



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 Entgleisung eines  
S-Bahn-Zuges

vom 29. März 2017

in Bern (BE)

Reg.-Nr. 2017032902

## 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) vom 20. Dezember 1957 (Stand am 1. Januar 2018) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung.

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
Überblick .....	5
Untersuchung .....	5
Kurzdarstellung .....	5
Ursache .....	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise .....	6
<b>1 Sachverhalt</b> .....	<b>7</b>
1.1 Ort des Ereignisses .....	7
1.2 Ablauf des Ereignisses .....	8
1.3 Schäden .....	9
1.3.1 Personen .....	9
1.3.2 Infrastruktur .....	9
1.3.3 Fahrzeuge .....	9
1.4 Beteiligte und betroffene Personen .....	9
1.4.1 Bahnpersonal .....	9
1.5 Beteiligte und betroffene Unternehmen .....	9
1.5.1 Infrastrukturbetreiberin .....	9
1.5.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen .....	9
1.5.3 Fahrzeughalter .....	9
1.6 Infrastruktur .....	10
1.6.1 Bahnanlage .....	10
1.6.2 Stellwerk .....	10
1.6.3 Weiche 41 .....	11
1.7 Fahrzeuge .....	15
1.7.1 S-Bahn-Zug .....	15
1.8 Kommunikation .....	15
1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung .....	16
1.9.1 Fahrdatenschreiber .....	16
1.9.2 Stellwerkdaten .....	16
1.10 Besondere Untersuchungen .....	16
1.10.1 Schadenanalyse der gebrochenen Weichenzunge .....	16
<b>2 Analyse</b> .....	<b>23</b>
2.1 Technische Aspekte .....	23
2.1.1 Rollmaterial .....	23
2.1.2 Weiche 41 .....	23
2.1.3 Schadenanalyse .....	23
2.2 Organisatorische Aspekte .....	23
2.3 Betriebliche Aspekte .....	24

---

<b>3</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>25</b>
3.1	Befunde .....	25
3.1.1	Technische Aspekte .....	25
3.1.2	Organisatorische Aspekte .....	25
3.2	Ursachen .....	25
<b>4</b>	<b>Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen</b> .....	<b>26</b>
4.1	Sicherheitsempfehlungen .....	26
4.2	Sicherheitshinweise .....	26
4.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	26



## Zusammenfassung

### Überblick

**Verkehrsmittel** Eisenbahn

### Beteiligte Unternehmen

**Eisenbahnverkehrsunternehmen** BLS AG, Bern

**Infrastrukturbetreiberin** SBB AG, Infrastruktur (SBB-I), Bern

### Beteiligte Fahrzeuge

Zwei Triebzüge «NINA» in Doppeltraktion

RABe 525 015 BLS AG

RABe 525 016 BLS AG

**Ort** Bern (BE)

**Datum und Zeit** 29. März 2017, 12:51 Uhr

## Untersuchung

Am 29. März 2017 um 13:53 Uhr traf beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) die Meldung über die Entgleisung eines S-Bahn-Zuges in Bern ein. Es wurde eine Untersuchung eröffnet.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Gutachten «Schadenanalyse» der gebrochenen Weichenzunge;
- Gleiseinsenkmesung
- Fahrdaten des Zuges;
- Aufzeichnungen der Stellwerkdaten;
- Gleis- und Signalpläne;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen;
- Hoheitliche und interne Regelungen für den Eisenbahnbetrieb.

## Kurzdarstellung

Am 29. März 2017 um 12:51 Uhr entgleiste bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof Bern ein S-Bahn-Zug auf einer Weiche. Es wurden keine Personen verletzt. Die Infrastruktur im Bereich der Weiche sowie das betroffene Rollmaterial wurden beschädigt.

**Ursache**

Die Entgleisung eines S-Bahn-Zuges bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof Bern ist darauf zurückzuführen, dass eine Zunge der Weiche 41 aufgrund einer Reibermüdung im Bereich der Federstelle während des Befahrens brach.

Folgende Faktoren haben zum Unfall beigetragen:

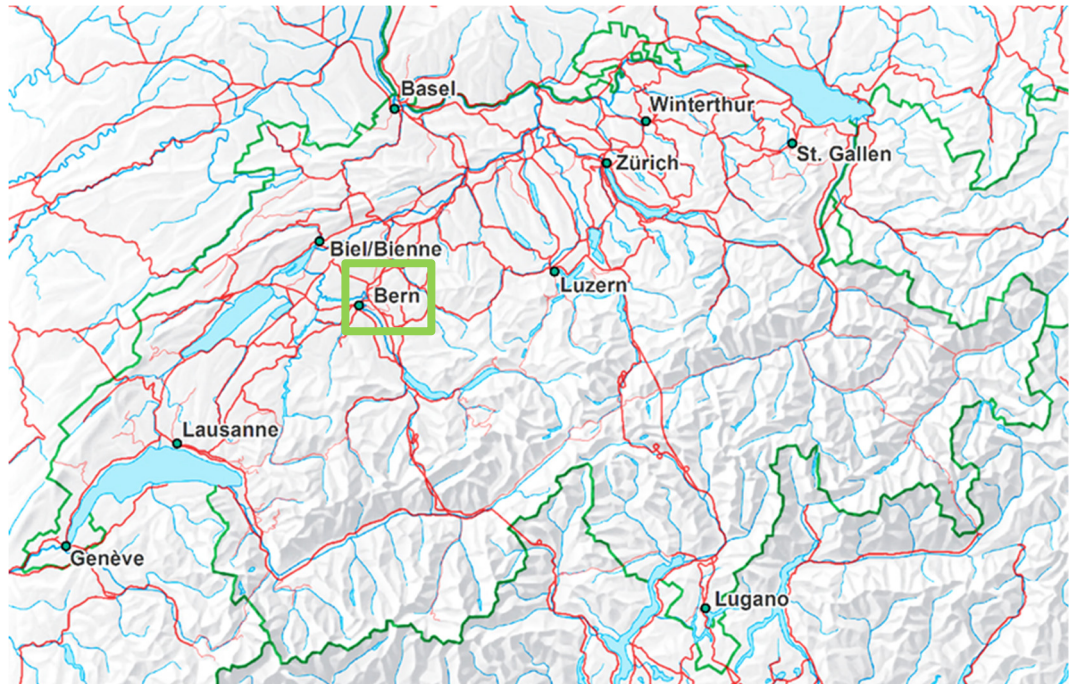
- Das verwendete Schienenprofil der Weichenzunge war in Kombination mit der Vorschädigung und den erhöhten Einsenkungswerten nicht geeignet, den durch das häufige Befahren entstandenen Belastungen standzuhalten.
- Die angewendete Ultraschallprüfmethode ist nicht darauf ausgerichtet, Schwachstellen im Schienenfuss zu erkennen.

**Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise**

Mit diesem Bericht werden weder Sicherheitsempfehlungen noch Sicherheitshinweise ausgesprochen.

# 1 Sachverhalt

## 1.1 Ort des Ereignisses



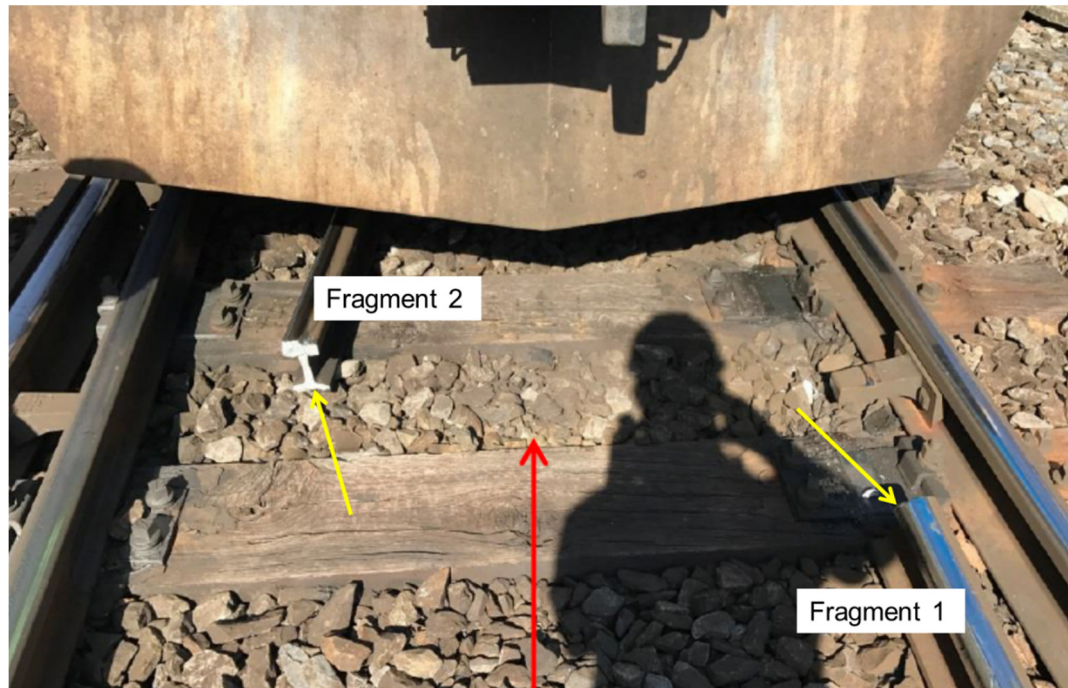
**Abbildungen 1 und 2:** Übersichtskarten zum Ort des Unfalls. Mit dem grünen Kreis ist die Unfallstelle markiert. Diese befindet sich auf der Ostseite des Bahnhofs Bern.  
(Quelle der Basiskarten: Bundesamt für Landestopografie.)



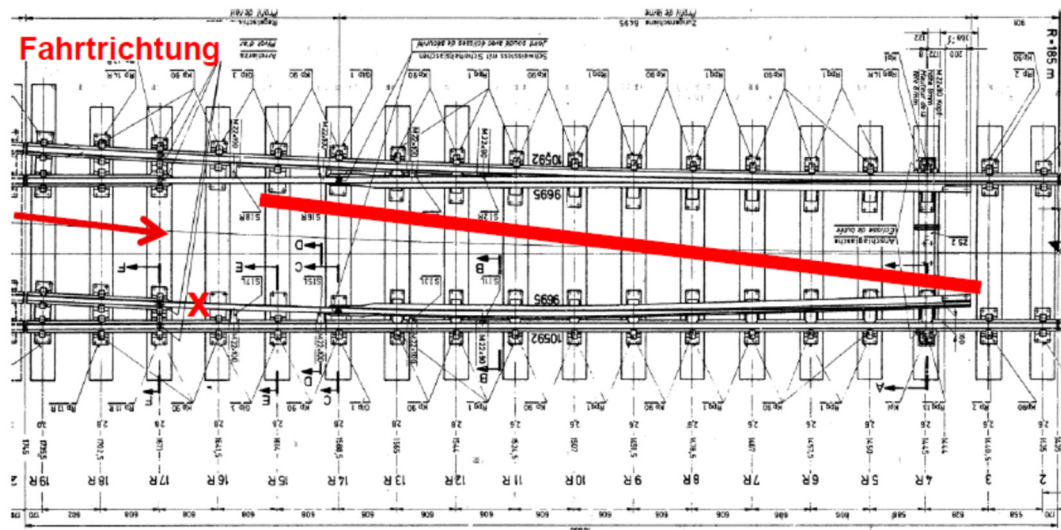
## 1.2 Ablauf des Ereignisses

Der S-Bahn-Zug war am 29. März 2017 aus zwei Triebzügen mit der Bezeichnung «NINA» gebildet worden und verkehrte auf der Linie von Thun durch das Gürbetal nach Bern und weiter bis Burgdorf. Dort sollte der Zug getrennt werden. Eine Komposition hätte nach Solothurn, die andere nach Sumiswald-Grünen verkehren sollen.

Der S-Bahn-Zug war am 29. März 2017 pünktlich um 12:50 Uhr auf Gleis 13 im Bahnhof Bern abgefahren. Beim Befahren der Weiche 41 nahm der Lokführer einen lauten Knall wahr. Er stoppte seinen Zug, um die Ursache dieses Geräuschs zu klären. Bei der Kontrolle des Zuges stellte der Lokführer eine Entgleisung des vorderen Triebzuges fest.



**Abbildung 3:** Auf der Abbildung ist die Situation nach dem Wegstellen des hinteren Triebzuges ersichtlich. Rot eingezeichnet ist die Fahrtrichtung des Zuges. Gelb markiert ist die gebrochene Weichenzunge. Das abgebrochene Fragment 2 der Zunge ist weit nach links versetzt. (Quelle: SBB AG, Infrastruktur / Bearbeitung SUST).



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung der Weiche 41 im Bahnhof Bern. Im Bild ersichtlich sind die Bruchstelle (Rotes X) und die Endlage der gebrochenen Zunge (Rote Linie). (Quelle: SBB AG, Infrastruktur).

### 1.3 Schäden

#### 1.3.1 Personen

Es wurden keine Personen verletzt.

#### 1.3.2 Infrastruktur

Eine Weichenzunge war gebrochen. Dazu wiesen diverse Schwellen und Schienen deutliche Entgleisungsspuren auf.

#### 1.3.3 Fahrzeuge

Der an der Zugspitze verkehrende Triebzug wies diverse Beschädigungen im Bereich der Radsätze und Drehgestelle auf.

### 1.4 Beteiligte und betroffene Personen

#### 1.4.1 Bahnpersonal

##### 1.4.1.1 Lokführer

Person	Jahrgang 1975 Anstellung bei BLS AG Dienstort Biel/Bienne
Berechtigung	BAV <sup>1</sup> -Ausweis der Kategorie B zum Ausführen aller Rangierbewegungen und zum Führen aller Züge vorhanden und gültig. Bescheinigung zum Befahren der SBB-Infrastruktur und zum Bedienen des Triebzugs RABe 525 vorhanden.
Letzte Fähigkeitsprüfung	Periodische Prüfung im August 2013
Arbeitsbeginn am Ereignistag	11:29 Uhr
Arbeitszeit bis zum Ereignis	1:22 Std

### 1.5 Beteiligte und betroffene Unternehmen

#### 1.5.1 Infrastrukturbetreiberin

SBB AG, Infrastruktur (SBB-I), Bern

#### 1.5.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

BLS AG, Bern

#### 1.5.3 Fahrzeughalter

BLS AG, Bern

---

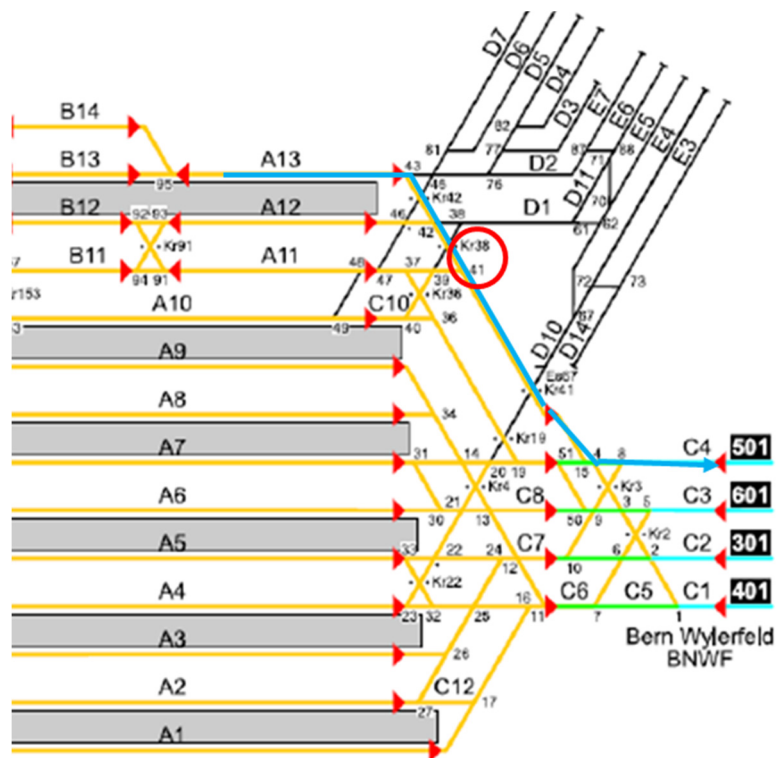
<sup>1</sup> BAV: Bundesamt für Verkehr

## 1.6 Infrastruktur

### 1.6.1 Bahnanlage

#### 1.6.1.1 Beschreibung

Der Bahnhof Bern besteht aus verschiedenen Anlageteilen. Neben den Hallengleisen, die für die Personenförderung genutzt werden, befinden sich auf der Ost- und der Westseite des Bahnhofes Anlageteile, die für Rangierfahrten oder als Abstellgleise genutzt werden (Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Ausschnitt des Gleisplans des Bahnhofs Bern (Ostseite). Die Hallengleise tragen die Bezeichnungen A1 bis A13. Der Ort der Entgleisung ist mit einem roten Kreis markiert. Hellblau eingezeichnet ist die Fahrstrasse des entgleisten S-Bahn-Zuges. (Quelle: SBB AG, Infrastruktur / Bearbeitung: SUST).

#### 1.6.1.2 Feststellung

Zur Zeit der Entgleisung war es in Bern sonnig, die Schienen waren trocken und die Temperatur betrug ca. 18 °C. Ab dem Ausfahrgleis 13 bis zur Weiche 41 wies die Bahninfrastruktur keine Beschädigungen auf. Im Bereich der Weiche 41 wurden entgleisungsbedingte Schäden festgestellt.

### 1.6.2 Stellwerk

#### 1.6.2.1 Beschreibung

Der Bahnhof Bern verfügt über ein Spurplandrucktastenstellwerk der Bauart SpDrS SBB von Siemens. Die Bedienung erfolgt über die Bedienoberfläche «Iltis» von der Betriebszentrale Mitte der SBB in Olten aus.

## 1.6.2.2 Feststellung

Für den auf der Weiche 41 entgleisten Zug war eine Zufahrstrasse aus dem Gleis 13 Richtung Bern Wylerfeld eingestellt (Abbildung 5), die beteiligten Weichen waren verschlossen und die Signale zeigten «Fahrt».

1.6.3 **Weiche 41**

## 1.6.3.1 Beschreibung

Die Weiche 41 ist vom Typ EW I-185-G-1:8 mit starrem Herzstück. Sie hat in der Ablenkung einen Gleisradius von  $R = 185$  m. Bei der Weiche 41 ist das Schienenprofil UIC 46E1 mit der Stahlgüte R260 eingebaut. Die Weiche wurde im Jahr 1989 eingebaut. Die halbe Zungenvorrichtung links wurde 2014, die halbe Zungenvorrichtung rechts 2016 letztmals ersetzt. Beim Ereignis ist die halbe Zungenvorrichtung links gebrochen.

Die Weiche darf in ablenkender Stellung mit einer maximalen Geschwindigkeit von 40 km/h befahren werden. Die entsprechenden Vorgaben (R RTE 22066<sup>2</sup>) sehen aufgrund der Belastung der Weiche 41 vor, dass diese 14-täglich visuell inspiziert wird. Jährlich ist eine Ultraschallprüfung mit dem Schienenprüfgerät vorgeschrieben. Alle 24 Monate wird die Weiche einer oberbautechnischen Kontrolle unterzogen.

Die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)<sup>3</sup> regeln zu Artikel 31 (Blatt 9 N, Ziffer 6) den Einsatz von Schienen und Schweissverfahren. Gemäss diesen Bestimmungen sind

- die international standardisierten Schienenprofile, das heisst UIC 60E1, 60E2, 54E2 oder bei schwachen Belastungen bzw. in Ausnahmefällen das Schienenprofil UIC 46E1, zu verwenden, sowie
- bestehende Anlagen bei der nächsten Erneuerung oder bei grossen Nutzungsänderungen anzupassen.

Das Schienenprofil UIC 46E1 weist im Vergleich zum Profil UIC 54E2 folgende Werte auf:

		UIC E46E1	UIC E54E2
Kopfbreite oben	K [mm]	65	67
Kopfhöhe	k [mm]	36.88	51.4
Gesamthöhe	H [mm]	145	161
Stegdicke	S [mm]	14	16
Fussbreite	F [mm]	125	125
Fusshöhe	f [mm]	9.4	12

**Tabelle 1:** Auszug aus der Dimensionierung von den Schienenprofilen UIC 46E1 bzw. UIC 54E2.

<sup>2</sup> R RTE 22066: Regelwerk Technik Eisenbahn: «Einbau, Kontrollen und Unterhalt der Weichen» vom 24. April 2015.

<sup>3</sup> AB EBV: SR **742.141.11** vom 15. Dezember 1983, Stand am 1. Juli 2016.

Die Dimensionierung der Fahrbahn richtet sich nach den Vorgaben der AB-EBV und dem Regelwerk der SBB, I-22211<sup>4</sup>. Bei lagemässig nicht veränderbaren Direktanschlüssen innerhalb von Weichengruppen ist es zulässig, auf den Profilwechsel zu verzichten. Aufgrund der engen Verknüpfung der Weichengruppe («Weichennest») müssten dann mehrere Weichen gleichzeitig auf das grössere Profil gewechselt werden. Für die Weiche 41 ist der Wechsel des Schienenprofils im Jahr 2020 geplant.

#### 1.6.3.2 Feststellung

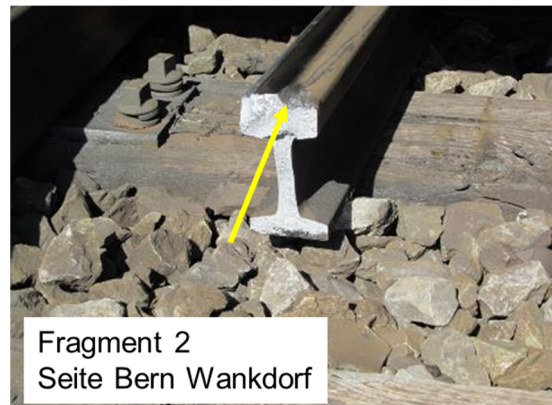
Das eingesetzte Schienenprofil entspricht den internen Vorgaben von SBB-I. Bei einer Fahrbahnerneuerung im Bereich der Weiche 41 müsste, aufgrund der Gleiskategorie, mindestens auf das Schienenprofil UIC 54E2 gewechselt werden.

Die Bruchstelle der Weichenzunge befand sich in der Nähe einer Schwelle. Sie war ca. 30 cm vom Beginn des Federbereichs (Seite Bahnhof) entfernt. Im Federbereich der Weichenzunge ist der Schienenfuss auf ca. 70 mm verjüngt. Diese Verjüngung ist nötig, damit die für das Umstellen der Weichenzunge notwendigen Kräfte des Weichenmotors nicht zu gross werden.

Die Zunge der Weiche 41 wies nach der Entgleisung folgende Auffälligkeiten auf: Die Bruchflächen waren metallisch grau und zeigten im Fussbereich eine auffällige Markierung. Auf dem abgebrochenen Fragment 2 war auf der Fahrfläche der Abdruck eines Radkranzes erkennbar (Abbildung 7).



**Abbildung 6:** Aufnahme der Bruchstelle. Rot markiert ist eine auffällige Markierung im Fussbereich von Fragment 1.



**Abbildung 7:** Aufnahme der Bruchstelle. Mit dem gelben Pfeil ist der Abdruck eines Radkranzes auf der Fahrfläche des Fragments 2 markiert.

Das Ereignis vom 29. März 2017 ist der zweite bekannte Fall eines Bruchs einer Weichenzunge im Bereich der Federstelle. Der erste Bruch einer Weichenzunge im Jahr 2009 wurde durch SBB-I dokumentiert. Dieses Ereignis ereignete sich auf einer anderen Weiche im Bahnhof Bern und führte nicht zu einer Entgleisung.

Am Tag des Ereignisses wurde die Weiche 41 im Zeitraum von 05:00 Uhr bis 12:50 Uhr insgesamt 62 Mal befahren. Davon befuhren 42 Fahrten die Weiche in ablenkender Stellung (Stellung rechts). Im gleichen Zeitraum wurden 53 Umstellungen der Weiche registriert.

Die Weiche wurde somit im Zeitraum von 05:00 Uhr bis 12:50 Uhr ca. alle 11 Minuten in ablenkender Stellung befahren und alle 9 Minuten umgestellt.

<sup>4</sup> Regelwerk SBB-I-22211: «Verwendung des Oberbaumaterials bei Erneuerung und Neubau von Gleis- und Weichenanlagen» vom 1. Januar 2012, Stand am 1. September 2014.



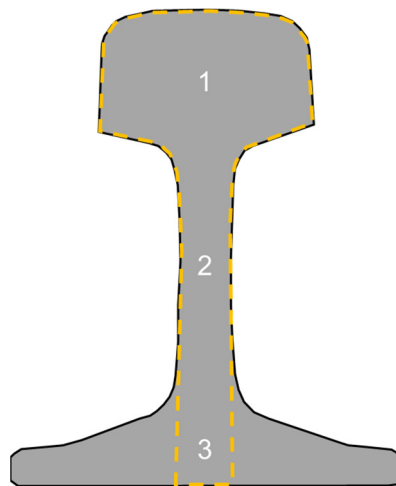
Gemäss der Datenbank der SBB wird die Weiche 41 pro Jahr von insgesamt 51 000 Fahrten befahren. Davon führen 35 000 Fahrten über den ablenkenden Strang und 16 000 Fahrten über den geraden Strang.

#### 1.6.3.3 Kontrolle und Instandhaltung der Weiche

Gemäss Auskunft von SBB-I richtet sich der Unterhalt der Weichen einerseits nach dem Resultat der visuellen Kontrollen und nach der Gebrauchsart der Weiche. Dabei kommen die Kenntnisse der Anlage und das Wissen um deren Beanspruchung zum Tragen. Unterhaltsarbeiten werden vorzugsweise geplant durchgeführt, so dass keine kurzfristigen Sperrungen einer Weiche nötig werden.

Die letzte visuelle Kontrolle der Weiche 41 erfolgte am 15. März 2017, zwei Wochen vor dem Ereignis. Die letzte Ultraschallmessung mit dem Schienenprüfgerät fand am 23. August 2016 statt. Im Rahmen der oberbautechnischen Kontrollen erfolgte die letzte periodische Prüfung der Weiche 41 am 11. Mai 2016. Alle diese Kontrollen bzw. Messungen ergaben keine Auffälligkeiten.

Im Bereich von Weichen kommt für die Ultraschalluntersuchung das Schienenprüfgerät zum Einsatz. Sowohl der Schienenprüfzug als auch das Schienenprüfgerät erfassen die Querschnitte des Schienenkopfs, des Stegs sowie des unter dem Steg liegenden Bereichs des Schienenfusses. Mit den eingesetzten Mitteln ist es nicht möglich, die äusseren Bereiche und die Unterseite des Schienenfusses zu prüfen (Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Querschnitt des Schienenprofils. Die Fläche, die geprüft werden kann, ist gelb gestrichelt umrandet.

Legende: 1 Schienenkopf  
2 Schienensteg  
3 Schienenfuss

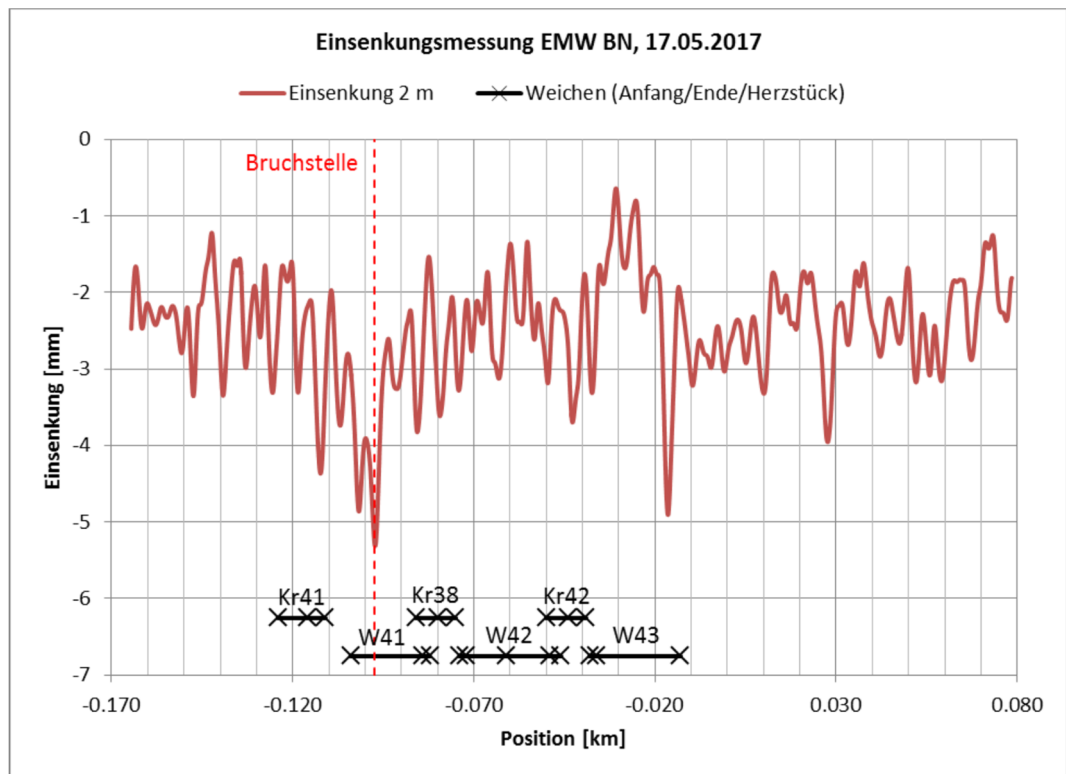
#### 1.6.3.4 Messungen der Weiche 41 mit dem Einsenkungsmessungen

Die Weiche 41 wurde in der Nacht vom 16./17. Mai 2017 durch «SBB Mess- und Diagnosetechnik» hinsichtlich vertikaler Gleissteifigkeit, Schienenfussspannungen und lateraler Bewegung der Federstelle vermessen. Zum Zeitpunkt der Messungen befand sich das Gleis im ursprünglichen Zustand. Es wurden lediglich die durch die Entgleisung beschädigten Komponenten ersetzt.

Die Messung der Gleiseinsenkung (Gleissteifigkeit) wurden mit dem Einsenkungsmesswagen von SBB-I durchgeführt.

Die Gleissteifigkeit ergibt sich dabei aus der Differenz zwischen unbelastetem und belastetem Gleis. Dieses wird mit einer normierten Achslast von 20 t belastet.

Die mittlere Einsenkung, über den gesamten Fahrweg gesehen, lag zwischen zwei und drei Millimetern. Die maximale Einsenkung (lokale Spitze) befand sich exakt bei der Bruchstelle und betrug 5.31 mm über beide Schienen und 5.37 mm bei der gebrochenen Zunge (Abbildung 9).



**Abbildung 9:** Resultate der Einsenkungsmessung.  
(Quelle: SBB, Mess- und Diagnosetechnik).

Die grosse Variabilität der Gleissteifigkeit ist im Fall solcher Weichenfelder nicht aussergewöhnlich.

Aufgrund von Erfahrungen und früheren Untersuchungen hat SBB-I folgende Grenzwerte für eine Eingriffsschwelle (ES) bzw. Soforteingriffsschwelle (SES) für eine mittlere Einsenkung sowie für lokale Spitzen definiert:

	ES	SES
Mittlere Einsenkung	≥ 4 bis <5 mm	≥ 5 mm
Lokale Spitzen	≥ 6 bis <8 mm	≥ 8 mm

## 1.7 Fahrzeuge

### 1.7.1 S-Bahn-Zug

#### 1.7.1.1 Beschreibung

Der S-Bahn-Zug war am 29. März 2017 mit zwei vierteiligen Triebzügen mit der Bezeichnung «NINA» (RABe 525 015 + RABe 525 016) gebildet.

#### 1.7.1.2 Feststellung

Der Zug fuhr in Bern rechtzeitig ab. Bis zur Entgleisung verlief die Fahrt ohne besondere Vorkommnisse.

Die letzte Revision (R2<sup>5</sup>) des vorderen Triebzuges war am 14. Januar 2015 in Bönigen durchgeführt worden. Beim hinteren Triebzug wurde die Revision (R2) am 9. Februar 2015 ebenfalls in Bönigen gemacht.

Im Stillstand befand sich die Bruchstelle der Weichenzunge zwischen den beiden NINA-Triebzügen.

Die Begutachtung des in Fahrtrichtung vorderen Triebzuges (RABe 525 015) brachte auf der Unfallstelle folgende Befunde:

- Achsen 1 und 2 nicht entgleist.
- Achse 3 in Fahrtrichtung rechts entgleist, in der Folge bei einem Radlenker wieder eingeleist.
- Achsen 4 bis 6 nur schwache Spuren vorhanden, vermutlich nicht entgleist.
- Achsen 7 und 8 in der Endlage des Zuges waren beide Achsen nach links entgleist.
- Achsen 9 und 10 aufgrund der fehlenden Führung durch die Zunge sind die in Fahrtrichtung rechten Räder entgleist.

Zur detaillierten Schadenaufnahme wurde dieser Triebzug (RABe 525 015) in die Werkstätte Bern Aebimatt überführt. Bei der Schadenaufnahme wurden diverse Aufschlagspuren an den Radsätzen und Drehgestellen festgestellt. Ausserdem waren weitere Teile beschädigt oder abgerissen.

Alle Radsatzprofile des NINA 525 015 wurden mittels eines Laser-Messgerätes erfasst. Die gemessenen Werte (Radprofil, Durchmesser, Radinnenabstand und Spurmass) lagen innerhalb der Toleranzen.

Der in Fahrtrichtung hintere Triebzug (RABe 525 016) befand sich vor der Bruchstelle. Er war nicht entgleist und blieb unbeschädigt.

## 1.8 Kommunikation

Es gab keine das Ereignis betreffende Kommunikation.

---

<sup>5</sup> Im täglichen Betrieb unterliegen das Rollmaterial und dessen Komponenten verschiedensten Einflüssen. Um den damit verbundenen Folgen entgegenzuwirken, ist die regelmässige Revision unumgänglich. Die entsprechenden Instandhaltungs- und Revisionsarbeiten sind in Stufen eingeteilt (R1 bis R3).

## 1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung

### 1.9.1 Fahrdatenschreiber

Der S-Bahn-Zug fuhr um 12:50:35 Uhr im Bahnhof Bern in Gleis 13 ab. Der Zug wurde bis auf eine maximale Geschwindigkeit von 32 km/h beschleunigt. Ab 12:50:59 Uhr reduzierte sich die Geschwindigkeit über die nächsten 33 m bis zum Stillstand um 12:51:07 Uhr.

Von der Abfahrt im Gleis 13 bis zum Stillstand legte der S-Bahn-Zug eine Strecke von 175.4 m zurück.

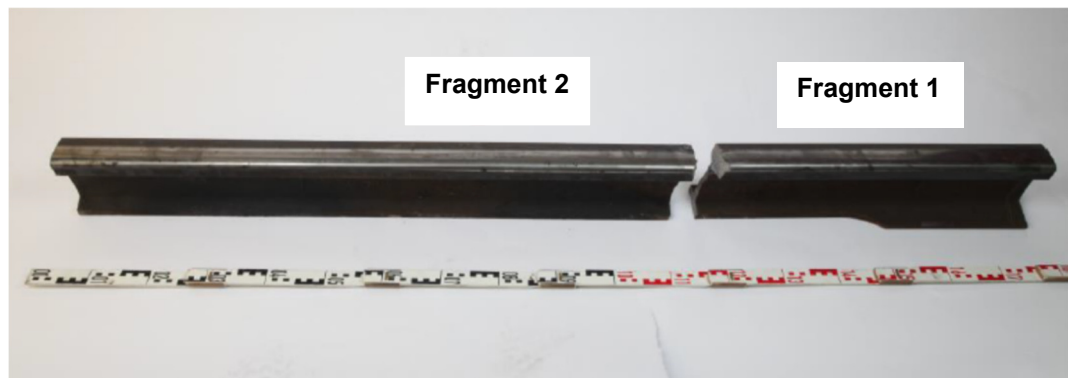
### 1.9.2 Stellwerkdaten

Die Sicherungsanlage funktionierte ordnungsgemäss. Vor und während der Entgleisung des S-Bahn-Zuges wurden keine Störungen aufgezeichnet. Nach der Entgleisung registrierte die Sicherungsanlage Störungen im Umfeld der Weiche 41.

## 1.10 Besondere Untersuchungen

### 1.10.1 Schadenanalyse der gebrochenen Weichenzunge

Beidseitig des Bruches wurde ein Stück der Weichenzunge zur Untersuchung sichergestellt. Diese Bruchstücke wurden einer umfangreichen Schadenanalyse zugeführt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde auch eine vertiefte Materialprüfung vorgenommen. Die Bruchstücke werden in der gesamten Schadenanalyse gemäss untenstehendem Beispiel bezeichnet (Abbildung 10).

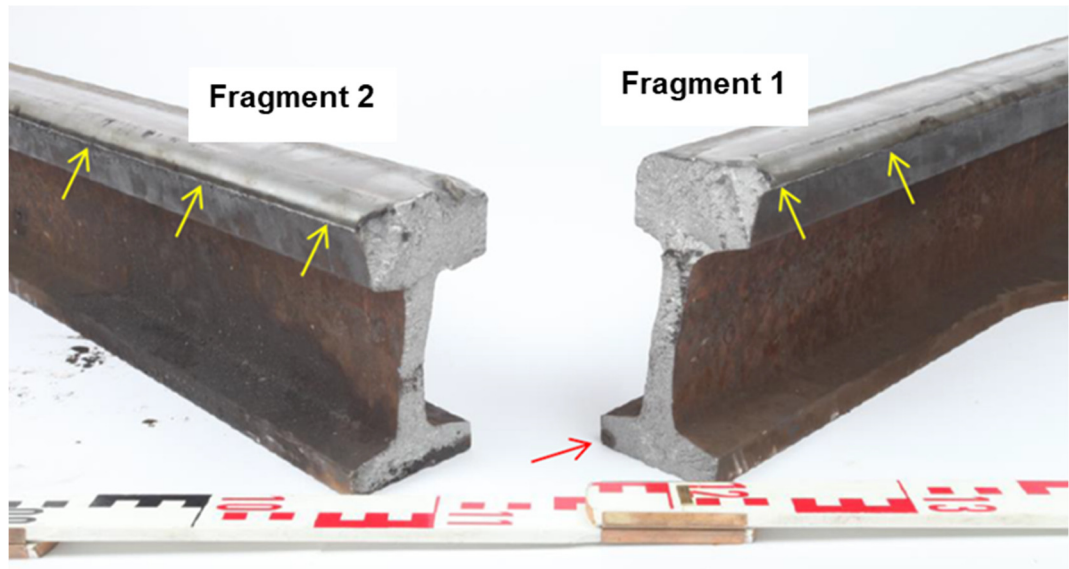


**Abbildung 10:** Ansicht der Bruchstelle im Federbereich der Zunge, Fahrtrichtung von rechts nach links. Fragment 1 Seite Bahnhof und Fragment 2 abgebrochenes Fragment Seite Bern Wankdorf.

#### 1.10.1.1 Makroskopische Untersuchung

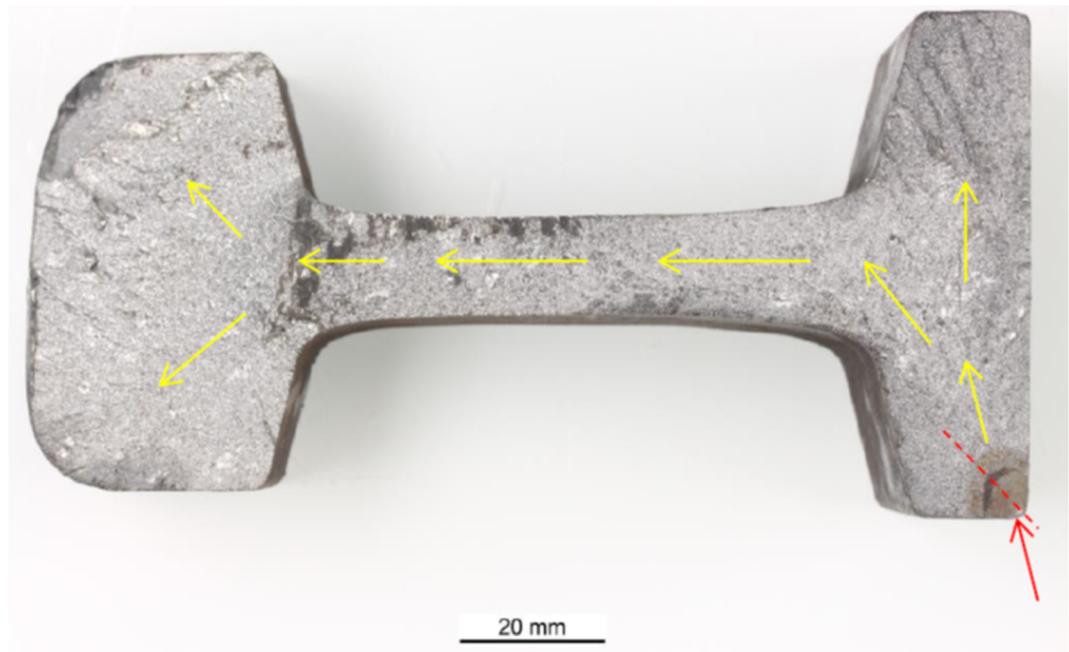
Die Bruchfläche verläuft verformungsarm, annähernd vertikal und quer zur Schiene. Sie befindet sich im Federbereich der Weichenzunge. Im Federbereich der Zunge ist der Schienenfuss auf ca. 70 mm verjüngt.

Über die ganze Länge ist eine Gratbildung seitlich am Schienenkopf erkennbar. Auffällig ist eine dunkle Verfärbung im Fussbereich von Fragment 1 (Abbildung 11).



**Abbildung 11:** Übersicht Bruchbereich mit Gratbildung seitlich am Schienenkopf entlang des gesamten Abschnitts (gelbe Pfeile). Auffällige dunkle Verfärbung im Fussbereich (roter Pfeil).

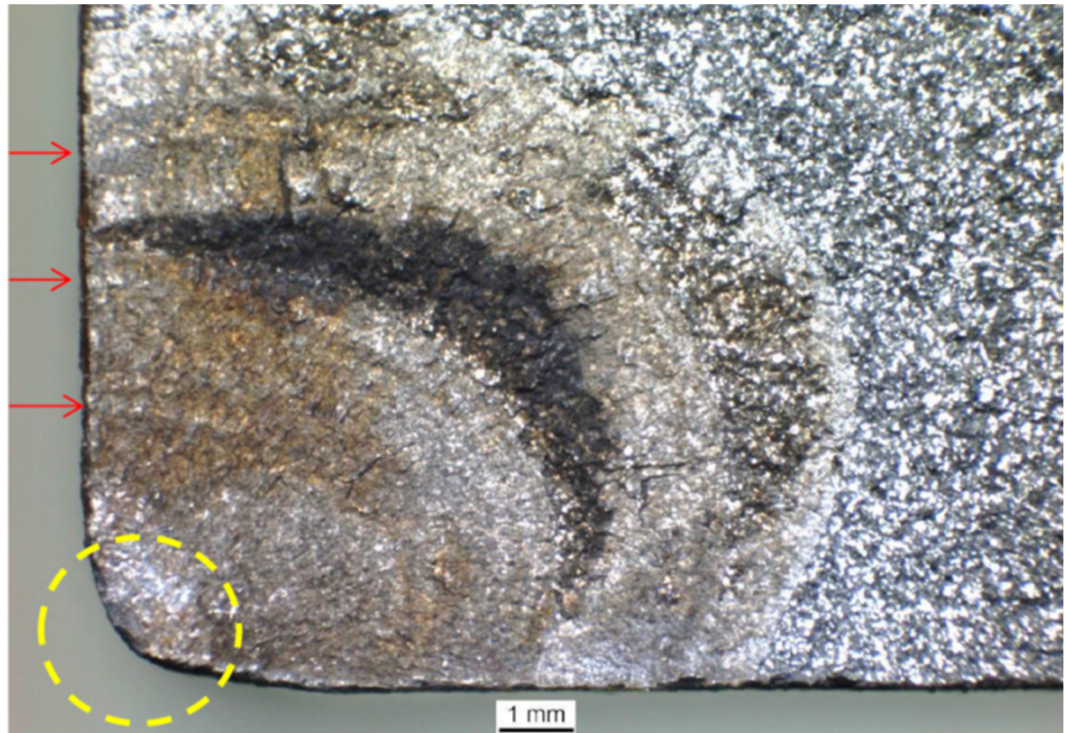
Es liegt ein verformungsarmer Bruch vor. Die Bruchfläche zeigt eine zerklüftete Bruchstruktur mit Bruchausbreitungslinien, welche auf einen Bruchausgang im Bereich der seitlichen Markierung des Schienenfusses hindeuten (Abbildung 12).



**Abbildung 12:** Übersicht Bruchfläche Fragment 1. Auffälliger Bruchausgangsbereich (Roter Pfeil) und Bruchausbreitung (Gelbe Pfeile), Schliffloge Rot gestrichelt.

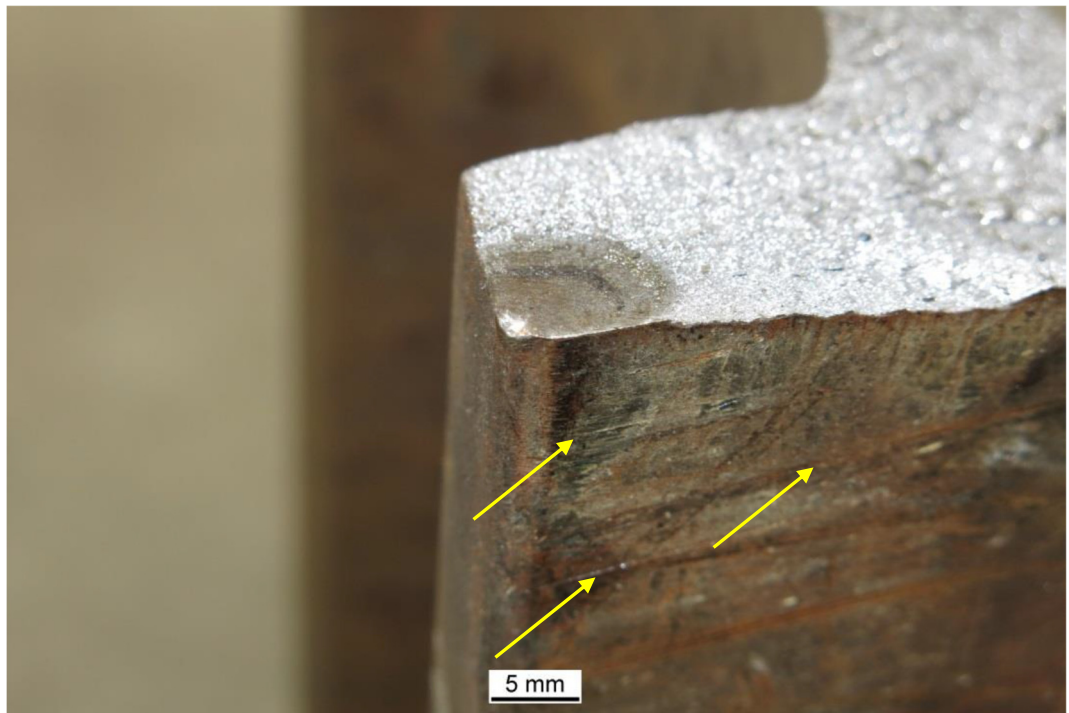


Bei höherer Vergrößerung sind im Bruchausgangsbereich von Fragment 1 die für einen Schwingbruch typischen Rastlinien erkennbar. Diese deuten auf einen Bruchausgang an der unteren Kante des Schienenfusses hin. Der Schwingbruchanteil beträgt rund 1.5 % der gesamten Bruchfläche (Abbildung 13).

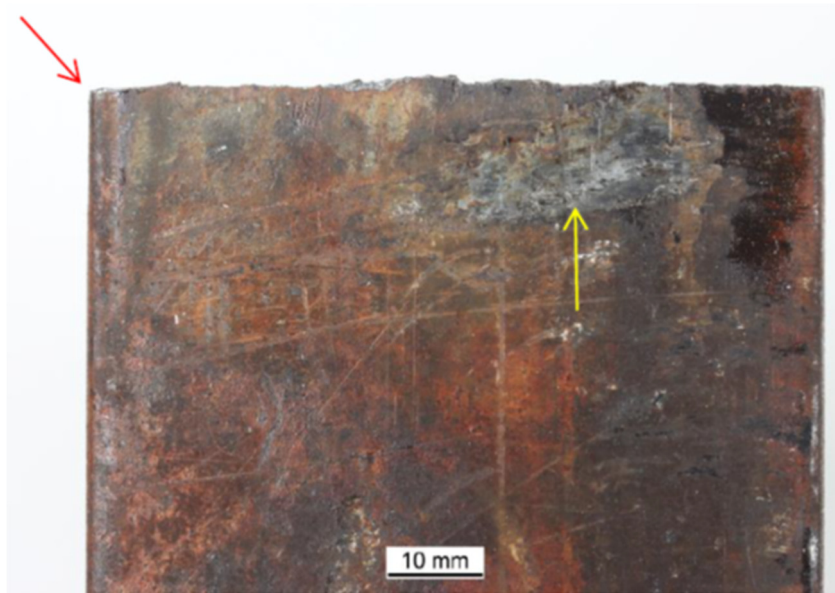


**Abbildung 13:** Bruchausgangsbereich Fragment 1. Es sind mehrere Rastlinien erkennbar (rote Pfeile), ausgehend von der unteren Kante des Schienenfusses (eingekreist).

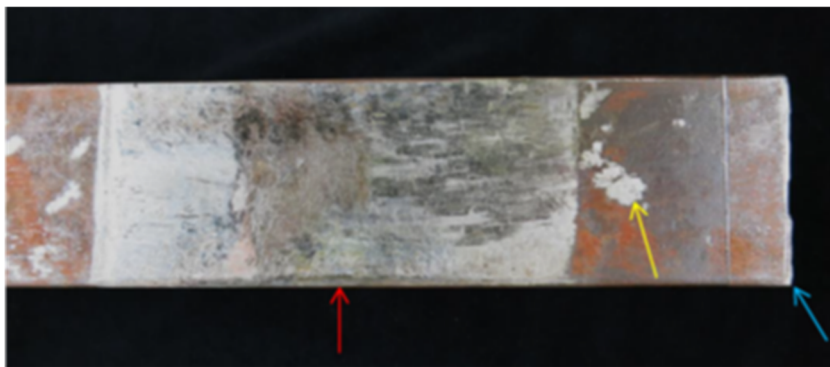
An der Unterseite der Schiene sind auf beiden Fragmenten Anzeichen von Reibspuren zu erkennen (Abbildungen 14 bis 16).



**Abbildung 14:** Bei Fragment 1 sind im Bruchausgangsbereich Reibspuren erkennbar (gelbe Pfeile).



**Abbildung 15:** Erkennbar sind eine ausgedehnte Reibspur auf der Unterseite von Fragment 1 (gelber Pfeil) und eine zweite weiter vom Bruchausgangsbereich entfernt (roter Pfeil).



**Abbildung 16:** Reibstelle der Schwelle (roter Pfeil) auf Fragment 2 und zusätzliche Reibflecken (gelber Pfeil) in der Nähe der Bruchfläche. Der blaue Pfeil markiert den Bruchausgangsbereich.

Die Resultate der Makroskopischen Untersuchung der beiden Fragmente der Weichenzunge lassen sich wie folgt zusammenfassen:

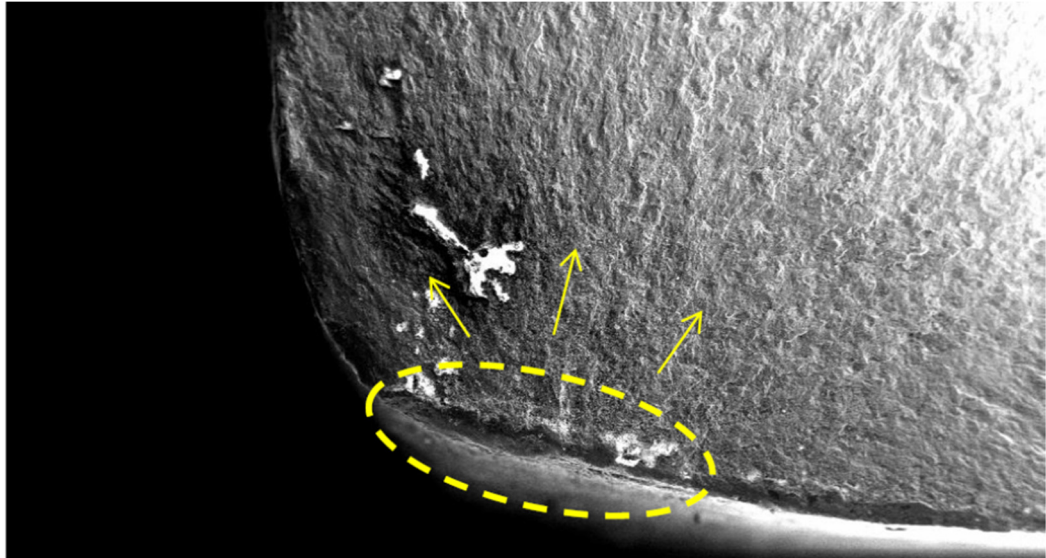
- Die Fahrfläche zeigt Verschleissmerkmale und es sind Ausbrüche und Head-Checks<sup>6</sup> erkennbar.
- Es ist ein Grat seitlich am Schienenkopf über die gesamte Länge des Abschnitts vorhanden, welcher durch Oberflächenverformungen beim Überrollen entstanden ist.
- Im Fussbereich lassen sich auffällige dunkle Verfärbungen erkennen. Am Schienenkopf von Fragment 2 sind zwei tiefe Eindrücke auf der Fahrfläche erkennbar, welche auf Überrollungen von Radkränzen hindeuten.
- Es liegt ein verformungsarmer Bruch vor. Die Bruchausbreitungslinien weisen auf einen Bruchausgang seitlich an der unteren Kante hin.

<sup>6</sup> Head Checks: Es handelt sich um feine Oberflächenrisse, die meist an der Fahrkante der Aussenschiene in Kurven entstehen und durch Rollkontaktermüdung verursacht werden.



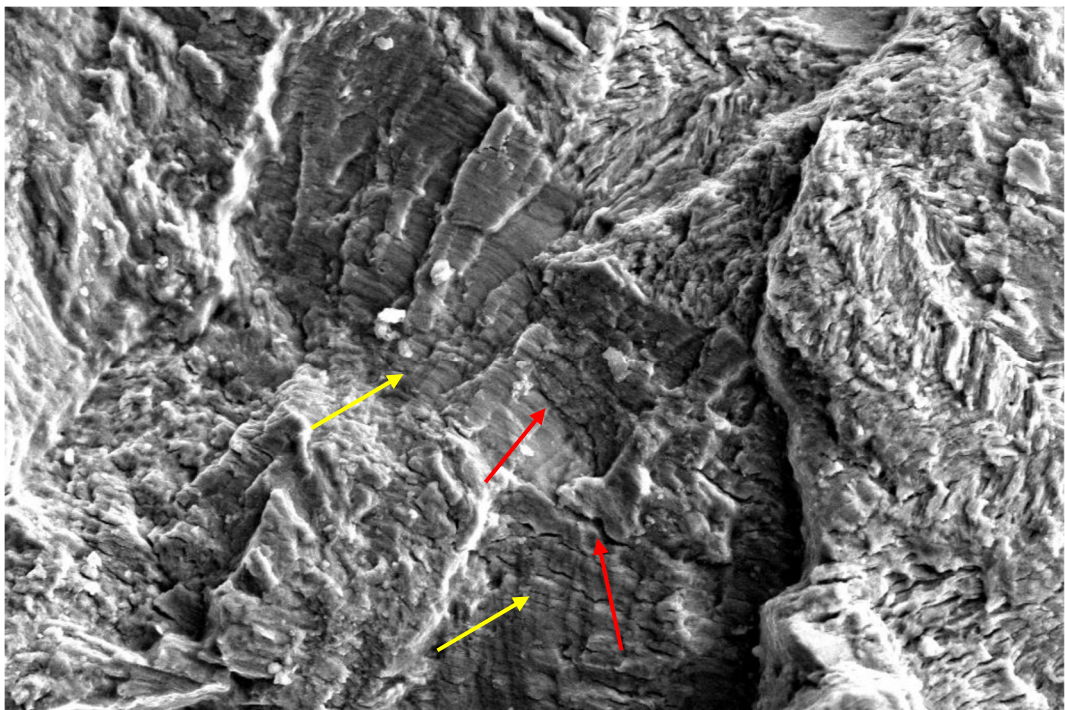
## 1.10.1.2 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Die mikroskopischen Bruchverlaufslinien im Bruchausgangsbereich lassen den Bruchausgang an der Unterseite der Kante eingrenzen (Abbildung 17).



**Abbildung 17:** Mikroskopische Bruchausgangslinien weisen auf einen Bruchausgang an der Unterseite hin.

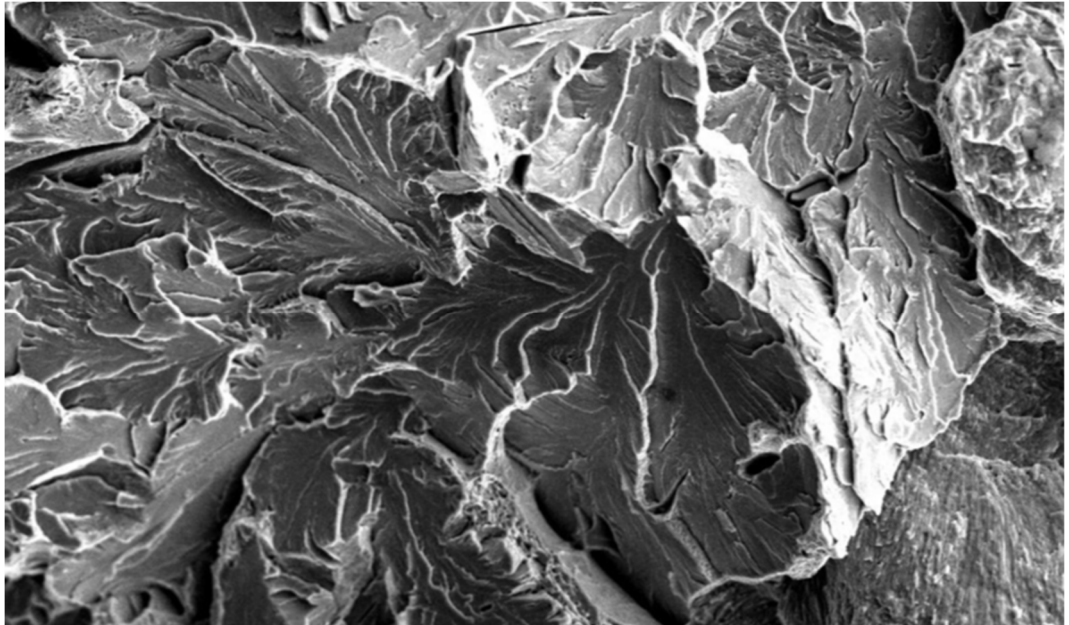
Bei höherer Vergrößerung sind im Bruchausgangsbereich die für einen Schwingbruch typischen Schwingungstreifen und Nebenrisse erkennbar (Abbildung 18).



**Abbildung 18:** Bruchausgangsbereich mit Schwingungstreifen (Bsp. gelbe Pfeile) und Nebenrisse (Bsp. rote Pfeile).



Die Restbruchfläche zeigt einen mikroduktilen<sup>7</sup> Gewaltbruch mit Rosetten und Mikrowaben (Abbildung 19).



**Abbildung 19:** Die Restbruchfläche zeigt einen mikroduktilen Gewaltbruch mit Rosetten und Mikrowaben.

#### 1.10.1.3 Zerstörungsfreie Rissprüfung

Am gesamten Schienenabschnitt wurde eine Magnetpulverprüfung durchgeführt. Rissanzeigen waren ausschliesslich seitlich am Schienenkopf auf dem Fahrbereich erkennbar (Rollermüdigungserscheinungen). Weder am Schienenfuss noch am Steg waren Rissanzeigen vorhanden.

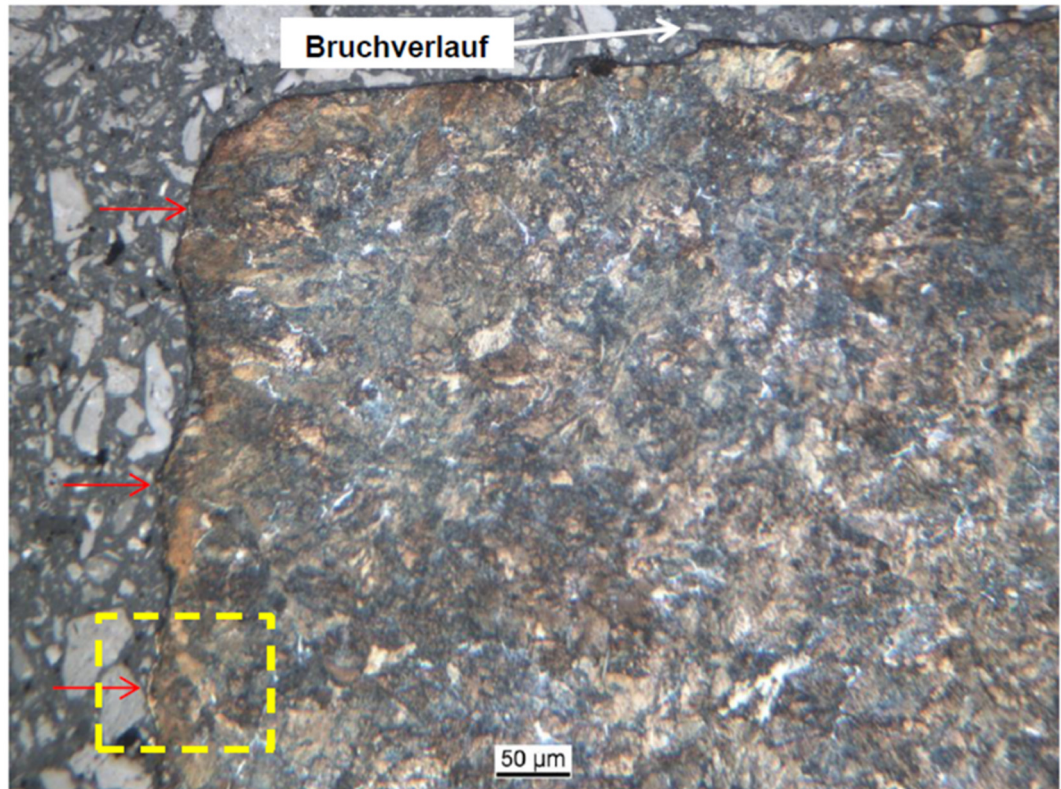
#### 1.10.1.4 Metallografische Untersuchungen

Im geätzten Mikroschliff sind an der Oberfläche des Schienenfusses in der Nähe der Bruchfläche auffällige Randzonen erkennbar. Bei höherer Vergrösserung lassen sich diese Zonen als Reibmartensit<sup>8</sup> identifizieren (Abbildung 20).

---

<sup>7</sup> Duktilität ist die Eigenschaft eines Werkstoffs, sich unter Scherbelastung vor einem Bruch dauerhaft plastisch zu verformen.

<sup>8</sup> Reibmartensit: Dieser entsteht wenn das Material durch hohen Druck örtlich stark verfestigt und durch starke Reibung erhitzt wird.



**Abbildung 20:** Geätzter Mikroschliff: Auffällig sind die hellen Streifen entlang der Schienenoberfläche (rote Pfeile).

#### 1.10.1.5 Chemische Analysen

Die chemische Zusammensetzung des Materials entspricht einem Schienenstahl der Güte R260 nach EN 13674-7:2017<sup>9</sup>.

#### 1.10.1.6 Mechanisch-technologische Prüfungen

Die mechanisch-technische Prüfung ergab, dass die Zugfestigkeit die Anforderungen nach EN 13674-7:2017 für einen Stahl der Güte R260 erfüllt.

<sup>9</sup> EN 13674-7:2017: Bahnanwendungen - Oberbau – Schienen, Ausgabe gültig vom 1. August 2017.

## 2 Analyse

### 2.1 Technische Aspekte

#### 2.1.1 Rollmaterial

Die Werte der an den Radsätzen des NINA 525 015 durchgeführten Messungen lagen innerhalb der Toleranzen. Die Untersuchung der entgleisten NINA ergab keine Hinweise darauf, dass die Entgleisung fahrzeugseitig verursacht worden wäre. Die festgestellten Beschädigungen sind als Folge und nicht als Ursache der Entgleisung zu betrachten.

#### 2.1.2 Weiche 41

Bei der Weiche 41 war mit dem Schienenprofil UIC 46E1 nicht das grössere und widerstandsfähigere Schienenprofil UIC 54E2 eingebaut. Das kleinere Schienenprofil darf gemäss den AB EBV (siehe Ziffer 1.7.3.1 dieses Berichts) nur bei schwachen Belastungen bzw. in Ausnahmefällen verwendet werden und müsste bei der nächsten Erneuerung oder bei grossen Nutzungsänderung angepasst werden.

Mit täglich knapp 140 Überfahrten ist der Wert für eine «schwache Belastung» überschritten. Für die herrschende Belastung, in Kombination mit der Vorschädigung und der Einsenkung, war die Weiche mit dem Schienenprofil UIC 46E1 zu schwach ausgelegt.

Die Grenzwerte für die mittlere Einsenkung sowie für lokale Spitzen wurden nicht überschritten. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass die Schienenfussspannungen aufgrund der hohen Einsenkung und Durchbiegung den Dauerfestigkeitsbereich überschritten haben.

#### 2.1.3 Schadenanalyse

Auf Grund der Ergebnisse der Schadenanalyse der gebrochenen Weichenzunge kann ausgesagt werden, dass die Ursache für den Zungenbruch auf eine Reibermüdung («Fretting Fatigue») zurückzuführen ist. Diese kann auftreten, wenn die beiden Kontaktkörper unterschiedliche elastische Eigenschaften besitzen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Der Bruch ereignete sich an einer Stelle, die durch einen wachsenden Schwingbruch vorgeschädigt war.
- Erreicht der Schwingbruch eine kritische Länge bezogen auf die wirkenden Lasten, kommt es zu einem spontanen Restgewaltbruch.
- Sekundäre Beschädigungen wie die Überrollung von Radkränzen sind nur auf dem abgebrochenen Fragment 2 vorhanden. Eine vorzeitige Entgleisung hätte bei beiden Bruchfragmenten zu sekundären Beschädigungen führen müssen.

Diese Indizien weisen darauf hin, dass der Zug als Folge des Zungenbruchs entgleiste.

### 2.2 Organisatorische Aspekte

Eine Häufung von Beschädigungen im Bereich der Federstelle ist nicht bekannt. Vor dem Ereignis wurde nur ein Vorfall, ebenfalls im Bahnhof Bern, mit einem ähnlichen Schadensbild dokumentiert.

Die Vorschädigung war bei den durch SBB-I durchgeführten Kontrollen und Untersuchungen nicht erkennbar. Mit den bei der Ultraschalluntersuchung eingesetzten

Mitteln ist es technisch nicht möglich, die äusseren Bereiche und die Unterseite des Schienenfusses zu erfassen.

Im Rahmen der periodischen Kontrollen lag das Augenmerk bei den Schäden auf der Schienenoberfläche. Der Schienenfuss wurde bisher nicht als Schwachstelle betrachtet.

### **2.3 Betriebliche Aspekte**

Der S-Bahn-Zug war pünktlich unterwegs und verliess den Bahnhof Bern auf einer eingestellten und gesicherten Zugfahrstrasse. Diese Fahrstrasse wird im fahrplanmässigen Verkehr regelmässig befahren. Der Zug hielt die für diesen Abschnitt zulässige Höchstgeschwindigkeit ein.

## **3 Schlussfolgerungen**

### **3.1 Befunde**

#### **3.1.1 Technische Aspekte**

- Das bei der Weiche 41 im Bahnhof Bern eingesetzte Schienenprofil der Weichenzunge ist für die hohe Beanspruchung durch das häufige Befahren, insbesondere auch mit Doppelstocktriebfahrzeugen, zu schwach dimensioniert. Diese Beanspruchung wurde durch die vorhandene Vorschädigung des Zungenprofils an der Bruchstelle in Kombination mit einer im Bereich der Bruchstelle erhöhten, aber noch innerhalb der Toleranz liegenden Einsenkung gegenüber dem Umfeld verstärkt.
- Der Bruch ereignete sich im Federbereich der Weichenzunge und an einer Stelle, die durch einen wachsenden Schwingbruch vorgeschädigt war.
- Sobald der Schwingbruch bezogen auf die wirkenden Lasten eine kritische Länge erreichte, kam es zu einem spontanen Restgewaltbruch.
- Der Zug entgleiste nach dem Bruch der Weichenzunge.
- Das Fahrzeug wies keine vorbestehenden Mängel auf.

#### **3.1.2 Organisatorische Aspekte**

- Die als Prüfmethode angewandten Ultraschalluntersuchungen erfassen den äusseren Bereich des Schienenfusses nicht. Die Vorschädigung konnte so nicht erkannt werden. Dieser Bereich wurde bis anhin als weniger kritisch betrachtet. Das Augenmerk richtete sich vielmehr auf den Schienenkopf.
- Methoden zur Früherkennung von Reibspuren auf der Schienenunterseite sind mit grossem Aufwand verbunden.
- Aktuell ist keine zuverlässige Prüfmethode bekannt, die eine zerstörungsfreie Kontrolle des Schienenfusses ohne Demontage ermöglicht.
- Das untersuchte Ereignis ist der zweite dokumentierte Fall eines Bruchs einer Weichenzunge im Bereich der Federstelle.

### **3.2 Ursachen**

Die Entgleisung eines S-Bahn-Zuges bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof Bern ist darauf zurückzuführen, dass die Zunge der Weiche 41 aufgrund einer Reibermüdung im Bereich der Federstelle während des Befahrens brach.

Folgende Faktoren haben zum Unfall beigetragen:

- Das verwendete Schienenprofil der Weichenzunge war in Kombination mit der Vorschädigung und den erhöhten Einsenkungswerten nicht geeignet, den durch das häufige Befahren entstandenen Belastungen standzuhalten.
- Die angewendete Ultraschallprüfmethode ist nicht darauf ausgerichtet, Schwachstellen im Schienenfuss zu erkennen.

## **4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

### **4.1 Sicherheitsempfehlungen**

Keine

### **4.2 Sicherheitshinweise**

Keine

### **4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen**

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Nach der Entgleisung hat SBB-I folgende Massnahmen beschlossen:

- Es wurden Möglichkeiten untersucht,
  - die eine bessere systematische Überwachung des Zustandes der Weiche erlauben sollen.
  - wie solche Risse mit Methoden der zerstörungsfreien Prüfung detektiert werden können. Es wurde sowohl eine Ultraschallprüfung wie auch eine Wirbelstromprüfung entwickelt und im Gleis erprobt. Beide Verfahren basieren auf einer Handprüfung der Zone und erweisen sich als sehr aufwändig, nicht zuletzt wegen des erheblichen Reinigungsaufwands.
- Um Brüche zu verhindern, soll die Entstehung von Ermüdungsrissen im Schienenfuss verhindert werden. Bei der Entwicklung eines neuen Weichentyps soll der Bereich der Zunge neu gestaltet und die Einsenkung der Weichen besser überwacht werden.
- Zustandsdaten in Vorbahnhöfen sollen künftig systematischer ermittelt und ausgewertet werden.
- Der Ersatz der Weiche 41 und damit der Wechsel auf das Profil UIC 54ES wurde bereits vor der Entgleisung für das Jahr 2020 geplant.

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, 11. Juni 2019

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle