folglich von einer Schwingungsrisskorrosion als Wachstumsmechanismus ausgegangen werden. Nach Erreichen einer kritischen Risslänge wird die mechanische Belastung eine übergeordnete Rolle gespielt haben. Es ist anzunehmen dass diese kritische Risslänge bei Fragment B noch nicht erreicht wurde.

Die Bruchfläche von Fragment B zeigt makroskopisch einen Schwingbruch und sie verläuft senkrecht zur Rotationsachse der Welle. Zudem sind Rastlinien vorhanden. Daher kann als Risswachstumsmechanismus auf einen Schwingbruch (Ermüdung) durch Umlaufbiegung geschlossen werden.

Das Bruchbild zeigt, dass vor dem Gewaltbruch bis zu 75 % der Achswellenquerschnittfläche angerissen waren. Es ist daher von sehr langfristigem Risswachstum bis zum Zeitpunkt des Bruches auszugehen.

Der Bruch trat in dem Bereich auf, der aufgrund früherer Prüfungen anlässlich der ordentlichen Revisionen für gelegentliche Anrisse bekannt ist.

Die Analyse der Korrosionsprodukte wies Kalzium als legierungsfremdes Element nach, das von der Umgebung stammen muss. Ob es ein Bestandteil eines Schmierfettes war oder aus Spritzwasser stammte, ist unklar. Kalzium alleine hat jedoch keine ausgeprägte korrosive Wirkung und andere aggressive Substanzen wie Chloride konnten nicht nachgewiesen werden. Daher dürfte allein die Luftfeuchtigkeit oder Spritzwasser als korrosives Medium in Frage kommen.

Ob der Anprall im Jahr 2000 auf die später gebrochene Achse einen ungünstigen Einfluss hatte, kann im Nachhinein nicht mehr festgestellt werden.

#### **2.1.2 Zu den Achsen im Allgemeinen**

Bei dieser Ultraschallprüfung im montierten Zustand wurden bei weiteren Achsen Anzeichen von Anrissen gefunden. Um das Vorhandensein dieser Anrisse zu bestätigen, hätten die Achswellen im ausgebauten Zustand geprüft werden müssen. Aufgrund des Aufwandes hat der Eigentümer aber darauf verzichtet.

Der Triebradsatzwellentyp der Lokomotiven Bm 6/6 und Bm 4/4 wurde als dauerhaft dimensioniert. Die in den Sechzigerjahren gebauten Achsen wurden bezüglich Festigkeit mit einer gewissen Reserve versehen. Ein Indiz dafür ist die Tatsache, dass die Welle vor dem Bruch auf bis zu 75 % ihres ursprünglichen Querschnittes geschädigt war, bevor der Gewaltbruch eintrat. Es besteht kein höheres Risiko bezüglich Bauteilversagen im Vergleich zu anderen Fahrzeugtypen, sofern die bewährten Instandhaltungsmassnahmen in Form zerstörungsfreier Rissprüfung fristgerecht ausgeführt werden.

Ziel einer Ultraschallprüfung ist es, Risse im Anfangsstadium zu erkennen. Dieses Ziel ist zu der Zeit, als die Lokomotiven in der Verantwortung der SBB AG waren, durch das Einhalten der Revisionsfristen offensichtlich erreicht worden, da einerseits wenig Anrisse gefunden wurden und andererseits keine Radsatzwellenbrüche vorkamen [1].

## 2.2 Revisionsfristen und Prozesse

Ab Ende der Neunzigerjahre, als die Lokomotiven vom Typ Bm 6/6 nur noch selten zum Einsatz kamen, wurden die Revisionsfrist von 6 Jahren und das Revisionsintervall von 100 000 km Laufleistung nicht mehr eingehalten.

Die letzte Ultraschallprüfung an der gebrochenen Achse fand 1996 statt. Seither legte sie eine Wegstrecke von mehr als 100 000 km zurück. Sie wurde nie mehr einer genaueren Rissprüfung unterzogen. Demgegenüber wurden diese Achsentyper früher alle fünf bis acht Jahre mit Ultraschall geprüft. Das bewährte Prüfintervall wurde demnach um knapp das Dreifache überschritten. Die Anrisse wurden mit hoher Wahrscheinlichkeit dadurch nicht rechtzeitig erkannt. Man kann davon ausgehen, dass bei einer Ultraschallprüfung diese Risse bereits vor längerer Zeit hätten entdeckt werden können.

Die Lokomotive 18509 stand während mehrerer Jahre mehrheitlich still. Auch während einer Stillstandzeit kann sich unter ungünstigen Umständen ein vorhandener Riss weiter ausbilden. Die statische Last hält den Riss offen bzw. das Umgebungsklima kann korrosiv wirken.

Der frühere Eigentümer SBB AG, Infrastruktur führte nach 1996 bis zum Verkauf an die SLM im Jahre 2004 nur noch technische Kontrollen durch. Bei dieser Unterhaltsart wurden die Achsen nicht mittels Ultraschallprüfung auf Risse geprüft.

## 2.3 Betriebliche Aspekte

Da die Untersuchungen erst mehr als 2 Monate nach dem Ereignis aufgenommen wurden, standen für die Geschwindigkeitsauswertung nur die aufgezeichneten Fahrdaten der geschleppten Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 zur Verfügung. Zwischen der dem Lokführer angezeigten und der auf einem anderen Triebfahrzeug aufgezeichneten Geschwindigkeit kann eine kleine Differenz bestehen. Deshalb ist nicht bekannt, welche tatsächliche Geschwindigkeit auf der führenden Lokomotive gefahren wurde. Es muss aber nicht davon ausgegangen werden, dass es zu wesentlichen Geschwindigkeitsüberschreitungen gekommen ist.

### **3 Schlussfolgerungen**

#### **3.1 Befunde**

- Die Radsätze wurden früher, als sie noch im Besitze der SBB AG waren, alle 5–8 Jahre mittels Ultraschallprüfung auf Risse untersucht.
- Die Achsen der Unfalllok wurden 1996 zum letzten Mal mittels Ultraschall auf Risse untersucht.
- Vor der Wiederinbetriebnahme im Jahre 2011 standen die Lokomotiven über fünf Jahre mehrheitlich still.
- Aus der Zeit, in der die Lok Eigentum der SLM war, liegen keine Instandhaltungsnachweisdokumente vor.
- Die Risse wurden durch Korrosionsangriffe initiiert. Die dabei entstandenen Narben wirkten als Kerben.
- An der Bruchfläche sind Rastlinien vorhanden. Daraus lässt sich ein Schwingbruch ableiten.
- Die Achse war an der Bruchstelle bereits auf 75 % ihres Querschnittes geschädigt.
- Bei Einhaltung der ordentlichen Achsrevisionsintervalle wäre der Anriss rechtzeitig erkannt worden.
- Bei der Ultraschallprüfung wurden an weiteren Achsen Anrisse festgestellt. Diese wurden dann aber vom Besitzer nicht mehr weiter untersucht.

#### **3.2 Ursachen**

Die Entgleisung der vordersten Achse der Lokomotive Bm 6/6 ist auf einen Achsbruch aufgrund einer Rissinitiierung durch Korrosion zurückzuführen. Als systemische Ursache für den Achsbruch wurde die wesentliche Überschreitung der Revisionsfristvorgaben für die Ultraschallprüfung der Achsen ermittelt.

## 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*

*<sup>1</sup> 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.*

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

*<sup>3</sup> 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](http://www.sust.admin.ch) und erlaubt so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

#### 4.1.1 Zerstörungsfreie Prüfung von typengleichen Achsen

##### 4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Die Lokomotive Bm 6/6 Nr. 18509 wurde mehrere Jahre abgestellt und ohne Zustandsüberprüfung der Achswellen wieder in Betrieb genommen.

Nach längeren Stillstandzeiten können Korrosionsschäden an den Achswellen auftreten, die zu Rissen und damit zu einer Schwächung der Festigkeit führen können. Ohne die erforderliche Ultraschallprüfung werden diese nicht identifiziert. Es ist nicht bekannt, wie viele Achsen sich in ähnlichem Zustand befinden.

##### 4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 133

Das BAV sollte dafür sorgen, dass alle typengleichen Achsen, wie diejenige der Bm 6/6, einer kompletten zerstörungsfreien Prüfung zu unterziehen sind.

**4.2 Sicherheitshinweise**

Keine

**4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Die Lokomotiven Bm 6/6 der Firma SLM wurden nach dem Ereignis sofort ausser Betrieb genommen und werden zurzeit nicht eingesetzt.

Im Januar 2015 sind aus den Loks 18503, 18508 18 Achsen in eingebautem Zustand geprüft worden.

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, 8. Mai 2018

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle