



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 SISl  
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

# **Schlussbericht**

## **der Schweizerischen**

### **Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST**

über die Entgleisung eines Eurocity-  
Zuges

vom 22. März 2017

in Luzern (LU)

Reg.-Nr. 2017032201

## 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.

Die deutsche Fassung dieses Berichts ist das Original und daher massgebend.

## Inhaltsverzeichnis

|   |          |
|---|----------|
| <b>Zusammenfassung .....</b>                          | <b>6</b> |
| Überblick .....                                       | 6        |
| Untersuchung .....                                    | 6        |
| Kurzdarstellung .....                                 | 7        |
| Ursache.....  | 7        |
| Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise ..... | 7        |
| <b>1 Sachverhalt.....</b>                             | <b>8</b> |
| 1.1 Ort des Ereignisses .....                         | 8        |
| 1.2 Vorgeschichte .....                               | 9        |
| 1.3 Ablauf des Ereignisses.....                       | 9        |
| 1.4 Schäden.....                                      | 10       |
| 1.4.1 Personen.....                                   | 10       |
| 1.4.2 Infrastruktur.....                              | 10       |
| 1.4.3 Fahrzeuge.....                                  | 10       |
| 1.4.4 Dritte .....                                    | 10       |
| 1.5 Beteiligte und betroffene Personen .....          | 10       |
| 1.5.1 Bahnpersonal.....                               | 10       |
| 1.5.2 Reisende.....                                   | 11       |
| 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 Weitere Unternehmen .....                       | 11       |
| 1.7 Infrastruktur.....                                | 12       |
| 1.7.1 Bahnanlage.....                                 | 12       |
| 1.7.2 Stellwerk .....                                 | 12       |
| 1.7.3 Fahrweg des Zuges .....                         | 13       |
| 1.7.4 Doppelkreuzungsweiche 63 .....                  | 14       |
| 1.7.5 Langensandbrücke.....                           | 17       |
| 1.7.6 Feststellungen.....                             | 17       |
| 1.8 Fahrzeuge.....                                    | 20       |
| 1.8.1 Beschreibung .....                              | 20       |
| 1.8.2 Führungskraft Y am Rad .....                    | 26       |
| 1.8.3 Zulassung .....                                 | 27       |
| 1.8.4 Feststellung.....                               | 27       |
| 1.9 Kommunikation .....                               | 33       |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 1.10     | Auswertung der Datenaufzeichnung.....                                  | 34        |
| 1.10.1   | Fahrdaten.....   | 34        |
| 1.10.2   | Diagnosedaten Neigerechner.....  | 34        |
| 1.10.3   | Stellwerkdaten .....   | 34        |
| 1.10.4   | Zugkontrolleinrichtungen .....   | 34        |
| 1.10.5   | Videoaufzeichnungen.....   | 34        |
| 1.11     | Erklärende Grundlagen .....  | 35        |
| 1.11.1   | Bezeichnung der Bereiche an Rad- und Schienenprofilen.....             | 35        |
| 1.11.2   | Krafteinwirkung auf die Stockschiene.....                              | 36        |
| 1.11.3   | Reibwert und Radanhebung.....  | 36        |
| 1.11.4   | Unterschied von nicht versteilter und versteilter Kreuzungsweiche..... | 37        |
| 1.11.5   | Allgemeines zum Rad-Schiene-Kontakt .....                              | 38        |
| 1.11.6   | Definition Entgleisung.....  | 40        |
| 1.11.7   | Messungen und Literatur Review über das Thema Reibungskoeffizient..... | 41        |
| 1.12     | Besondere Untersuchungen.....  | 42        |
| 1.12.1   | Videoaufnahme Überfahrt Weichenzunge Doppelkreuzungsweiche 63.....     | 42        |
| 1.12.2   | Dynamische Messungen Auslenkung Stockschiene.....                      | 43        |
| 1.12.3   | Dynamische Messungen Klaffmass Doppelkreuzungsweiche 63 .....          | 44        |
| 1.12.4   | Laufdynamische Untersuchungen mittels Simulation .....                 | 44        |
| 1.12.5   | Untersuchung der Rad-Schiene-Profilgeometrie .....                     | 47        |
| 1.12.6   | Erkenntnisse aus der laufdynamischen Untersuchung .....                | 48        |
| <b>2</b> | <b>Analyse .....</b>   | <b>50</b> |
| 2.1      | Technische Aspekte .....   | 50        |
| 2.1.1    | Fahrzeug.....  | 50        |
| 2.1.2    | Infrastruktur.....   | 51        |
| 2.2      | Organisatorische Aspekte .....   | 52        |
| 2.3      | Betriebliche oder prozessuale Aspekte.....                             | 52        |
| 2.4      | Menschliche Aspekte .....  | 52        |
| 2.5      | Zusammenstellen der Befunde.....                                       | 52        |
| 2.6      | Nicht weiter verfolgte Aspekte .....                                   | 55        |
| <b>3</b> | <b>Schlussfolgerungen.....</b>   | <b>56</b> |
| 3.1      | Befunde.....   | 56        |
| 3.1.1    | Technische Aspekte .....   | 56        |
| 3.1.2    | Organisatorische Aspekte .....   | 56        |
| 3.1.3    | Betriebliche oder prozessuale Aspekte .....                            | 56        |
| 3.1.4    | Menschliche Aspekte .....  | 56        |
| 3.2      | Ursachen.....  | 57        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4 Sicherheitsempfehlungen und -hinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen</b> | <b>58</b> |
| 4.1 Sicherheitsempfehlungen  | 58        |
| 4.1.1 Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge                                     | 58        |
| 4.1.2 Schmierung der Schienenflanke in fahrdynamisch anspruchsvollen Weichenbereichen    | 59        |
| 4.2 Sicherheitshinweise  | 59        |
| 4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen  | 59        |

## Zusammenfassung

### Überblick

**Verkehrsmittel** Eisenbahn

### Beteiligte Unternehmen

**Eisenbahnverkehrsunternehmen** SBB AG, Personenverkehr (SBB-P), Bern

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

**Weitere Unternehmen** Trenitalia S.p.A, Rom (IT)  
Alstom Ferroviaria Spa, Savigliano (IT)

**Beteiligte Fahrzeuge** Mehrsystemtriebzug ETR 610 002, Trenitalia

**Ort** Luzern (LU)

**Datum und Zeit** 22. März 2017, 13:57 Uhr

### Untersuchung

Am 22. März 2017 um 14:15 Uhr traf die Meldung über die Entgleisung eines Eurocity-Zuges in Luzern beim Untersuchungsdienst der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein. Es wurde eine Untersuchung eröffnet.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Gutachten:
  - Metallurgische Untersuchung Pneumatikzylinder Querfederung,
  - Prüfung Proportionalventil Querfederung,
  - Untersuchung der Infrastruktur,
  - Prüfung Fahrwerkskomponenten,
  - Entgleisungssimulation und gleisgeometrische Begutachtung;
- statische und dynamische Messungen der Infrastruktur;
- Meteorologische Daten;
- Fahrdaten des Zuges;
- Stellverkaufzeichnungen;
- Pflichtenhefte;
- Kartenmaterial;
- Gleispläne;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen.

## Kurzdarstellung

Am 22. März 2017 um 13:57 Uhr entgleisten bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof Luzern zwei Zwischenwagen eines Eurocity-Zuges, wobei nach dem Stillstand des Zuges sich einer der Wagen in Schräglage an einem Fahrleitungsmast abstützte. Es wurden sieben Zugpassagiere leicht verletzt. Der Sachschaden an der Infrastruktur und an den Fahrzeugen war beträchtlich. Für die Reparaturarbeiten an der Infrastruktur musste der Bahnhof Luzern über vier Tage für sämtlichen Zugverkehr der Normalspurbahn gesperrt werden.

## Ursache

Die Entgleisung eines Eurocity-Zuges am 22. März 2017 in Luzern auf einer versteilten Doppelkreuzungsweiche ist auf das Aufsteigen des Spurkranzes auf die Weichenzungenoberkante zurückzuführen.

Das Zusammenwirken von verschiedenen Faktoren hat dazu geführt, dass die Spurkranzkuppe in einem kritischen Bereich auf die Oberkante der Weichenzunge traf:

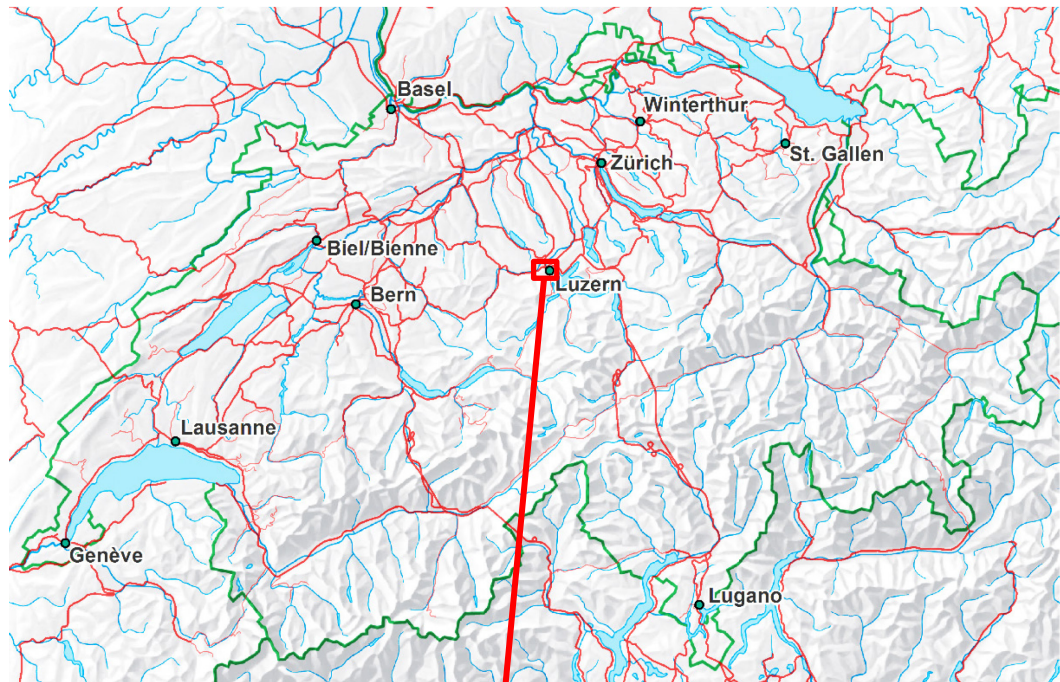
Die Verschleissform des Spurkranzes führte zu einem näheren Heranrücken der Spurkranzkuppe gegen die Weichenzungenspitze. Durch das über den bisher bekannten Werten liegende Klaffen der Weichenzunge stand die Weichenzungenspitze zudem nahe am kritischen Bereich der Spurkranzkuppe. Der mangelnde Schmierfilm zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke führte zur Erhöhung des Reibwerts. Zusammen mit einer erhöhten Querkraft infolge des Defekts an der Querfederung des erstentgleisten Drehgestells erfolgte eine erhöhte Radanhebung während der Bogenfahrt. Alle diese Faktoren trugen dazu bei, dass die Spurkranzkuppe so positioniert wurde, dass das Rad auf die Weichenzungenoberkante aufsteigen konnte. Zusätzlich war die Spurkranzkuppe durch eine Aufwalzung etwas flacher, was das Aufsteigen ohne wesentliches Zurückdrücken der Weichenzunge begünstigte.

## Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht werden zwei Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

# 1 Sachverhalt

## 1.1 Ort des Ereignisses



**Abbildungen 1 und 2:** Ort des Unfalls im Bahnhof Luzern (Quelle der Basiskarten: Bundesamt für Landestopografie).



## 1.2 Vorgeschichte

Die Zugkomposition verkehrte am 22. März 2017 ungefähr um 06:10 Uhr ab Zürich über Zug, Arth-Goldau und Chiasso nach Milano Centrale. Nach dem Wenden verkehrte der Zug mit Abfahrt etwa um 10:15 Uhr ab Milano Centrale über Chiasso und Arth-Goldau nach Luzern.

Die Temperatur betrug ca. 7 °C. Es war Tag, der Himmel war bewölkt, die Sichtverhältnisse waren gut. Es gab keinen Niederschlag, die Schienen waren trocken.

## 1.3 Ablauf des Ereignisses

Der Eurocity-Zug war mit 157 Passagieren, drei Zugbegleitern und dem Lokführer besetzt. Er fuhr um 13:57 Uhr im Bahnhof Luzern im Gleis 7 ab, um nach Basel zu gelangen. Kurz nach dem Ende des Bahnperrons entgleiste der fünfte Wagen bei der Doppelkreuzungsweiche 63. Dadurch zog es den vorausrollenden, vierten Wagen nach links, so dass auch dieser entgleiste. Dieser vierte Wagen kippte in der Folge nach links, wobei er mit der linken Dachkante gegen einen Fahrleitungsmasten stiess und in Schräglage, anliegend am genannten Fahrleitungsmasten, zum Stillstand kam. Die Zugkomposition wurde durch die Kollision nicht getrennt.

Aufgrund der beschädigten Fahrleitung kam es zu einem Kurzschluss, der zu einem Stromunterbruch des gesamten Bahnverkehrs im Bahnhof Luzern führte.



**Abbildung 3:** Fotografie der Unfallstelle; Blick in Fahrtrichtung.

**1.4 Schäden****1.4.1 Personen**

Es wurden sieben Passagiere leicht verletzt.

**1.4.2 Infrastruktur**

Die Gleisanlage, die Fahrleitung und die Sicherungsanlage wurden erheblich beschädigt.

**1.4.3 Fahrzeuge**

Am vierten und am fünften Wagen der Zugkomposition entstand sehr grosser Schaden.

**1.4.4 Dritte**

Aufgrund der Zugausfälle organisierten die SBB in der Zeit vom 22.03.2017, 13:57 Uhr bis zum Betriebsschluss am 26.03.2017 für verschiedene Eisenbahnverkehrsunternehmen (SBB, BLS, SOB, Zentralbahn) Ersatzbusse.

**1.5 Beteiligte und betroffene Personen****1.5.1 Bahnpersonal**

## 1.5.1.1

Lokführer

Person

Jahrgang 1957  
Anstellung bei SBB-P  
Dienstort Bellinzona

Berechtigung

Ein BAV<sup>1</sup>-Ausweis der Kategorie B zum Ausführen aller Rangierbewegungen und zum Führen aller Züge war vorhanden und gültig. Eine Bescheinigung zum Befahren der SBB-Infrastruktur und zum Bedienen des Mehrsystemtriebzugs vom Typ ETR 610 war vorhanden.

Letzte Fähigkeitsprüfung

Periodische Prüfung im Jahr 2013,  
Ausbildung ETR 610 im Jahr 2014

Werdegang

1981 Eintritt in den Baudienst der SBB in Lausanne, ab 1989 tätig in den Werkstätten in Bellinzona und seit 1994 Lokführer in Bellinzona.

Arbeitszeiten vor dem Ereignistag

19.03.2017, arbeitsfrei,  
20.03.2017, arbeitsfrei,  
21.03.2017, Arbeit von 15:43 Uhr bis 23:58 Uhr.

Arbeitsbeginn am Ereignistag

12:02 Uhr

Arbeitszeit bis zum Ereignis

01:55 Std

Medizinische Feststellungen

Alkoholttest ergab 0.00 ‰.

---

<sup>1</sup> Bundesamt für Verkehr

|         |                                   |  |
|---------|-----------------------------------|--|
| 1.5.1.2 | Fahrdienstleiter                  |  |
|         | Person                            | Jahrgang 1991<br>Anstellung bei SBB-I<br>Dienstort Olten   |
|         | Berechtigung                      | Eine Bescheinigung der Infrastrukturbetreiberin für das Sichern und Regeln des Zugverkehrs und von Rangierbewegungen mit allen Kompetenzen war vorhanden und gültig. |
|         | Arbeitszeiten vor dem Ereignistag | 21.03.2017, Arbeit von 05:50 Uhr bis 14:45 Uhr.  |
|         | Arbeitsbeginn am Ereignistag      | 11:30 Uhr  |
|         | Arbeitszeit bis zum Ereignis      | 02:27 Std  |

## 1.5.2 Reisende

Reisender, Jahrgang 1965, leicht verletzt,  
Reisender, Jahrgang 1967, leicht verletzt,  
Reisender, Jahrgang 1971, leicht verletzt,  
Reisender, Jahrgang 1986, leicht verletzt,  
Reisende, Jahrgang 1990, leicht verletzt,  
Reisende, Jahrgang 1993, leicht verletzt,  
Reisender, Jahrgang 1994, leicht verletzt.

## 1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

### 1.6.1 Infrastrukturbetreiberin

SBB AG, Infrastruktur, Bern

### 1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

SBB AG, Personenverkehr, Bern

### 1.6.3 Fahrzeughalter

Trenitalia S.p.A, Rom (IT)

### 1.6.4 Weitere Unternehmen

Alstom Ferroviaria Spa, Savigliano (IT) (Fahrzeughersteller und Instandhaltung)

## 1.7 Infrastruktur

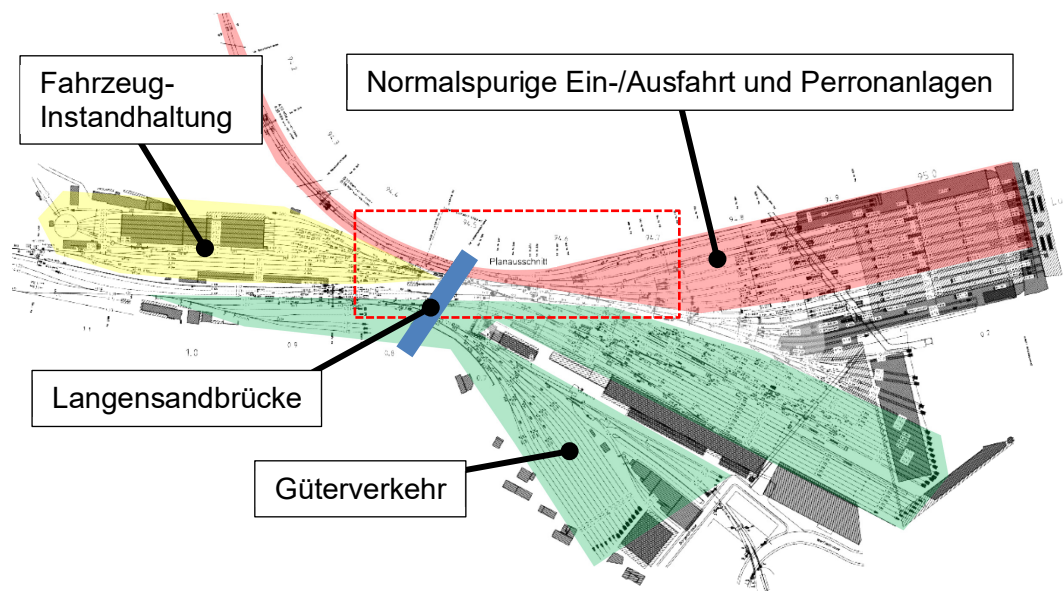
### 1.7.1 Bahnanlage

#### 1.7.1.1 Beschreibung

Im Bahnhof Luzern führen mehrere normalspurige sowie meterspurige Strecken in einen Kopfbahnhof. Ferner sind Anlagen für den Güterverkehr, die Fahrzeuginstandhaltung und den Baudienst vorhanden.

Eine zweigleisige, normalspurige Zufahrtsstrecke verzweigt sich im Vorfeld der Perronanlagen auf engem Raum in elf Kopfgleise. Der Weichenkopf Luzern ist historisch gewachsen. In beengten Platzverhältnissen muss ein stark zunehmender Bahnverkehr abgewickelt werden. Generell sind die Platzverhältnisse so einengend, dass Weichenelement an Weichenelement angeordnet werden musste, um die notwendigen Verbindungen sicherstellen zu können.

An der schmalsten Stelle überspannt die Langensandbrücke die Gleise.



**Abbildung 4:** Bahnanlage Bahnhof Luzern. Roter Rahmen: Planausschnitt mit Fahrweg und Endlage des entgleisten Zuges in Abbildung 5 (Quelle Bahnhofplan: SBB).

#### 1.7.2 Stellwerk

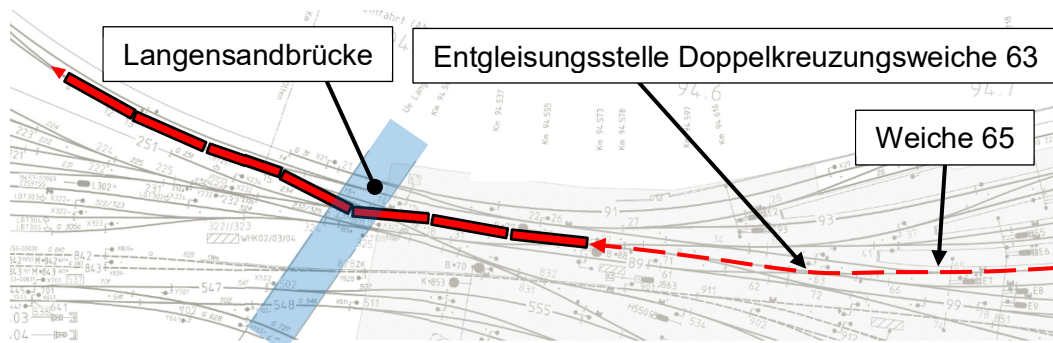
Der Bahnhof Luzern ist mit einem Stellwerk Domino 67 ausgerüstet und wird über die Leittechnik Iltis von der Betriebszentrale Olten ferngesteuert.

Die Sicherungsanlage funktionierte bis zur Entgleisung störungsfrei und ohne Auffälligkeiten. Sie hatte keinen Einfluss auf den Ereignisablauf.

### 1.7.3 Fahrweg des Zuges

#### 1.7.3.1 Beschreibung

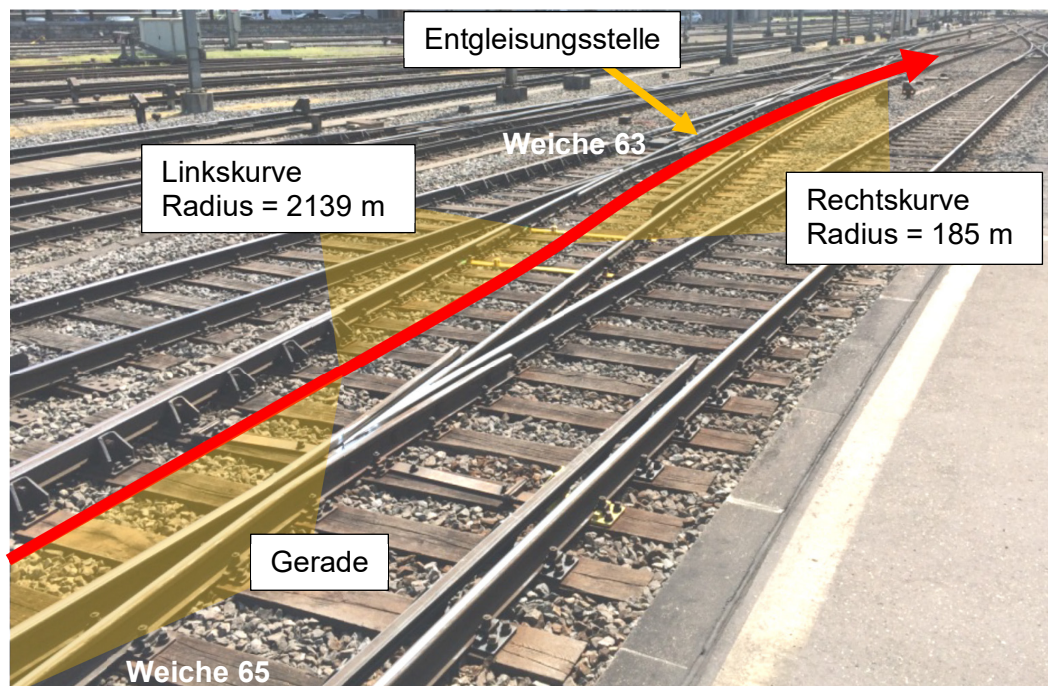
Der Fahrweg für den Zug war ab Gleis 7, über die von der Spitze her befahrene Weiche 65, die auf Ablenkung stehende Doppelkreuzungsweiche 63 und über weitere fünf Weichen gegen das linke Ausfahr Gleis eingestellt. Die Höchstgeschwindigkeit für die Fahrt über diese Weichen ist auf 40 km/h festgelegt.



**Abbildung 5:** Planausschnitt von Abbildung 4 mit Fahrweg und Endlage des entgleisten Zuges (Quelle Bahnhofplan: SBB).

#### 1.7.3.2 Gleisgeometrie im Bereich der Entgleisungsstelle

Von Gleis 7 her gegen die einfache Weiche 65 verläuft das Gleis in einer Geraden. Nach dem Herzstück der Weiche 65 folgt eine kurze Linkskurve mit einem Radius von 2139 m. Gleich anschliessend folgt ein abrupter Krümmungswechsel in eine Rechtskurve mit einem Radius von 185 m gegen und durch die Doppelkreuzungsweiche 63.



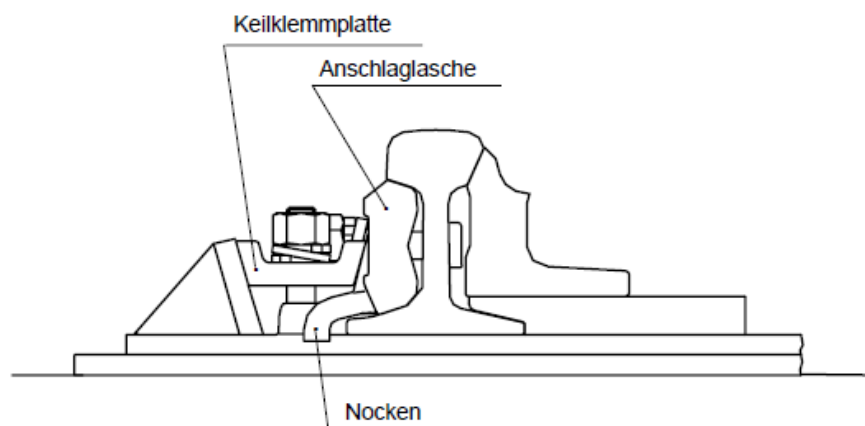
**Abbildung 6:** Fahrweg des Zuges über die Weichen 65 und 63 im Bereich der Entgleisung.

## 1.7.4 Doppelkreuzungsweiche 63

### 1.7.4.1 Beschreibung

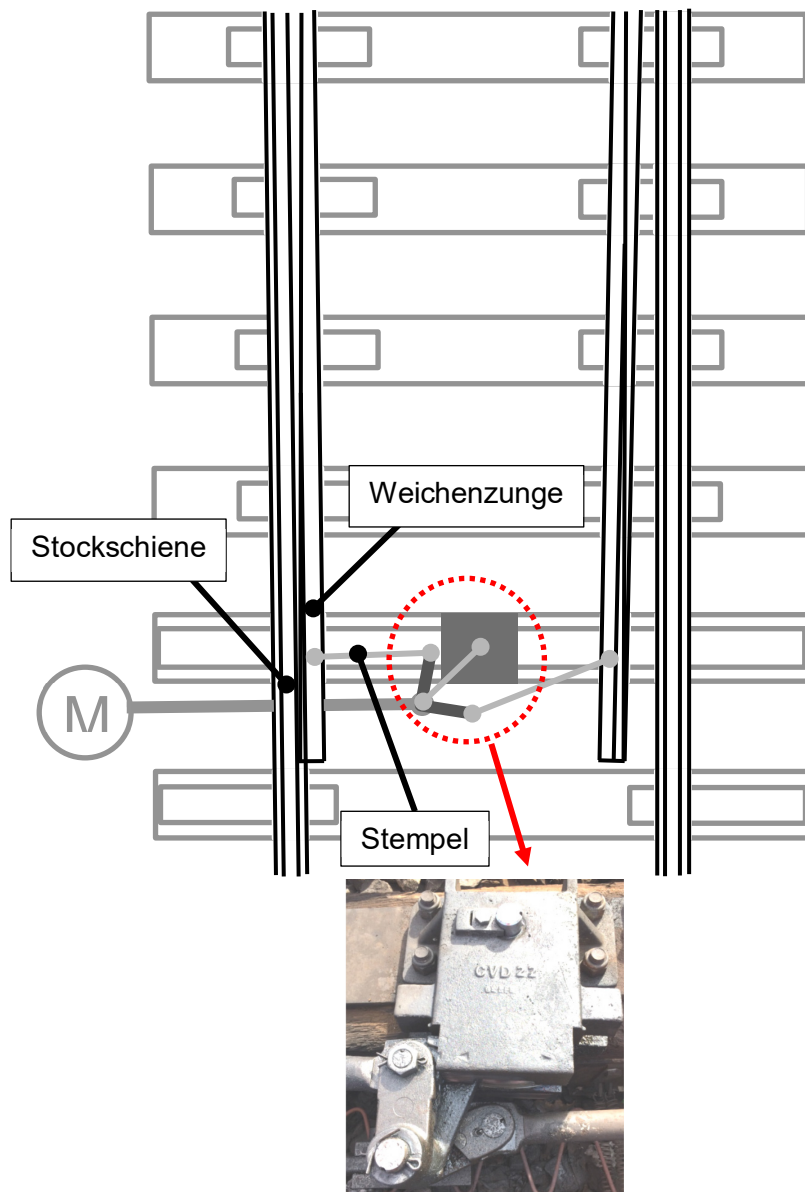
Bei der Doppelkreuzungsweiche 63 handelt es sich um eine sogenannte verstellte Doppelkreuzungsweiche. Bei verstellten Doppelkreuzungsweichen verläuft der Bogenradius in einem Strang durch das Herzstück bis an das Weichenende, wobei die Bogenfahrt bereits vor der Weichenzungenspitze beginnt (siehe Ziffer 1.11.4, Abbildung 35).

Auf der Aussenseite der Stockschiene ist bei jeder Weichenzunge eine Keilklemmplatte vorhanden. Die Keilklemmplatte sichert über die Anschlaglasche die laterale Position der Stockschiene im Bereich des Jüdelverschlusses (rund 0.8 m nach der Weichenzungenspitze).



**Abbildung 7:** Keilklemmplatte im Bereich des Jüdelverschlusses (Quelle: SBB).

Als Weichenverschluss war bei der Doppelkreuzungsweiche 63 ein Spitzenverschluss der Bauart Jüdel eingebaut. Bei diesem Verschluss wird im Bereich der Zungenspitze eine Schwinge um einen Verschlusskörper geführt und die Verbindung über den Stempel zwischen Stockschiene und der Abstützfläche am Verschlusskörper verstemmt. Es besteht keine Verbindung mit der Stockschiene. Somit folgt die anliegende Weichenzunge nicht allen Bewegungen der Stockschiene. Ist die Stockschiene unter Einwirkung von Spurführungskräften und/oder infolge Verschleiss nachgiebig, so erhöht sich beim Überrollen der vorlaufenden bogenäusseren Räder das Klaffmass  $q_e$ <sup>2</sup> (Ziffer 1.7.4.2).



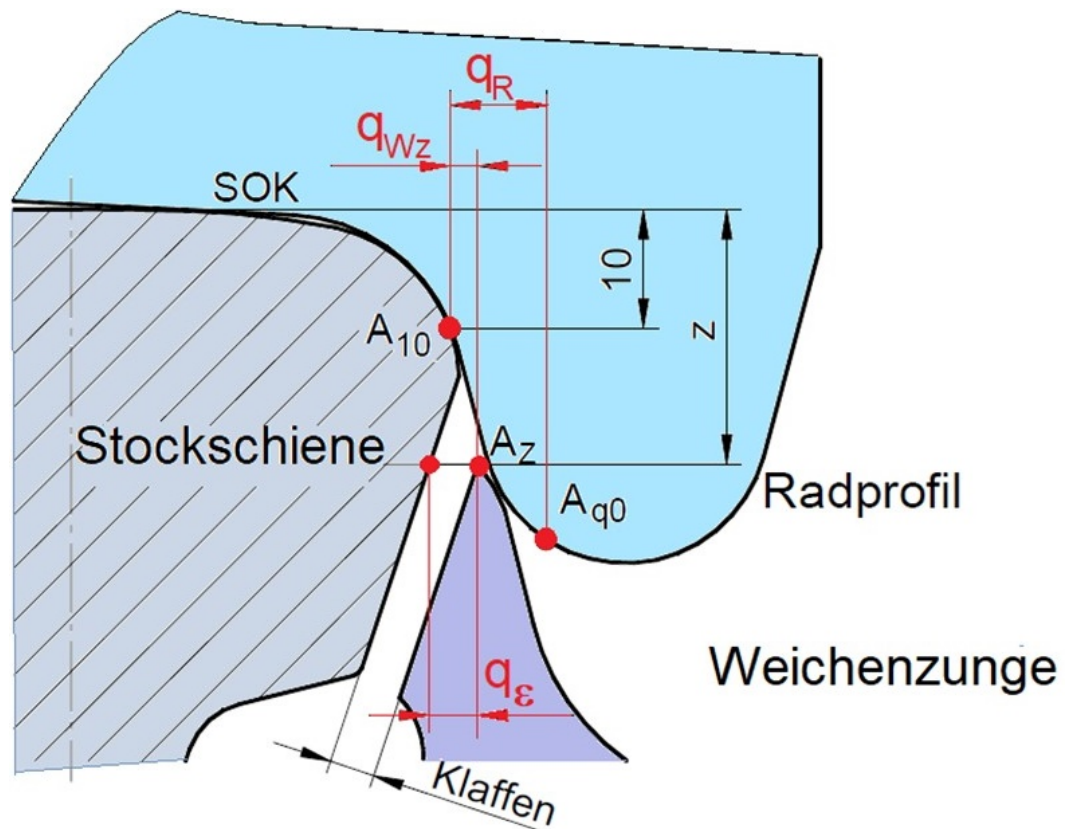
**Abbildung 8 und Abbildung 9:** Oben: Skizze Weichenverschluss Bauart Jüdel. Unten Detailfoto Weichenverschluss.

<sup>2</sup> Das Klaffmass  $q_e$  ist der horizontale Abstand zwischen der Weichenzunge und der Stockschiene auf der Höhe der Weichenzungenspitze.

#### 1.7.4.2 Klaffmass zwischen Stockschiene und Weichenzungenspitze

Die Lage der Weichenzungenspitze wird durch das Klaffmass  $q_\epsilon$ , dem Funktionsmass  $q_{wz}$  und der Weichenzungenabsenkung  $z$  (Ziffer 1.7.4.3) beschrieben. Als Klaffen der Weichenzunge bezeichnet man den lotrechten Abstand zwischen der Stockschiene und der Weichenzunge. Das Quermass wird als Klaffmass  $q_\epsilon$  am Weichenzungenanfang gemessen (Abbildung 10).

Die Entgleisungssicherheit hängt wesentlich davon ab, wie die Weichenzungenspitze zum Punkt  $A_{10}$  der Stockschiene liegt. Dies soll durch das Funktionsmass  $q_{wz}$  beschrieben werden. Der Zusammenhang von Klaffmass  $q_\epsilon$  und  $q_{wz}$  hängt wesentlich von der konstruktiven Ausführung und dem Verschleiss der Stockschiene ab. Entscheidend ist dabei der Führungspunkt  $A_{10}$ . Seine relative Lage zur Weichenzungenspitze verändert sich sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung durch die Abnutzung der Stockschiene. Durch die verschiedenen Verschleissformen ergeben sich für ein konstantes Klaffmass  $q_\epsilon$  unterschiedliche  $q_{wz}$ .



**Abbildung 10:** Aufzeigen der Punkte  $A_{10}$ ,  $A_{q0}$  sowie der Masse  $q_{wz}$ ,  $q_\epsilon$  und  $q_R$ .

#### 1.7.4.3 Zungenabsenkung

An der Zungenspitze der Doppelkreuzungsweiche 63 lag die Zungenoberkante 22 mm unter Schienenoberkante (SOK). Die Weichenzunge stieg danach kontinuierlich an und erreichte nach einer Länge von 3 m die Höhe der Schienenoberkante (Anlage 1). Für die Zungenabsenkung ist ein Toleranzbereich definiert. Demnach darf die Zungenspitze mindestens 22 mm und höchstens 27 mm unter SOK liegen.



### 1.7.5 Langensandbrücke

Die Langensandbrücke führt über die Bahnhofseinfahrt vom Neustadt- ins Tribschenquartier der Stadt Luzern. In den Jahren 2006 bis Dezember 2009 wurde die alte Langensandbrücke durch eine neue, pfeilerlose Brücke ersetzt. Die pfeilerlose Bauweise wurde im Hinblick auf das Abwenden von zusätzlichen Gefahren im Falle einer Entgleisung gewählt.

Die Brücke hat eine Spannweite von 80 m und ist 27 m breit. Sie weist vier Fahrspuren für den motorisierten Verkehr auf. Abgetrennt durch eine Leitmauer sind Geh- und Radwege angebracht. Die Brücke wird täglich von 20 000 Autos und 1100 Bussen frequentiert, zudem wird sie von 400 Zügen unterquert.

### 1.7.6 Feststellungen

#### 1.7.6.1 Statische Vermessung Doppelkreuzungsweiche 63

Das Funktionsmass  $q_{Wz}$  und die Höhe der Weichenzunge wurden mit Hilfe von Lehren gemessen. Das Funktionsmass  $q_{Wz}$  überschritt den maximalen Wert von 3 mm nicht und die Höhe der Weichenzunge lag im zulässigen Bereich.

Die Spurweite der inneren Weichengeometrie der Doppelkreuzungsweiche 63 zeigte im Bereich der Zungenspitze eine Überschreitung um 3 mm. Der Sollwert von 1438 mm gemäss Typenplan wurde bereits bei früheren Weichenkontrollen 2009 um 2 mm überschritten. Im Jahr 2013 stimmte die Spurweite mit dem Sollwert überein.

#### 1.7.6.2 Zustand der Doppelkreuzungsweiche 63

- Die Verschlussbolzen an der Doppelkreuzungsweiche 63 waren teilweise neu.
- Die Trockenlaufplatten waren noch nicht abgenutzt und sehr stark geschmiert.
- Es wurden keine Zungenausbrüche festgestellt.
- Bei der befahrenen linken halben Zungenvorrichtung der Doppelkreuzungsweiche 63 Seite B wurde eine lockere Keilklemmplatte entdeckt. Dieser Umstand kann die Spurweite unter Last zusätzlich um ca. 2 mm erweitern. Eine weitere lockere Keilklemmplatte wurde auf der Gegenseite gefunden.

#### 1.7.6.3 Instandhaltung der Doppelkreuzungsweiche 63

Die Doppelkreuzungsweiche 63 wurde im Jahr 2005 eingebaut. Die halbe Zungenvorrichtung wurde 2015 gewechselt. Die Auflistung der ausgeführten Instandhaltungsarbeiten weist eine für den Weichentyp ungewöhnliche Häufung von Arbeiten oder Bauteilwechseln auf.

#### 1.7.6.4 Dynamische Messung der Verwindung und Einsenkung

Der Überhöhungsverlauf wurde bei jeder zweiten Schwelle im Bereich ab Ende der Weiche 65 bis in den Bereich des doppelten Herzstücks der Doppelkreuzungsweiche 63 gemessen. Der Wert der Verwindung von 4.3 ‰ (unbelastet) konnte durch die Messung mit dem Einsenkungsmesswagen mit einem Wert von 5 ‰ (belastet) bestätigt werden. Dieser Wert liegt unter der Toleranz von 6 ‰ (Basislänge 3 m).

## 1.7.6.5 Spuren an der Doppelkreuzungsweiche 63

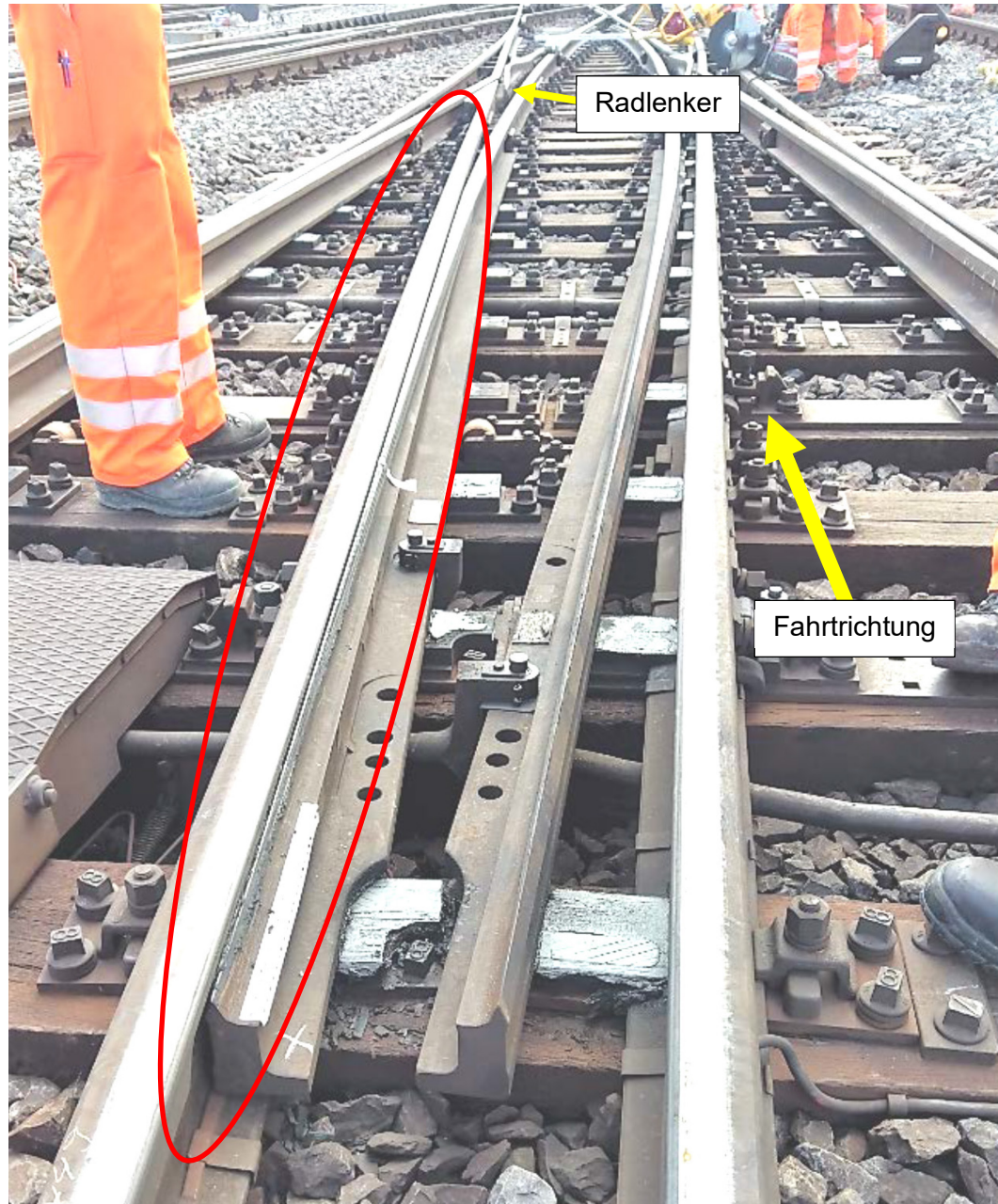
Aufgrund der ersten sichtbaren Spuren wurde festgestellt, dass die Entgleisung im vordersten Bereich der Zunge der Doppelkreuzungsweiche 63 begann. An der Weichenzungenspitze waren deutliche An- und Überfahrspuren eines Spurkranzes ersichtlich. Die Anfahrschur an der Zungenspitze war schwach ausgeprägt. Die Oberkante der Weichenzunge war blank gewalzt (Abbildung 11).

Die Schienenfahrkante und die Schienenflanke der Stockschiene im Bogen vor und im Bereich der Weichenzunge wies keinen Schmierfilm auf.



**Abbildung 11:** Spuren oben auf der Zungenspitze bei der Doppelkreuzungsweiche 63.

Auf der Stockschiene war sehr deutlich erkennbar, dass das bereits entgleiste Rad mit seinem Spurkranz auf dem Schienenkopf fuhr, bevor es wieder auf die Weichenzunge zurückfiel und anschliessend zwischen Zungen- und Stockschiene stürzte. Anschliessend traf das Rad auf die Spitze des Radlenkers und verursachte einen ersten grösseren Schaden an der Weiche.



**Abbildung 12:** Entgleisungsstelle: linke Weichenzunge der Doppelkreuzungsweiche 63 (Oval).

## 1.8 Fahrzeuge

### 1.8.1 Beschreibung

#### 1.8.1.1 Mehrsystemtriebzug ETR 610

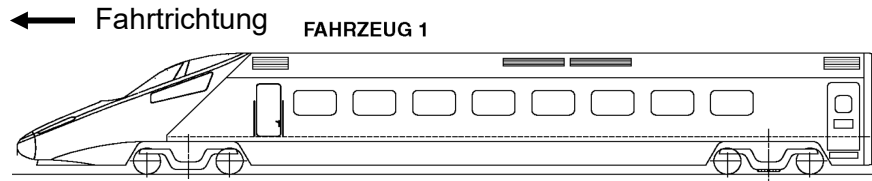
Der Eurocity-Zug wurde mit einem Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 gefahren. Er ist einsetzbar unter einer Fahrleitungsspannung von 15 kV / 16.7 Hz Wechselspannung (Schweiz und Deutschland), unter 3 kV Gleichspannung (Italien) sowie 25 kV / 50 Hz Wechselspannung (Italien ETCS Strecken).

Der Zug besteht aus sieben über ein Mittelpufferkupplungssystem miteinander verbundenen Fahrzeugen von insgesamt 187 m Länge und einer Leermasse von 450 t. Die Fahrzeuge sind in zwei voneinander unabhängigen Halbzügen aufgeteilt. Der erste Halbzug besteht aus vier Wagen. Der zweite Halbzug besteht aus drei Wagen. Die Gesamtleistung des Zuges beträgt 5500 kW.

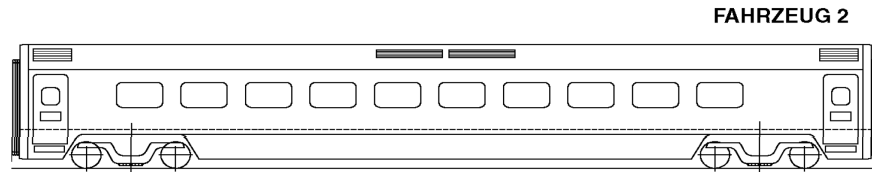
Über Gelenkwellen und Getriebe treiben die an den Wagenkasten befestigten Traktionsmotoren die wageninneren Achsen der Drehgestelle der Wagen 1 und 2 sowie 6 und 7 an.



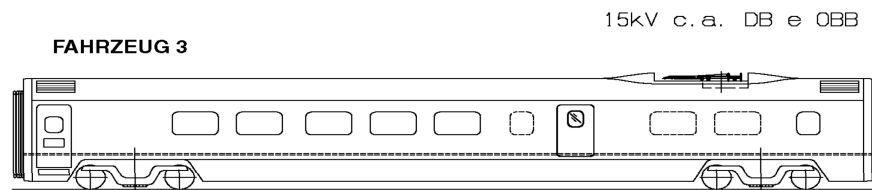
**Abbildung 13:** Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 der SBB (Quelle: SBB).



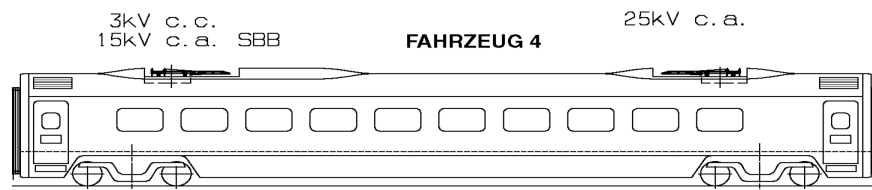
Fahrzeug Nr. 93 85 5610 102-1



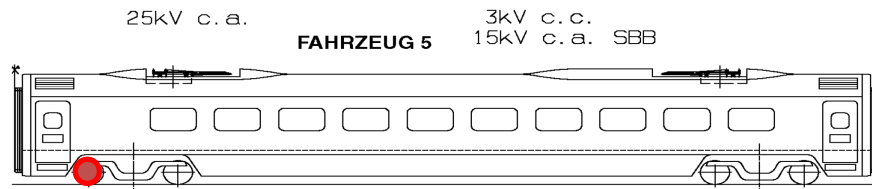
Fahrzeug Nr. 93 85 5610 202-9



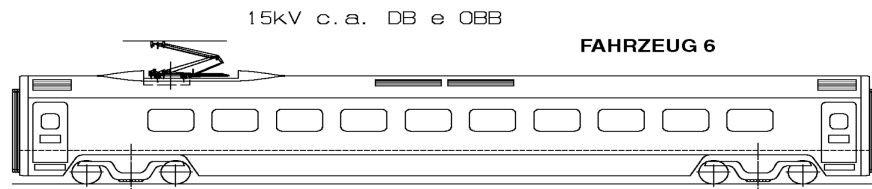
Fahrzeug Nr. 93 85 5610 302-7



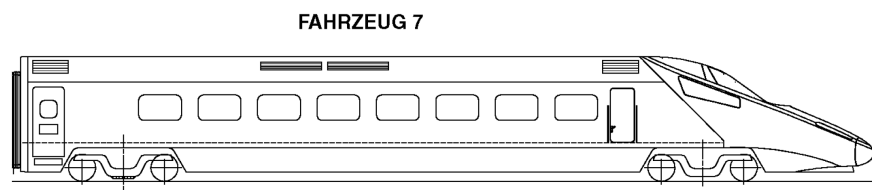
Fahrzeug Nr. 93 85 5610 402-5



Fahrzeug Nr. 93 85 5610 502-2



Fahrzeug Nr. 93 85 5610 602-0



Fahrzeug Nr. 93 85 5610 702-8

Schräglage

Erstentgleis, die erstentgleiste Achse ist rot eingefärbt

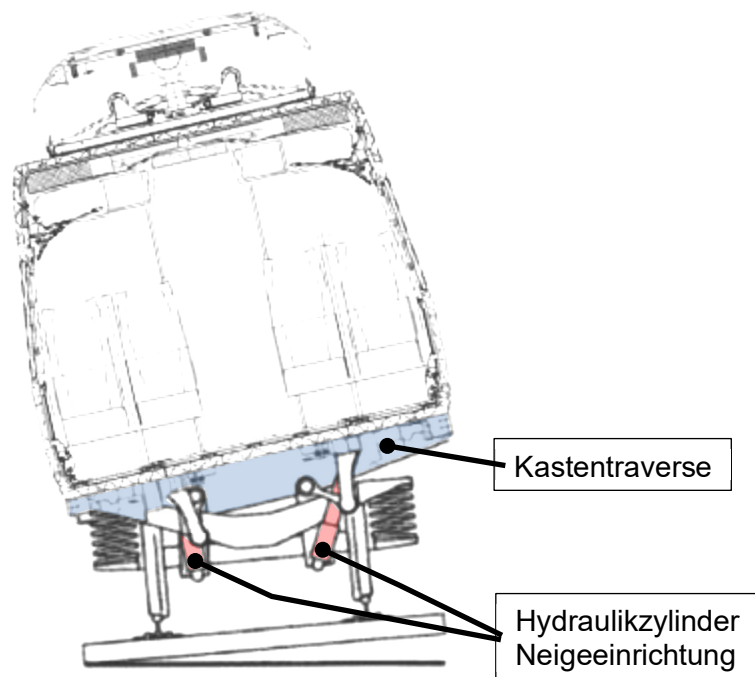
Abbildung 14: Übersicht Fahrzeuge des Mehrsystemtriebzuges (Quelle: Trenitalia).

### 1.8.1.2 Neigetechnik

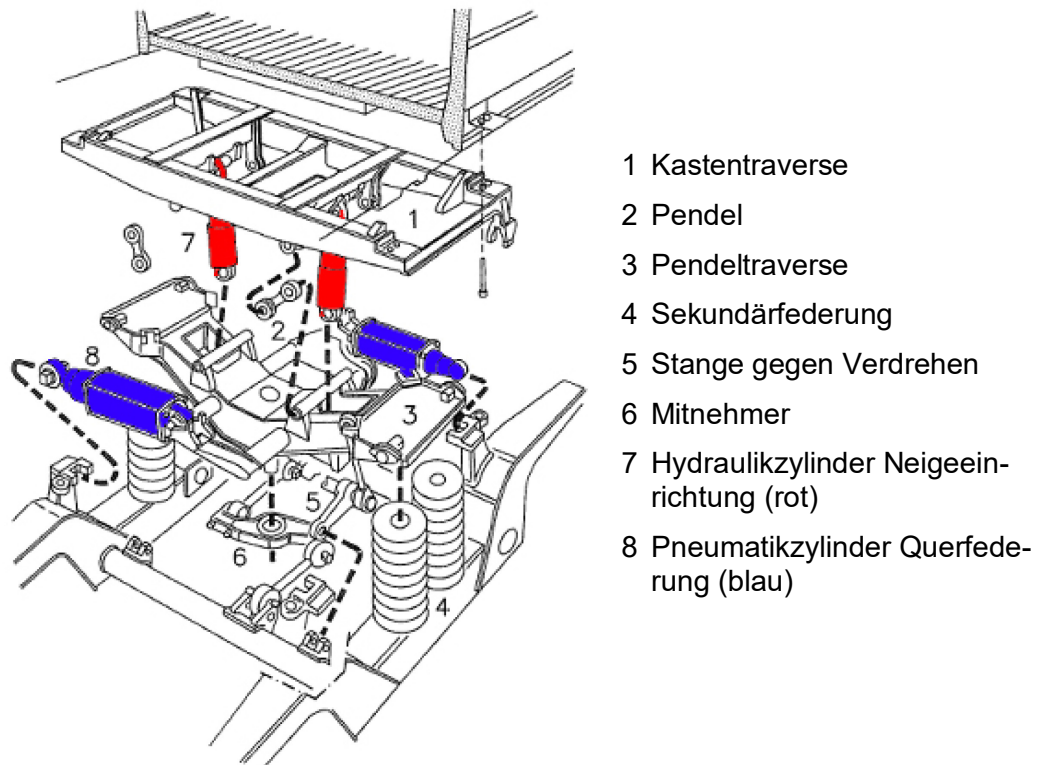
Der Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 ist mit einer aktiven Wagenkastenneigeeinrichtung ausgerüstet. Das Wagenkastenneigesystem ist vollständig im Drehgestell integriert. Das System ermöglicht ein Neigen des Kastens um max. 8°.

Das Steuersystem besteht aus einem elektronischen Regler (Neigerechner), der über die Messgrößen von Rotationsraten, Geschwindigkeit, Seitenbeschleunigung und Überhöhung der Kurven berechnet, um wieviel der Wagenkasten geneigt werden muss. Das System wird ab 45 km/h aktiv. Während das Neigen des ersten Fahrzeugs mit einer leichten Verzögerung erfolgt, geschieht dies bei den Folgefahrzeugen unmittelbar am Übergangspunkt zum Richtungswechsel. Ziel der Neigeeinrichtung ist die Verbesserung des Fahrkomforts für den Reisenden bei der schnellen Bogenfahrt.

Die Ausführung des vom elektronischen Regler gegebenen Befehls erfolgt durch die hydraulische Anlage. Diese besteht aus einem Hydraulikmodul (Öltank, Ölpumpe, Servoventile, usw.), das in jedem Fahrzeugunterbau untergebracht ist, und zwei hydraulischen Zylindern zwischen dem Drehgestell und der Kastentraverse. Diese einfach wirkenden Zylinder werden ausgefahren und bei durch die Schwerkraft bedingter Rückkehr des Wagenkastens wieder in die vertikale Position eingefahren.



**Abbildung 15:** Querschnittszeichnung durch einen geneigten Wagenkasten (Quelle: SBB).



**Abbildung 16:** Bauteile der Verbindung zwischen Drehgestell und Wagenkasten (Quelle: Trenitalia).

### 1.8.1.3 Querfederung

Das Querfederungssystem soll, wenn der Zug während der Fahrt in der Kurve liegt, die Position des Wagenkastens in der Mitte des Drehgestells halten. Die Rotation des Kastens verursacht die Verschiebung hin zur Aussenseite der Kurve. Dank der Federung nimmt der ideale Punkt, bei dem sich die Drehgestellachse und die vertikale Wagenkastenachse überkreuzen, stets die Position der Längsachse ein. Zur Einstellung dieser Position sind pro Drehgestell zwei doppelt wirkende Pneumatikzylinder zwischen Pendeltraverse und Drehgestellrahmen eingebaut (Abbildung 16).

In der Steuereinheit für die Querfederung sind zwei Proportionalventile verbaut. Diese liefern einen abgehenden Druck proportional zum Steuersignal, das vom Neigerechner erzeugt wird. Die Proportionalventile werden gleichzeitig entgegengesetzt gesteuert.

Ziel der aktiven Querfederung ist die Zentrierung des Wagenkastens in der Querrichtung im Drehgestell. Damit kann der Querfederweg zwischen Fahrzeugkasten und Drehgestellrahmen reduziert werden, ohne dass für die Bogenfahrt eine härtere progressive Querfederung verwendet werden muss und dadurch der Fahrkomfort verschlechtert wird. Zu einem kleinen Teil reduzieren sich dadurch auch die dynamischen Radsatzquerkräfte auf das Gleis.

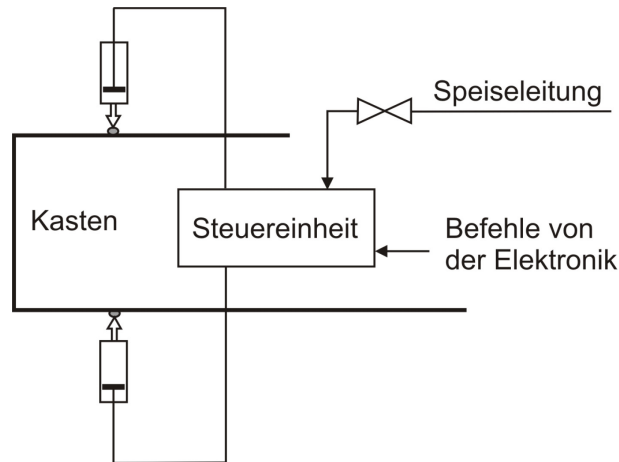


Abbildung 17: Prinzipschema der Querfederung (Quelle: SBB).

#### 1.8.1.4 Drehgestellfederung

Die Primär- und Sekundärfederung des Drehgestells erfolgt mit Schraubenfedern. Jedes Rad hat eine Primärfederung. Sie besteht aus zwei Gruppen von jeweils zwei Stahlschraubenfedern und einem vertikalen Dämpfer.

Die Sekundärfederung befindet sich in der Mitte des Drehgestellrahmens. Sie besteht pro Seitenträger aus zwei Gruppen von Stahlschraubenfedern. Die Sekundärfederung hat darüber hinaus je Seite einen vertikalen Dämpfer und einen horizontalen Dämpfer. Der horizontale Dämpfer ist jeweils zwischen Pendeltraverse und Drehgestellrahmen montiert.

Weiter ist eine Antischlingereinrichtung vorhanden. Auf jeder Drehgestellseite ist je ein passiv wirkender hydraulischer Schlingerdämpfer vorhanden. Er ist jeweils an den Seitenenden des Drehgestells angeordnet und an den Wagenkasten angeschlossen.

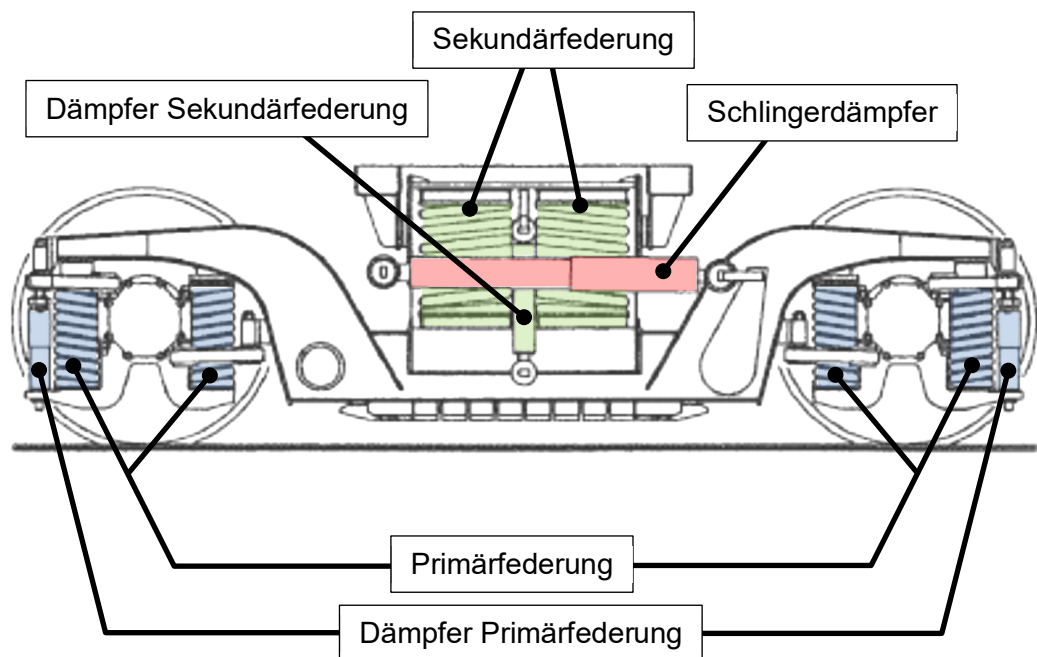


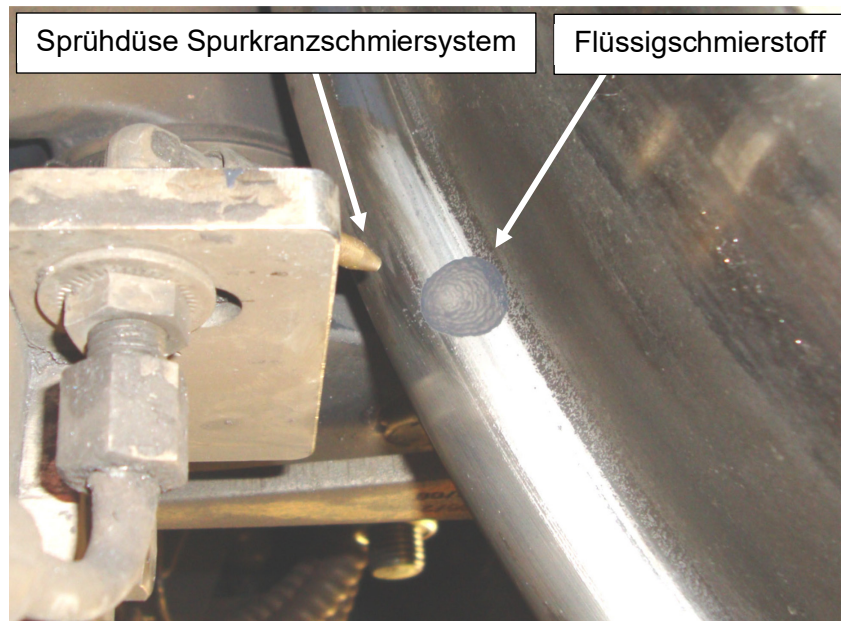
Abbildung 18: Seitenansicht Laufdrehgestell (Quelle: SBB).



### 1.8.1.5 Spurkranzschmierung

Zur Förderung der Interoperabilität des transeuropäischen Eisenbahnsystems wurden u.a. die Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI) erlassen. Diese enthalten technische Spezifikationen zu Teilsystemen des Eisenbahnsystems. Die TSI zum Teilsystem Fahrzeuge enthalten momentan keine Vorgaben bezüglich einer Spurkranzschmierung.

Die Notifizierte Nationale Technische Vorschrift CH-TSI LOC&PAS-007 (NNTV) der Schweiz verlangt die Ausrüstung von Lokomotiven und Triebzügen mit einem Spurkranzschmiersystem. Sie referenziert auf die R RTE<sup>3</sup> 49410, die den Anwendungsbereich für Spurkranzschmierungen und die auszubringende Schmiermenge auf dem Normalspur-Schienennetz der Schweizerischen Infrastrukturbetreiberinnen konkret definiert. Für die Verwendung von Spurkranzschmiersystemen auf den Fahrzeugen und die Eigenschaften der Schmiermittel gelten die Normen EN 15427<sup>4</sup> und EN 16028<sup>5</sup>.



**Abbildung 19:** Beispiel für das Sprühbild auf der Spurkranzflanke (Quelle: R RTE 49410).

Aufgaben der Spurkranzschmierung im vorstehenden Zusammenhang sind:

- Verminderung der Reibungskräfte zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke.
- Verschleissminderung an Spurkranz und Schiene.
- Erhöhung der Entgleisungssicherheit (Erschwert das Aufklettern des Rades).

<sup>3</sup> R RTE 49410: Regelwerk Technik Eisenbahn, Spurkranzschmierung Eisenbahnfahrzeuge, Stand vom 20. Januar 2009

<sup>4</sup> EN 15427: Bahnanwendungen - Behandlung der Reibung zwischen Rad und Schiene – Spurkranzschmierung, Stand Januar 2011

<sup>5</sup> EN 16028: Bahnanwendungen - Spurkranzschmierung - Prüfung der Schmierstoffe, Stand Februar 2013

Bei Fahrten auf dem Schweizer Normalspurnetz ist das Spurkranzschmiersystem zwischen 10 km/h und 105 km/h aktiv.

Der Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 ist mit einem Spurkranzschmiersystem am ersten und am letzten Drehgestell des Zuges ausgerüstet. Das Spurkranzschmiersystem sprüht in wiederkehrenden Abständen für eine kurze Zeit einen Flüssigschmierstoff gegen die Flanken der Spurkränze der in Fahrtrichtung vordersten Achse des Zuges auf.

Aufgrund des derzeit in der Schweiz praktizierten mobilen Schmiersystems tragen hauptsächlich die Triebfahrzeuge/Triebwagen und einzelnen Steuerwagen für das Schmieren der Schienenflanken bei.

#### 1.8.1.6 Sicherheitseinrichtung Fahrzeug

Der Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 ist für den Einsatz auf den Netzen der SBB / BLS, RFI und DB<sup>6</sup> zugelassen. Für jedes Netz sind länderspezifische Sicherheitseinrichtungen erforderlich. Die diversen Sicherheitseinrichtungen sind jeweils nur auf dem betreffenden Netz wirksam.

Die entsprechenden Sicherheitseinrichtungen für die Fahrt in der Schweiz waren eingeschaltet. Sie sind für den Ereignisablauf nicht relevant.

### 1.8.2 Führungskraft Y am Rad

In der europäischen Norm EN 14363<sup>7</sup> für die fahrtechnische Prüfung von Eisenbahnfahrzeugen sind nur die Methodik einer Prüfung und die Beurteilung von Weichenfahrten festgelegt. Für Weichenfahrten, insbesondere bei speziellen Situationen wie die engen Kurvenradien auf dem Schweizer Netz, werden jedoch keine Grenzwerte vorgegeben. Die Regelung SBB I-50007<sup>8</sup> regelt die Anforderungen für die Befahrbarkeit von Weichen auf dem normalspurigen Schienennetz der SBB Infrastruktur in Anlehnung an die Europäische Norm EN 14363.

Als fahrtechnisch besonders anspruchsvoll gilt eine bestimmte Fahrstrasse im Bahnhof Lausanne. Für die Zulassung durch das BAV wurden im September 2008 mit dem Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 im Bahnhof Lausanne Weichenfahrten durchgeführt und die auftretenden Kräfte mit Messradsatz gemessen.

In den AB-EBV<sup>9</sup> ist für die interoperablen Strecken der schweizerischen Eisenbahninfrastruktur eine Führungskraft am Rad mit einem maximalen Grenzwert  $(Y_{qst})_{max}$  von 70 kN angenommen.

Die während den Weichenfahrten in Lausanne gemessenen Werte für die Querkraft lagen im Bereich um 65 kN und somit unter 70 kN. Das liegt in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen anlässlich der statischen Messungen der Bewegung der Stockschiene (Ziffer 1.12.2).

---

<sup>6</sup> SBB / BLS: Streckennetz der Schweizerische Bundesbahnen und der Lötschberglinie,  
RFI: Streckennetz der Rete Ferroviaria Italiana,  
DB: Streckennetz der Deutschen Bahn

<sup>7</sup> EN 14363: Bahnanwendungen - Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen - Fahrverhalten und stationäre Versuche, Stand Oktober 2016

<sup>8</sup> SBB I-50007: Technischer Netzzugang; Regelung Weichenfahrten, Stand vom 1. Dezember 2013

<sup>9</sup> AB-EBV: Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung, Stand am 1. Juli 2016

### 1.8.3 Zulassung

Für die ETR 610 der ersten Serie hat das BAV mit Verfügung vom 6. November 2012 die definitive Zulassung ausgestellt. Die insgesamt 14 Mehrsystemtriebzüge vom Typ ETR 610 erhielten anschliessend in Konformität zur Zulassung eine Betriebsbewilligung, sowie später noch ergänzende Betriebsbewilligungen für den Einsatz im Gotthard-Basistunnel.

### 1.8.4 Feststellung

#### 1.8.4.1 Untersuchungen Fahrzeug

Erste Untersuchungen an den Fahrzeugen wurden am 28. März 2017 und am 12. April 2017 in den Werkstätten der SBB in Luzern durchgeführt.

Aufgrund der Spuren konnte als erstentgleistes Rad das linke Rad der vorlaufenden Achse im vorlaufenden Drehgestell von Wagen 5 identifiziert werden.

#### 1.8.4.2 Spurkranzschmierung

An der Spurkranzflanke des erstentgleisten Rades war kein Fettfilm vorhanden. Man spricht in diesem Fall von einem trockenen Spurkranz. Nur die durch das Spurkranzschmiersystem direkt besprühten Räder wiesen einen Fettfilm auf; alle übrigen waren trocken.

Die Behälter für das Schmiermittel waren etwa zur Hälfte gefüllt und die Spritzdüsen waren mit Resten von Fett verschmiert.



**Abbildung 20:** Trockene Spurkranzflanke am erstentgleisten Rad (Kreis).

## 1.8.4.3 Radprofile

Die Messung des Profils des erstentgleisten Rades ergab Werte, die innerhalb der betrieblichen Verschleissgrenzen lagen. Auch das qR-Mass betrug mit 7.39 mm mehr als die Mindestvorgabe von 6.5 mm. Die Spurkranzflanke war auf einen steilen Winkel abgenutzt und die Spurkranzkuppe wies eine, zu einer Nase ausgeformte Aufwölbung auf.

Das Messen aller Räder des Triebzugs zeigte Werte für das qR-Mass zwischen 7.28 mm und 10.53 mm. Alle Räder wiesen keinen Hohllauf auf. Der Laufflächenverschleiss war bei allen Rädern sehr gering. Die Spurkranzhöhen zeigten Werte zwischen rund 29 mm und 30 mm.

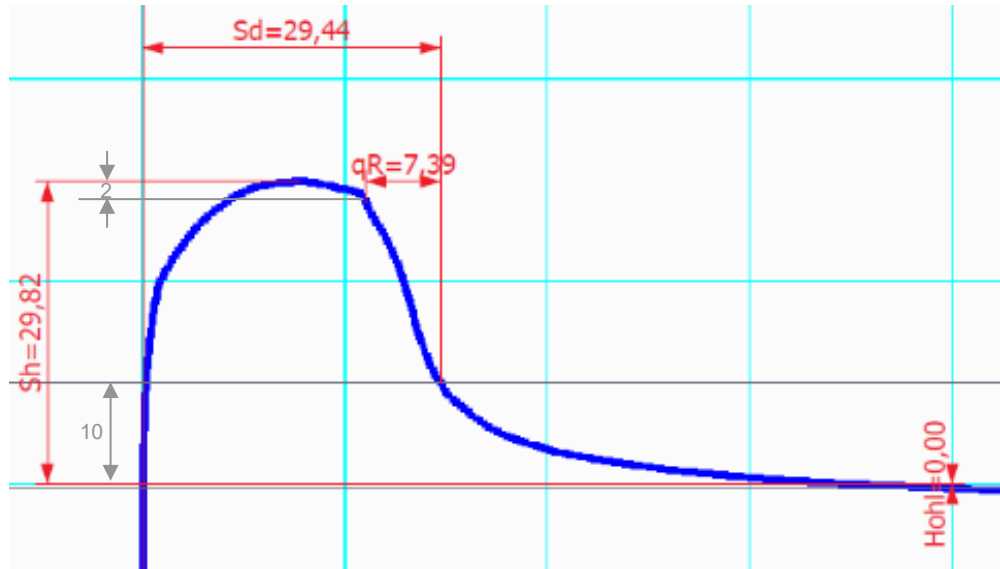


Abbildung 21: Gemessenes Spurkranzprofil des erstentgleisten Rades (Quelle: SBB).



Abbildung 22: Spurkranzkuppe des erstentgleisten Rades mit Aufwölbung

## 1.8.4.4 Pneumatikzylinder der Querfederung

Die Pneumatikzylinder der Querfederung des erstentgleisten Drehgestells waren beide geborsten (Abbildung 23).

- Beide Zylinder wiesen Brüche im hinteren Zylinderkopf auf.
- Es konnten in beiden Fällen keine Anzeichen für einen Schwingungsbruch (Ermüdungsbruch) festgestellt werden.
- Die Brüche wiesen ausschliesslich Gewaltbruchmerkmale auf.
- Beide Zylindergehäuse waren lokal deformiert (Sekundärschaden festgestellt), wodurch ein Herausziehen der Kolben erschwert wurde.

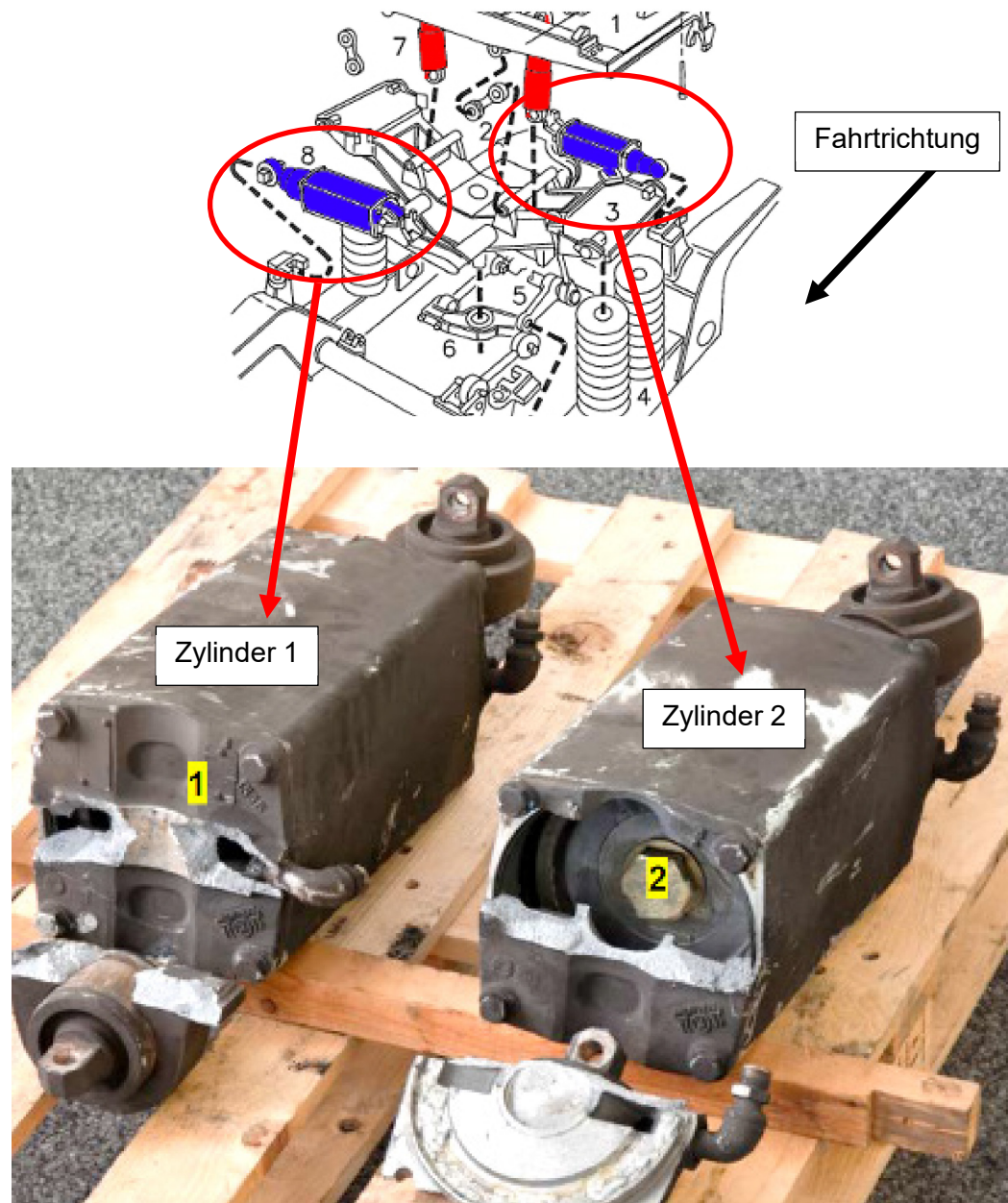
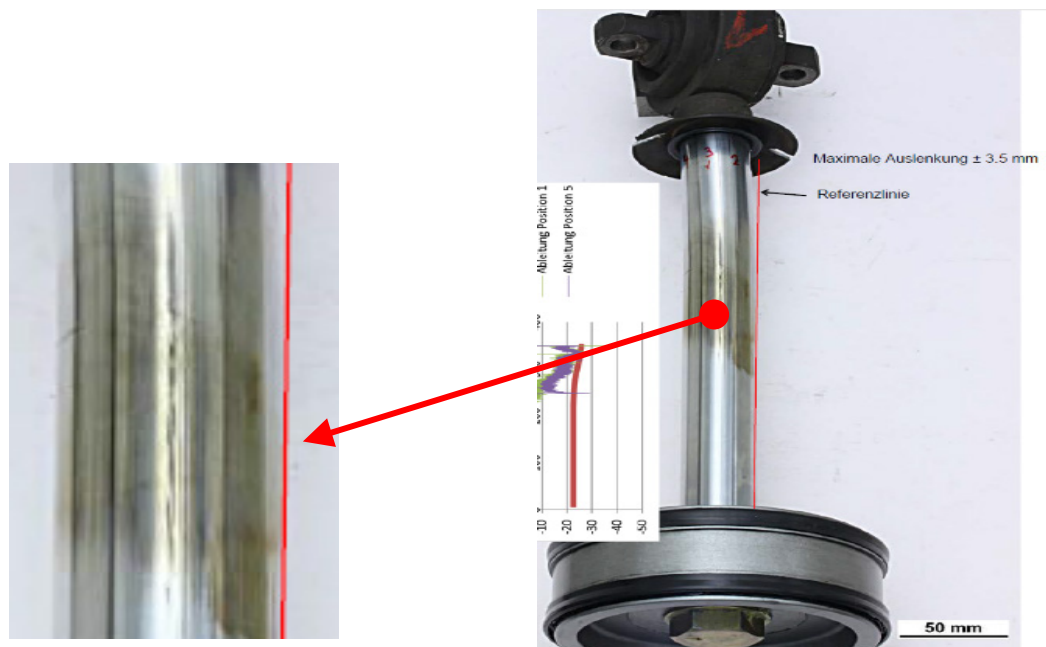


Abbildung 23: Geborstene Pneumatikzylinder der Querfederung.

## Zylinder 1:

- Die Kolbenstange klemmte im Lager des vorderen Zylinderkopfs und konnte von Hand nicht bewegt werden.
- Die Kolbenstange wies im gesamten Laufbereich eine dunkle Verfärbung und mehrheitlich einseitig Laufspuren auf.
- Das Fett erschien dunkel verfärbt und «eingetrocknet».
- Die Lagerflächen der Bronzeringe zeigten lokal glänzende Laufspuren.
- Die Kolbenstange war verbogen und wies einen einseitigen Wulst auf. Die oben erwähnten Laufspuren waren auch auf dem Wulst erkennbar.
- Die maximale Auslenkung der Kolbenstange betrug 3.5 mm.
- Bei einer metallurgischen Untersuchung der Verbiegung konnten oberflächliche Spuren, jedoch keine kristalline Veränderung im Gefüge festgestellt werden.



**Abbildung 24:** Verbogene, mit Wärmespuren gezeichnete Kolbenstange von Zylinder 1.

## Zylinder 2:

- Die Kolbenstange war im Lager des vorderen Zylinderkopfs leicht von Hand zu bewegen.
- Im Vergleich zu Zylinder 1 waren im Laufbereich deutlich weniger Verfärbungen und keine Laufspuren zu erkennen.
- Das Fett war deutlich heller und pastöser als bei Zylinder 1.

#### 1.8.4.5 Proportionalventile der Querfederung

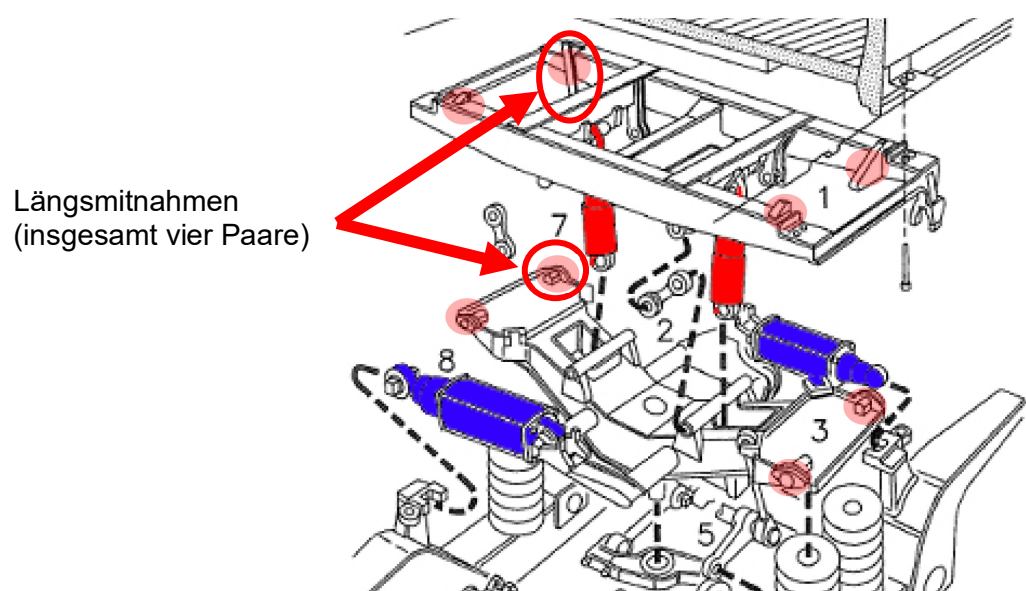
Die zwei für die Steuerung der Pneumatikzylinder der Querfederung verbauten Proportionalventile wurden auf Dichtheit, Betriebs- und Sicherheitsfunktion vom Hersteller geprüft.

Es wurde ein korrektes Funktionieren der zwei Proportionalventile festgestellt.

#### 1.8.4.6 Längsmitnahmen

Zwischen der Pendeltraverse und der Kastentraverse sind insgesamt vier Längsmitnahmen vorhanden. Über die Längsmitnahmen werden die Zug- und Bremskräfte vom Drehgestell auf den Wagenkasten übertragen. Eine Längsmitnahme besteht aus je einer Platte an der Pendeltraverse und einer Platte an der Kastentraverse. Diese Bauform der Längsmitnahme ermöglicht die Kraftübertragung unabhängig der Neigung des Wagenkastens.

Zwei diagonal gegenüberliegende Längsmitnahmen zeigten die Auffälligkeit, dass sie sich nicht in ihrer vollständigen Länge berührten (Abbildung 26 bis Abbildung 29). Bei allen weiteren Drehgestellen waren stets alle Längsmitnahmen auf der vollständigen Länge genutzt.



**Abbildung 25:** Anordnung der Längsmitnahmen in der Verbindung vom Drehgestell zum Wagenkasten (mit roter Schattierung hinterlegt) (Quelle: Trenitalia).



**Abbildung 26:** Längsmittnahme in Fahrtrichtung links oben; auf vollständiger Länge genutzt.



**Abbildung 27:** Längsmittnahme in Fahrtrichtung rechts oben; nicht auf vollständiger Länge genutzt (Kreis).



**Abbildung 28:** Längsmittnahme in Fahrtrichtung links unten; auf vollständiger Länge genutzt.



**Abbildung 29:** Längsmittnahme in Fahrtrichtung rechts unten; nicht auf vollständiger Länge genutzt (Kreis).



#### 1.8.4.7 Prüfung Fahrwerkkomponenten

Die intakten Dämpfer der Primär- und der Sekundärfederung sowie die Schlingerdämpfer beider Drehgestelle des erstentgleisten Wagens wurden auf ihre Funktion geprüft. Alle Dämpfer wurden innerhalb der festgelegten Toleranzen gemessen.

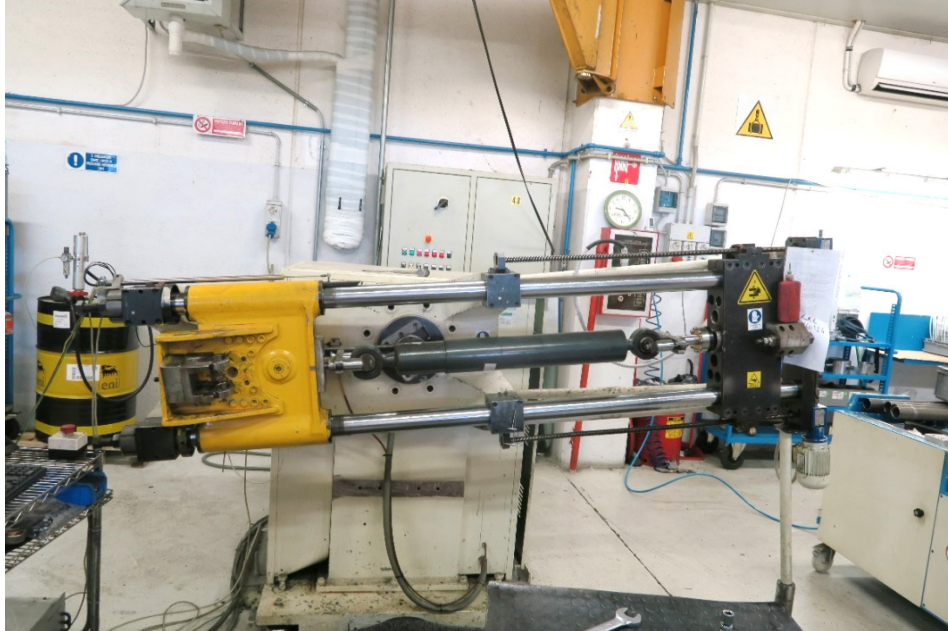


Abbildung 30: Prüfstand für Stossdämpfer.

#### 1.8.4.8 Instandhaltung

Die Dokumentation der Instandhaltungsarbeiten wurde geprüft. Die nötigen Arbeiten wurden nach Vorgabe ausgeführt.

Die relevanten Feststellungen im Zusammenhang mit der Unfalluntersuchung ergaben:

- Die letzten Messungen der Radprofile wurden im Oktober 2016 und Anfang März 2017 durchgeführt.
- Die letzte Messung des  $qR$ -Masses am erstentgleisten Rad erfolgte am 7. März 2017.
- Bei den letzten Instandhaltungsarbeiten wurde am 8. März 2017 ein Kilometerstand von 2 204 576 km dokumentiert.
- Die nächste grosse Revision wird bei Erreichen von 2 500 000 km vorgegeben.
- Arbeiten an der Querfederung sind Teil der grossen Revision. Entsprechend waren die Schäden an den Pneumatikzylindern der Querfederung nicht bekannt (Ziffer 1.8.4.4).

### 1.9 Kommunikation

Sprechverbindungen über Funk, Mobiltelefonie und Bordtelefon im Zug waren vorhanden, trugen aber nichts zum Ereignishergang bei.

## 1.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

### 1.10.1 Fahrdaten

Um 13:57 Uhr erhöhte sich die Geschwindigkeit von 0 km/h über eine Distanz von 200 m und während einer Zeit von rund 32 s auf rund 36 km/h. Die Geschwindigkeit blieb über eine Distanz von 329 m und während einer Zeit von rund 19 s nahezu konstant. Bei einer Geschwindigkeit von 36.87 km/h sank sie danach während einer Zeit von rund 17 s über eine Distanz von 104 m ab und erreichte um 13:58 Uhr 0 km/h.

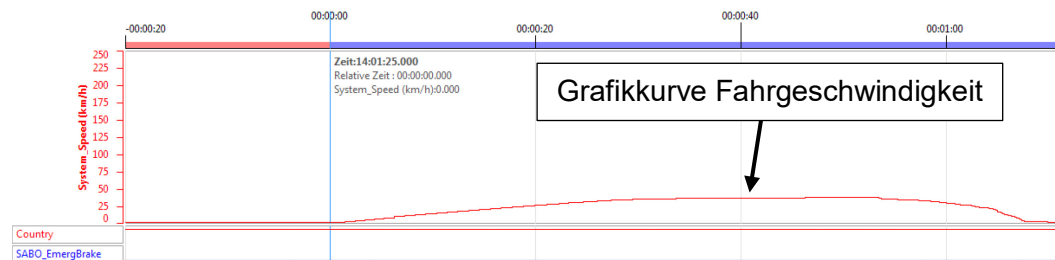


Abbildung 31: Ausschnitt Fahrdatenaufzeichnung (Quelle: SBB).

### 1.10.2 Diagnosedaten Neigerechner

Die Auswertung der Fahrzeugdiagnosedaten zeigten bis zum Zeitpunkt der Entgleisung keine Auffälligkeiten, die das Ereignis beeinflusst haben.

### 1.10.3 Stellwerkdaten

Täglich fuhr in Luzern ab Gleis 7 zwei Mal ein Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 ab. Vom beobachteten Zeitraum vom 13. März 2017 bis 21. März 2017 fuhren insgesamt 18 Triebzüge ab Gleis 7 aus dem Bahnhof Luzern ab. Davon benutzten 10 Züge denselben Fahrweg, wie der am 22. März 2017 entgleiste Triebzug.

Dem entgleisten Triebzug wurde ein Fahrweg ab Gleis 7 über die Gleise 98, 88 und 38 nach Gleis 158 eingestellt. Um 13:57:27 Uhr bewegte sich der Zug aus Gleis 7 Richtung Gleis 98. Um 13:57:46 Uhr wurde eine Störung der Doppelkreuzungsweiche 63 angezeigt, gefolgt von Störungen der folgenden Weichen im Fahrweg. Ab 13:58:12 Uhr wurden neun Weichen als gestört angezeigt.

### 1.10.4 Zugkontrolleinrichtungen

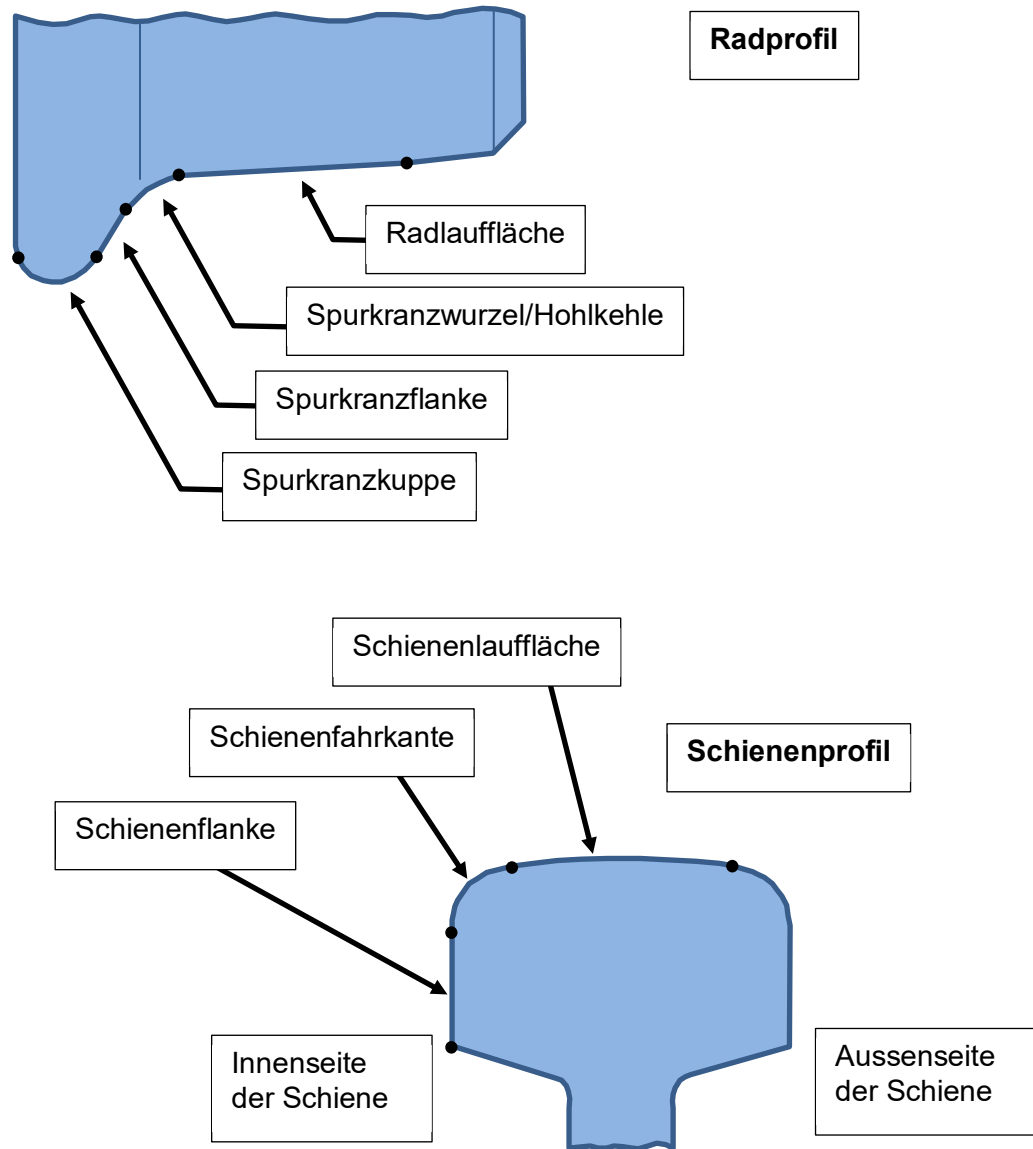
Die entgleiste Zugkomposition verkehrte am 22. März 2017 ab Zürich nach Milano Centrale. Nach dem Wenden verkehrte der Zug ab Milano Centrale nach Luzern. Dabei befuhr der Zug auf den Streckenabschnitten in der Schweiz insgesamt 21 Zugkontrolleinrichtungen. Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

### 1.10.5 Videoaufzeichnungen

Im Triebzug sind keine Videoaufzeichnungen installiert. Die Bahnhofskameras erfassen den Entgleisungsbereich nicht. Es standen keine verwertbaren Videoaufzeichnungen zur Verfügung.

## 1.11 Erklärende Grundlagen

### 1.11.1 Bezeichnung der Bereiche an Rad- und Schienenprofilen



**Abbildung 32:** Bezeichnungen einzelner Bereiche von Rad- und Schienenprofilen. Die Punkte begrenzen die einzelnen Bereiche.

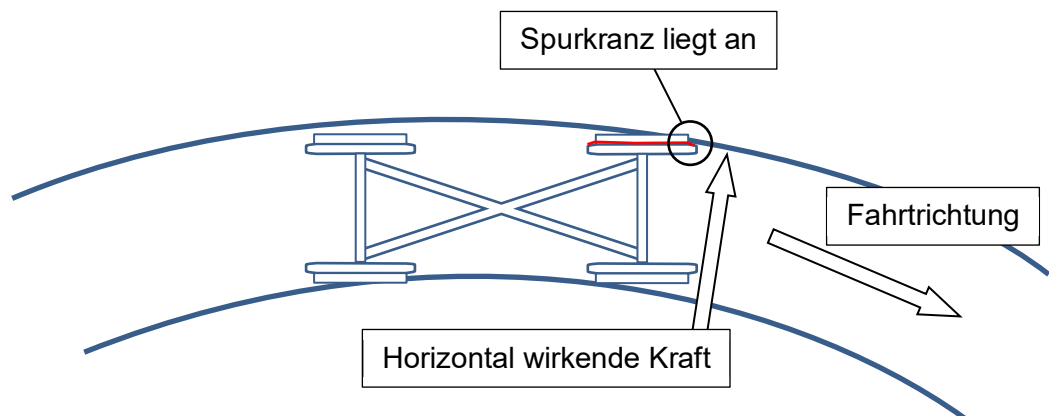
### 1.11.2 Krafteinwirkung auf die Stockschiene

Befährt ein Zug eine Kurve, so werden die Fahrwerke und Radsätze durch die Gleiskrümmung zu einer Richtungsänderung geführt. Ein zuvor geradeaus fahrendes Drehgestell, bzw. das vorlaufende, bogenäussere Rad, stösst mit dem Spurkranz in einem Anfahrwinkel gegen den Schienenkopf und wird durch die gebogene Schiene geführt.

Zwischen dem anliegenden Rad und der Schiene wirkt eine horizontale Führungskraft (Y – Kraft) auf den Schienenkopf (Ziffer 1.11.5). Diese Kraft ist abhängig vom Bogenradius, von der gefahrenen Geschwindigkeit, dem Fahrzeugtyp und dem Reibwert zwischen Rad und Schiene. Die Y-Kraft wird ebenfalls grösser, je widerwilliger das Drehgestell sich in die Kurve drehen möchte (Ausdrehsteifigkeit).

Das Bogenlaufverhalten wird beim Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 u. a. beeinflusst von den Schlingerdämpfern (Ziffer 1.8.1.4) und dem Querfederungssystem (Ziffer 1.8.1.3).

Die bei einer Kurvenfahrt gegen den Schienenkopf wirkende Führungskraft führt dazu, dass der Schienenkopf der kurvenäusseren Schiene nach bogenaussen gekippt wird (Ziffer 1.12.2).



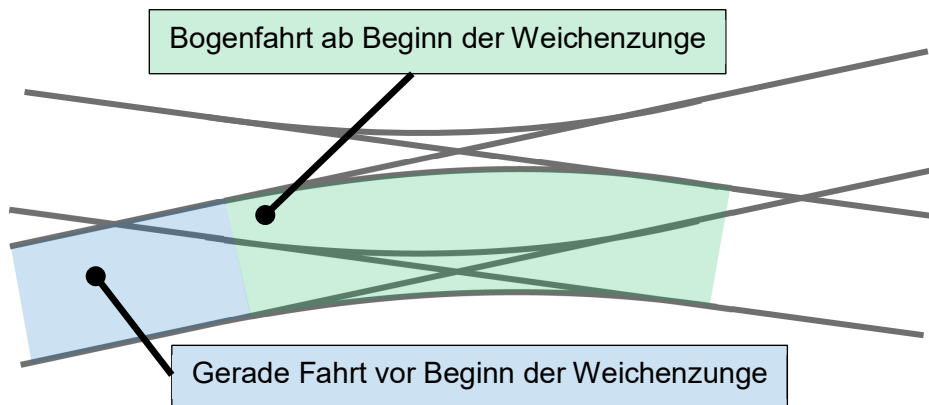
**Abbildung 33:** Skizze der Stellung eines Drehgestells bei Kurvenfahrt.

### 1.11.3 Reibwert und Radanhebung

Die gegen den Schienenkopf wirkende Führungskraft und die Geometrie des Radprofils führen zu einer leichten Anhebung der Radauflfläche vom Schienenkopf (Ziffer 1.11.5). Die Radanhebung fällt bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit umso grösser aus, je höher der Reibwert zwischen dem Spurkranz und dem Schienenkopf ist. Der Reibwert beeinflusst auch den Verschleiss des Radprofils. Um den Reibwert gering zu halten, werden die Spurkranzflanken über ein Schmiersystem mit einem Flüssigschmierstoff besprüht (Ziffer 1.8.1.5). Beim Überfahren der Schiene wird der Schmierstoff auch auf die Fahrkante am Schienenkopf übertragen.

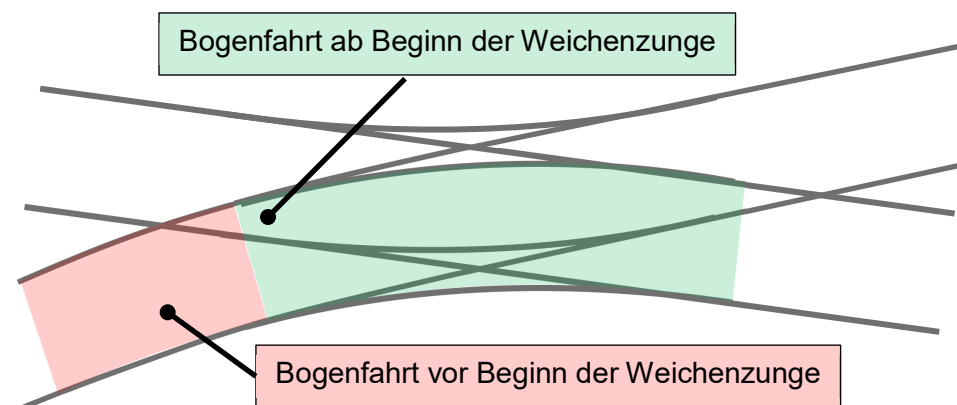
#### 1.11.4 Unterschied von nicht versteilter und versteilter Kreuzungsweiche

Beim Befahren einer Kreuzungsweiche in ablenkender Stellung über ein gerades Gleis trifft der Spurkranz des Rades kurz nach Beginn der Weichenzungenspitze auf die Flanke der ablenkenden Weichenzunge. Die dabei auftretende horizontale Kraft bewirkt das Andrücken der Weichenzunge gegen die Stockschiene bereits zu Beginn der Kurvenfahrt durch die Kreuzungsweiche. Beim Anfahren der Weichenzungenspitze entsteht in diesem Fall kaum ein Abstand zwischen der Weichenzunge und der Stockschiene.



**Abbildung 34:** Prinzipskizze einer nicht versteilten Kreuzungsweiche.

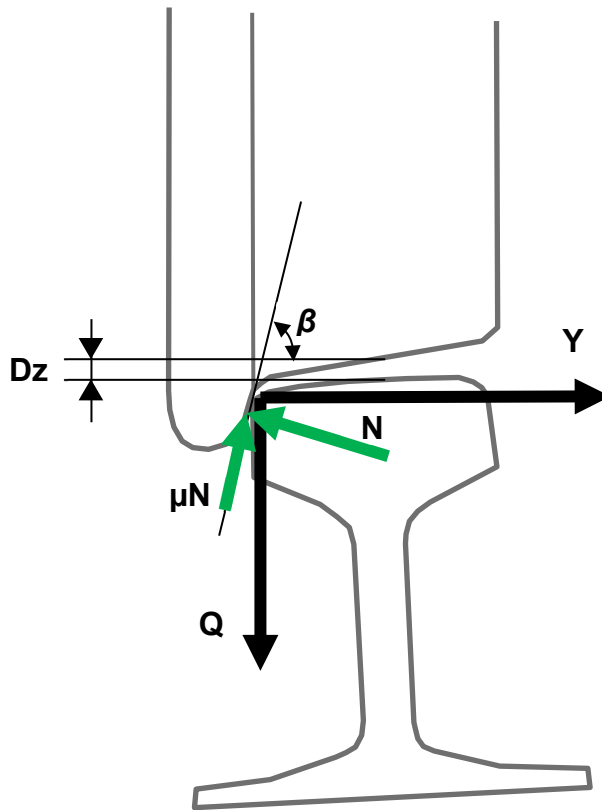
Bei in Bogen verlegten Kreuzungsweichen beginnt die Kurvenfahrt bereits vor der Weichenzungenspitze (Ziffer 1.7.4.1). Die auftretende horizontale Radkraft bewirkt ein Wegkippen der Stockschiene nach bogenaussen. Dabei entsteht insbesondere bei Kreuzungsweichen mit Jüdelverschluss ein Klaffen zwischen der Stockschiene und der Weichenzunge (Ziffer 1.12.1). Trifft im weiteren Verlauf der Fahrt die Spurkranzflanke des Rades nach Passieren der Weichenzungenspitze auf die Flanke der Weichenzunge, wird diese gegen die Stockschiene gedrückt und das Rad folgt dem Bogen.



**Abbildung 35:** Prinzipskizze einer versteilten Kreuzungsweiche.

### 1.11.5 Allgemeines zum Rad-Schiene-Kontakt

Der Quotient von Führungskraft und Radaufstandskraft ( $Y/Q$ ) eines bogenäusseren Rades wird als Beurteilungsgrösse für die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Entgleisung benutzt. Die Gefahr einer Entgleisung besteht dann, wenn der Quotient aus der Führungskraft  $Y$  und der Radaufstandskraft  $Q$  den Grenzwert der Entgleisungssicherheit überschreitet.



**Abbildung 36:** Vereinfachte Darstellung Rad-Schiene-Kontakt bei Kurvenfahrt.  $Y$  = Führungskraft,  $Q$  = Radaufstandskraft,  $Dz$  = Radanhebung,  $\beta$  = Spurkranzwinkel,  $\mu N$  = Reibkraft,  $N$  = Normalkraft.

Eine Führungskraft  $Y$  und eine Radaufstandskraft  $Q$  wirken auf das Rad ein. Im Berührungspunkt wirken die Normalkraft  $N$  und die Reibkraft  $\mu N$ . Ein Kräftegleichgewicht in Quer- und Vertikalrichtung ergeben die folgenden Gleichungen:

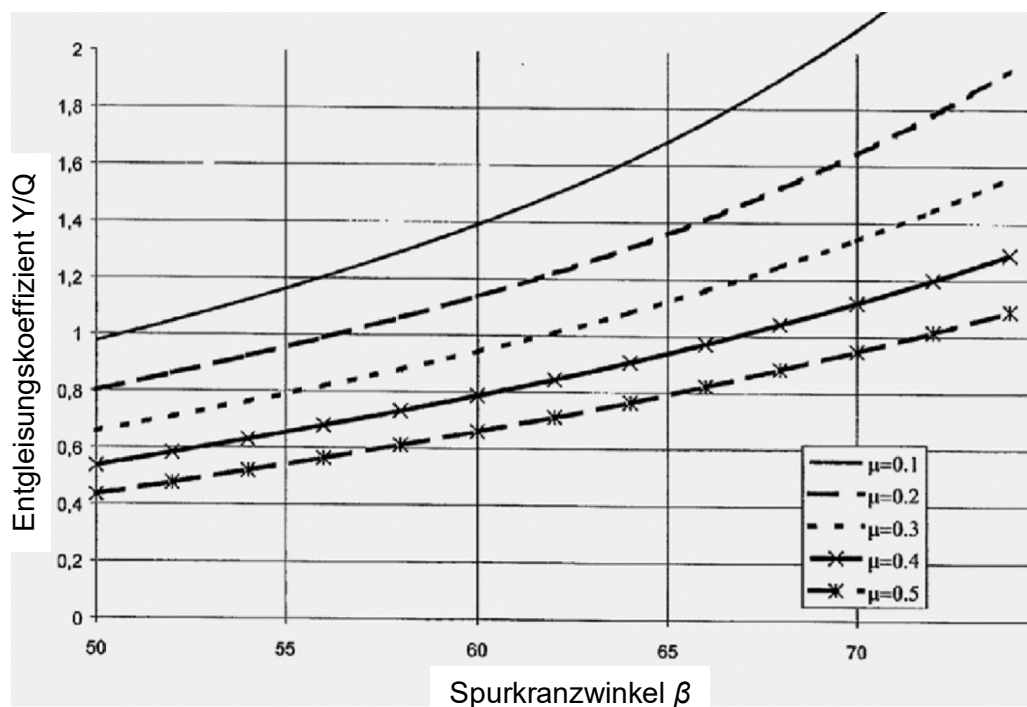
$$Y = N \sin \beta - \mu N \cos \beta$$

$$Q = N \cos \beta + \mu N \sin \beta$$

Daraus kann die Gleichung für den Entgleisungskoeffizienten ( $Y/Q$ ) berechnet werden (nach Nadal<sup>10</sup>):

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \beta - \mu}{1 + \mu \tan \beta}$$

Der Entgleisungskoeffizient ( $Y/Q$ ) hängt vom Spurkranzwinkel  $\beta$  und dem Reibungskoeffizienten an der Spurkranzflanke  $\mu$  ab. Die folgende Grafik zeigt, dass der Reibungskoeffizient  $\mu$  an der Spurkranzflanke einen wesentlichen Einfluss auf den Grenzwert ( $Y/Q$ ) in Funktion des Spurkranzwinkels  $\beta$  hat.



**Abbildung 37:** Grafik zum Zusammenhang zwischen Reibungskoeffizient  $\mu$ , Spurkranzwinkel  $\beta$  und Entgleisungskoeffizient  $Y/Q$  (Quelle: EN 14363 – Bild A.2).

Die Entgleisungsgefahr durch Aufklettern kann verhindert werden durch:

- hohe Radlast des führenden Radsatzes,
- steile Spurkranzneigung,
- einen geringen Reibungskoeffizienten an der Spurkranzflanke,
- geringe Führungskräfte.

<sup>10</sup> Die Verwendung des Quotienten von Führungs- und Radkraft ( $Y/Q$ ) als Beurteilungsgrösse der Entgleisungssicherheit wurde erstmals von Nadal im Jahr 1908 vorgeschlagen und wird seitdem weltweit von vielen Bahnen benutzt.

### 1.11.6 Definition Entgleisung

Entgleisung ist das Anheben eines Radsatzes oder einer seiner Räder bis zum Auflauf der Spurkranzkuppen auf die Fahrflächen der Schienen bzw. die oberen Begrenzungen zusätzlicher Spurführungseinrichtungen mit nachfolgendem Verlassen der Schienen.

Dabei wird unter zwei Arten der Entstehung einer Entgleisung unterschieden:

- **Aufsteigen** ist das Hinauffahren eines Spurkranzes auf ein Hindernis in seinem Rollweg.
- **Aufklettern** ist das Hinaufdrücken eines Rades, wenn es mit seiner Stirn- oder Rückenfläche des Spurkranzes an der Fahr- bzw. Leitkante anläuft unter Reibschluss durch seitliche Spurführungskräfte.

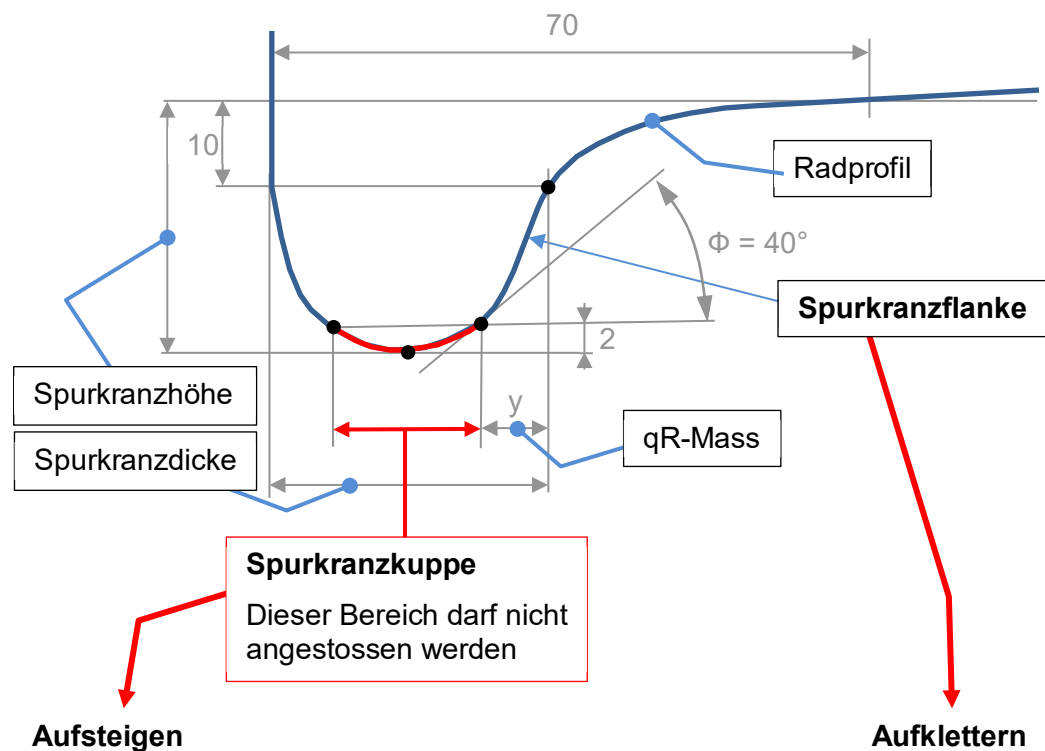


Abbildung 38: Bereiche am Radprofil sowie Definition Aufsteigen und Aufklettern.



### 1.11.7 Messungen und Literatur Review über das Thema Reibungskoeffizient

Ein Literatur Review<sup>11</sup> bestätigt, dass ein Reibungskoeffizient von 0.55 und mehr möglich ist, wenn der Kontakt Rad-Schiene trocken ist.

Im Jahr 2012 wurde durch British Rail der Reibungskoeffizient auf der Strecke unter Verwendung eines handbetätigten Tribometers während fünf Perioden eines Jahres gemessen. Es wurden Reibungskoeffizienten von bis zu 0.7 festgestellt. Es war auch zu sehen, dass der Reibungskoeffizient bei unterschiedlichen Wetterbedingungen variiert.

Der im Zusammenhang mit der Untersuchung von RAIB<sup>12</sup> über die Entgleisung eines Zuges in Ordsall Lane Junction, Saltford, am 23. Januar 2013 publizierte Bericht hebt die folgenden Punkte über das Thema Reibungskoeffizient hervor (übersetzter Auszug aus dem RAIB Bericht):

*Testdaten des British Rail Research Tribometer Trains:*

*[...Es ist ersichtlich, dass die maximal gemessenen Reibungskoeffizienten bis zu 0.6 betragen. Diese Messdaten auf dem UK-Netz unterstützen Reibungswerte von 0.32 bis 0.55, die in der Simulationsarbeit verwendet werden.]*

---

<sup>11</sup> Variety of literature sources were considered, including a revision draft of European Standard EN14363 (dated June 2013), which reports friction measurements made by British Rail, and a guidance note published by the RSSB: GM/GN2642, 'Guidance on wheel/rail low adhesion'.

<sup>12</sup> RAIB : Rail Accident investigation Branch (UK)

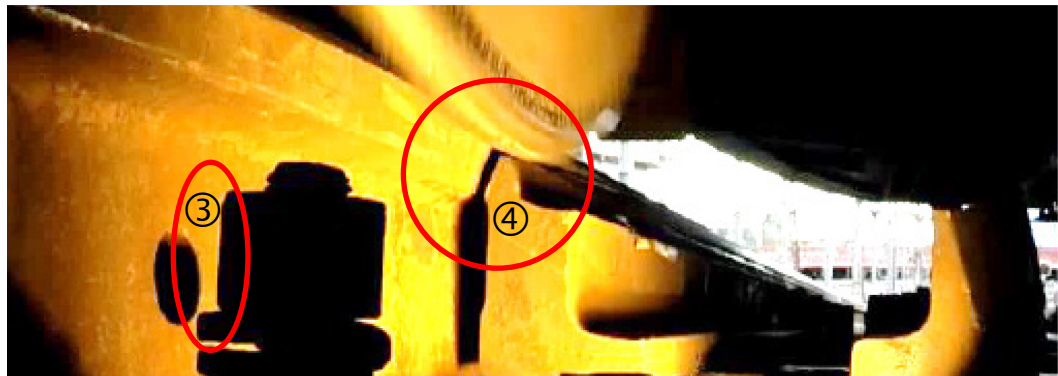
## 1.12 Besondere Untersuchungen

### 1.12.1 Videoaufnahme Überfahrt Weichenzunge Doppelkreuzungsweiche 63

Bei der Bogendurchfahrt wirkt eine seitliche Kraft vom Rad auf den Schienenkopf. Mit einer Videoaufnahme wurde die Bewegung der Schiene bei der Überfahrt festgehalten. Es ist ersichtlich, dass immer die führende Achse jedes einzelnen Fahrzeugs im Zugverband eine grössere Wirkung ausübt und ein Abstand zwischen der Stockschiene und der Weichenzunge entsteht. Dieses Klaffen kann mehrere Millimeter betragen. Wobei nach bisherigem Kenntnisstand davon ausgegangen wird, dass bei Einhaltung des Funktionsmasses  $q_{Wz}$  das Klaffmass  $q_e$  unter betrieblicher Belastung nicht mehr als 6.5 mm beträgt (Ziffer 1.12.2).



**Abbildung 39:** Weichenzunge ① an der Stockschiene ②anliegend (Quelle: SBB).



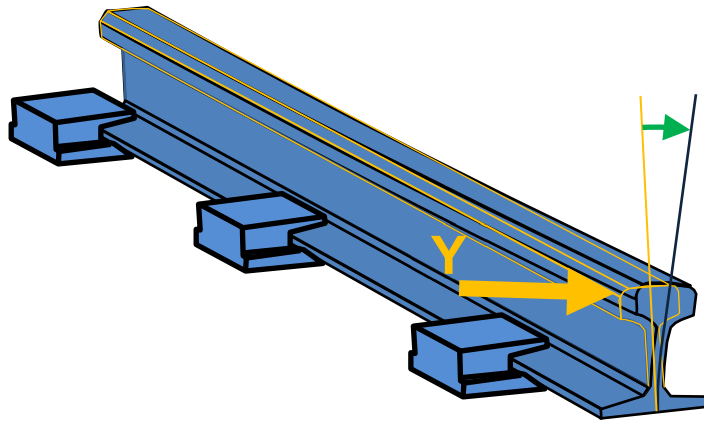
**Abbildung 40:** Weichenzunge bleibt in Position, die Stockschiene wird weggekippt ③ (Distanz Schraube zu Loch). Es entsteht ein Klaffen ④ zwischen der Stockschiene und der Weichenzungenspitze (Kreise, Vergleich mit Abbildung 39) (Quelle: SBB).



**Abbildung 41:** Der Spurkranz hat Kontakt mit der Weichenzunge und drückt sie gegen die Stockschiene ⑤, die gekippt bleibt ⑥ unter der Last der Querkraft (Kreis, Vergleich mit Abbildung 39 und Abbildung 40) (Quelle: SBB).

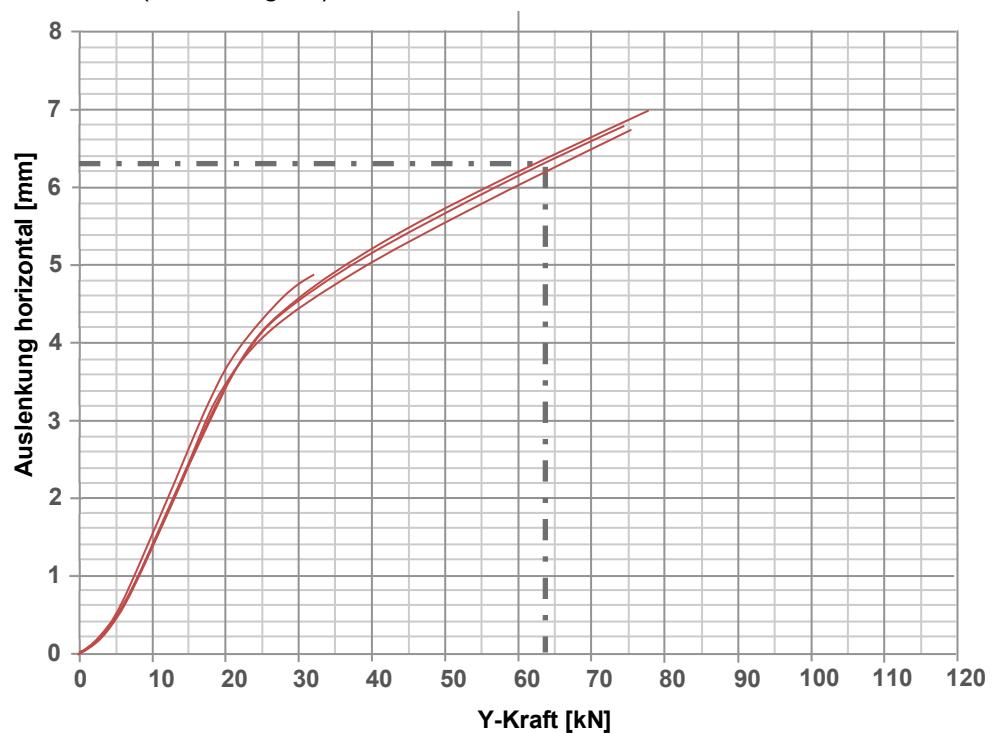
### 1.12.2 Dynamische Messungen Auslenkung Stockschiene

Die auftretende horizontale Kraft (Y-Kraft) des Rades gegen den Schienenkopf führt zu einem Kippen der Stockschiene.



**Abbildung 42:** Kippen (grüner Pfeil) der Stockschiene unter Y-Kraft (gelber Pfeil) eines Radsatzes.

In einer Versuchsanordnung wurde mittels seitlichen Druckkräften entsprechend der Radkraft Y die Schienenkopfauslenkung nachgestellt. Die Schienenkopfauslenkung wurde mittels Dehnungssensor dynamisch gemessen und daraus auf die aufgetretene Querkraft geschlossen. Es konnte eine Auslenkung von 6.5 mm festgestellt werden. Daraus lässt sich schliessen, dass eine Querkraft von 63 kN vorhanden war (Abbildung 43).



**Abbildung 43:** Diagramm der dynamischen Messungen zur Auslenkung des Schienenkopfs Doppelkreuzungsweiche 63 in Luzern.

### 1.12.3 Dynamische Messungen Klaffmass Doppelkreuzungsweiche 63

Die Veränderung der Lage der Stockschiene wurde unter realen betrieblichen Bedingungen bei Überfahrt verschiedener Fahrzeugtypen gemessen. Dabei zeigten sich – unabhängig vom Zugtyp – für das Klaffmass  $q_{\epsilon}$  zwischen Stockschiene und Weichenzungenspitze Werte zwischen 6.1 mm und 10 mm. Für den Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 wurden Werte von bis zu 9.2 mm gemessen.

| Datum      | Fahrzeugtyp | Ø Geschwindigkeit [km/h] | Klaffmass $q_{\epsilon}$ [mm] |
|------------|-------------|--------------------------|-------------------------------|
| 15.12.2017 | ETR 610     | 30.5                     | 8.5                           |
| 16.12.2017 | ETR 610     | 34.2                     | 7.5                           |
| 17.12.2017 | ETR 610     | 30.9                     | 9.2                           |
| 18.12.2017 | ETR 610     | 28.4                     | 6.1                           |
| 19.12.2017 | ETR 610     | 28.8                     | 8.3                           |
| 15.12.2017 | GTW         | 41.6                     | 8.5                           |
| 16.12.2017 | Flirt       | 27.0                     | 9.5                           |
| 15.12.2017 | EW IV / EC  | 39.5                     | 8.9                           |
| 16.12.2017 | EW IV / EC  | 33.6                     | 10.0                          |
| 15.12.2017 | ICN         | 36.2                     | 9.2                           |

**Abbildung 44:** Klaffmass  $q_{\epsilon}$  zwischen Stockschiene und Weichenzungenspitze bei Überfahrt verschiedener Fahrzeugtypen.

### 1.12.4 Laufdynamische Untersuchungen mittels Simulation

#### 1.12.4.1 Allgemein

Zur Untersuchung der Laufdynamik wurde eine Simulation sowie eine Untersuchung der Berührgeometrie im Bereich der Weichenzungenspitze durchgeführt. Die Feststellungen über

- das Klaffmass  $q_{\epsilon}$  zwischen Weichenzunge und Stockschiene von 6.5 mm,
- die Gleisgeometrie und Form der Weichenzunge,
- die Einsenkungsmessungen,
- das verschlissene Radprofil mit einem  $qR$ -Mass von 7.39 mm,
- die eingeschränkte Querfederung,
- die erhöhte Reibung aufgrund der trockenen Zustände von Rad und Schiene,
- die gemessenen bzw. berechneten Querkräfte

wurden einbezogen.

In der Simulation nicht berücksichtigt wurde die Flexibilität der Weichenzunge und anderer Weichenelemente.

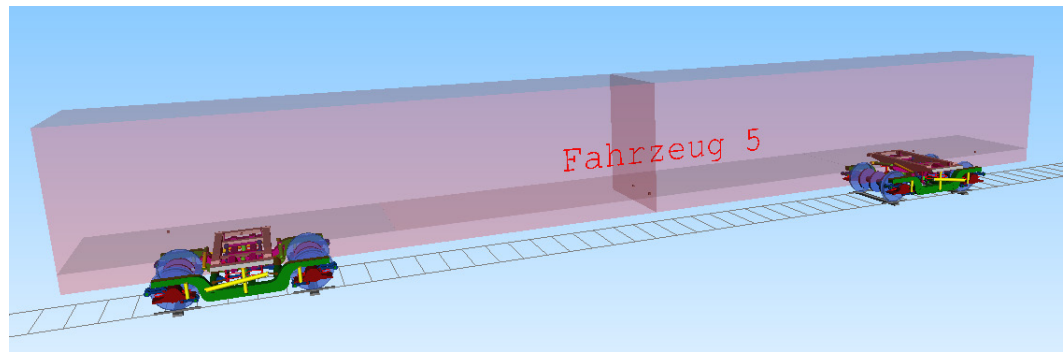
Die Beurteilung der Entgleisungssicherheit von Schienenfahrzeugen erfolgte entsprechend der Norm EN 14363 nach den Beurteilungsgrößen und den Grenzwerten für die Fahrsicherheit. Für die durchgeführte Simulation wurden folgende Grenzwerte angenommen:

- Radanhebung (Dz) max. 5 mm.
- Entgleisungskoeffizient  $(Y/Q)_{\text{dyn}}$  kleiner/gleich 1.2.

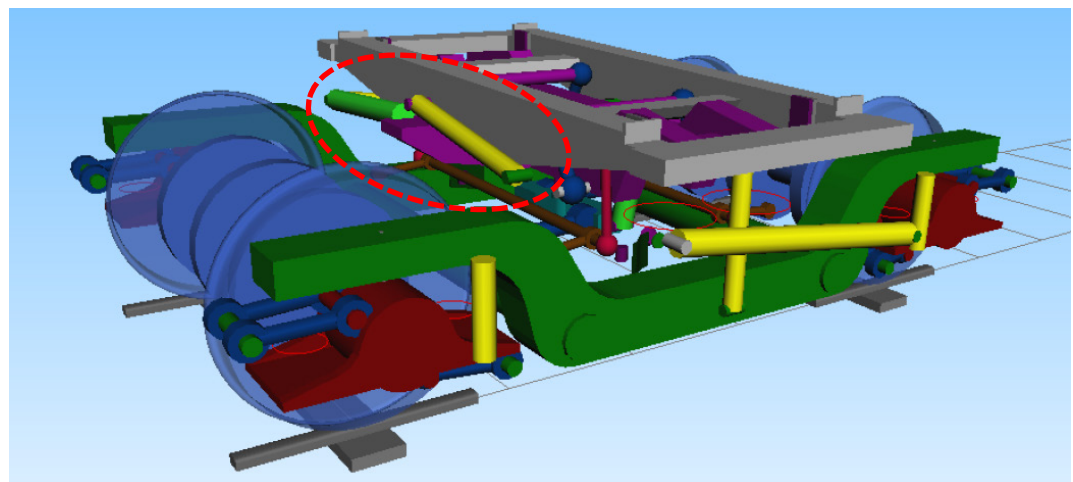
Für die durchgeführten Simulationen wurden die Q-Kräfte, die Y-Kräfte, die Entgleisungskoeffizienten  $Y/Q$  und das Radanheben Dz relevant.

#### 1.12.4.2 Modellierung Fahrzeug

Die Drehgestelle wurden so modelliert, dass der Einfluss einer eingeschränkten Funktionalität der aktiven Querverfederung genau abgebildet werden konnte. Die Neigefunktion war bei der gefahrenen Geschwindigkeit nicht aktiv, so dass diese nicht modelliert werden musste. Die Modellierung eines einzelnen Fahrzeuges wurde als ausreichend beurteilt.



**Abbildung 45:** Modellierung des Fahrzeuges.



**Abbildung 46:** Modellierung des Laufdrehgestells mit der Querverfederung (rot gestrichelter Kreis).

#### 1.12.4.3 Modellierung Weichenzunge Doppelkreuzungsweiche 63

Für weiterführende Untersuchungen wurde die Entgleisungsstelle bei der Weichenzunge der Doppelkreuzungsweiche 63 modelliert. Aufgrund der Abweichungen zwischen theoretischen und gemessenen Weichenzungenprofilen wurden die Profilformen von Stockschiene mit Weichenzunge basierend auf den theoretischen Profilen modelliert. Für die Untersuchungen war primär die Weichenzungenspitze relevant. Die Weichenzungenspitze wurde mit 22 mm unter Schienenoberkante modelliert. Eine maximale Querverschiebung am Schienenkopf der Stockschiene von 6.5 mm wurde in der Schienenprofilgeometrie nachgebildet.

Die Weichenzunge wurde starr modelliert. Sie wurde somit bei der Überfahrt nicht durch den Spurkranz gegen den Schienenkopf bewegt. Da die ersten Entgleisungsspuren bereits ab der Weichenzungenspitze festgestellt werden konnten, wurde auf die sehr aufwändige Modellierung beweglicher Weichenteile verzichtet.

#### 1.12.4.4 Simulation Einfluss Hemmung an Querfederung

Eine Hemmung an Zylinder 1 erhöht die Ausdrehsteifigkeit und damit die Führungskraft  $Y$ , die Summe der Führungskräfte  $\Sigma Y$ , den Koeffizienten  $Y/Q$  und den Anlaufwinkel. Die Blockierung von Zylinder 1 (bei 100 kN) erhöht den Ausdrehwiderstand zwischen Drehgestell und Wagenkasten.

Wird zusätzlich zur Hemmung an Zylinder 1 auch an Zylinder 2 eine Haft-Gleit-Reibkraft aufgebracht, kann der Wagen in der Simulation bei ausreichender Hemmung zum Entgleisen gebracht werden. Über die Hemmung werden die Ausdrehung behindert, der Anlaufwinkel vergrössert und die Führungskräfte  $Y$  sowie die Summe der Führungskräfte  $\Sigma Y$  erhöht. Damit kann eine Entgleisung erzwungen werden, auch wenn die Zylinder nicht komplett blockieren.

#### 1.12.4.5 Simulation Einfluss der Reibung im Kontakt zwischen Rad und Schiene

Eine Erhöhung der Reibung zwischen Radlauffläche und Schienenfahrfläche erhöht die auf der Lauffläche übertragenen Führungskräfte  $Y$ , den Koeffizienten  $Y/Q$  und die Radanhebung  $Dz$  und reduziert damit die Entgleisungssicherheit.

Mit erhöhter  $Y$ -Kraft wandert der Kontaktpunkt in der Radlauffläche des bogenäusseren, führenden Rades (Radführung an der Stockschiene) in Richtung der Spurkranzflanke, da das Rad stärker nach bogenaussen gedrückt wird. Hinsichtlich potentielltem Kontakt Spurkranzkuppe/Weichenzunge ist dies kritischer, da die Weichenzungenspitze tendenziell näher an der Spurkranzkuppe und damit in einen flacheren Radprofilbereich trifft.

Bei hoher Reibung ( $\mu = 0.6$ ) tritt in der Simulation die Situation auf, dass das Rad angehoben wird und der Kontaktpunkt zwischen Rad und Schiene Richtung Spurkranzflanke/Schienenfahrkante wandert. Ist der Reibwert im Kontaktbereich von Spurkranzflanke/Schienenfahrkante erhöht, so klettert das Rad an der Schienenfahrkante hoch. Tritt nun der einzige Kontaktpunkt zwischen Rad und Schiene sehr nahe am flachen Bereich der Spurkranzkuppe auf, so ist dies für die Entgleisungssicherheit kritisch.

#### 1.12.4.6 Simulation Einfluss Gleisverwindung

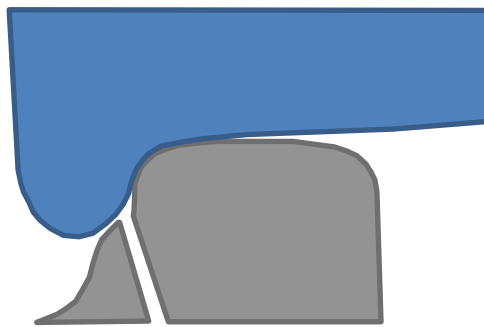
Die Absenkung der bogenäusseren Schiene aufgrund einer Gleisverwindung an kritischer Position der Weichenzungenspitze führt am kritischen Rad zu einer Reduktion der Radaufstandskraft  $Q$  und damit zu einer Erhöhung des Koeffizienten  $Y/Q$  sowie der Radanhebung  $Dz$ . Die Radführung erfolgt in diesem Bereich über den Kontakt der Spurkranzflanke. Dieser Kontaktpunkt liegt sehr nahe am flachen Bereich der Spurkranzkuppe und ist somit kritisch für die Entgleisungssicherheit.

Wird in der Simulation z.B. die Reibung zwischen Rad und Schiene von  $\mu = 0.4$  auf 0.6 erhöht, kann mit der Gleisverwindung auch ohne Hemmung an den Zylindern eine Entgleisung provoziert werden. Dabei trifft die Spurkranzkuppe nahe des flachen Bereichs auf der Weichenzunge auf und steigt an dieser hoch.

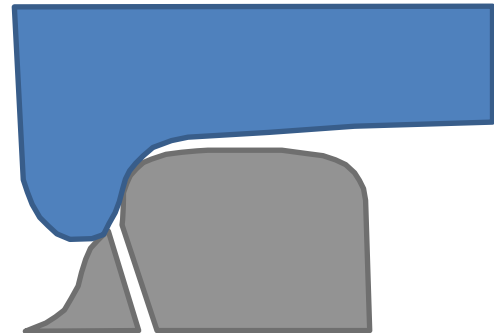
#### 1.12.4.7 Simulation Einfluss Radprofilverschleissform

Beim verschlissenen Radprofil tritt der Kontakt mit der Weichenzunge aufgrund des geringeren  $qR$ -Masses früher auf als bei nicht verschlissenem Radprofil (Abbildung 47 und Abbildung 48). Dies ist in der Tendenz kritischer, da die Weichenzunge in einem Abschnitt mit geringerer Weichenzungenhöhe getroffen wird und der Kontakt damit in einem flacheren Bereich der Zungenflanke und näher am flachen Bereich der Spurkranzkuppe erfolgen kann. Ein Aufsteigen der Spurkranzkuppe auf die Weichenzunge würde damit begünstigt.

Verstärkt wurde die Situation dadurch, dass das geringe  $qR$ -Mass gleichzeitig mit einer geringen Abnutzung der Radlauffläche auftrat. Die Spurkranzhöhe betrug beim erstentgleisten Rad 29.8 mm.



**Abbildung 47:** Kontaktsituation bei nicht verschlissenem Radprofil (grau = Profil Stockschiene mit klaffender Weichenzunge; blau = Radprofil).



**Abbildung 48:** Kontaktsituation beim erstentgleisten Rad mit verschlissenem Radprofil am erstentgleisten Rad (grau = Profil Stockschiene mit klaffender Weichenzunge; blau = Radprofil).

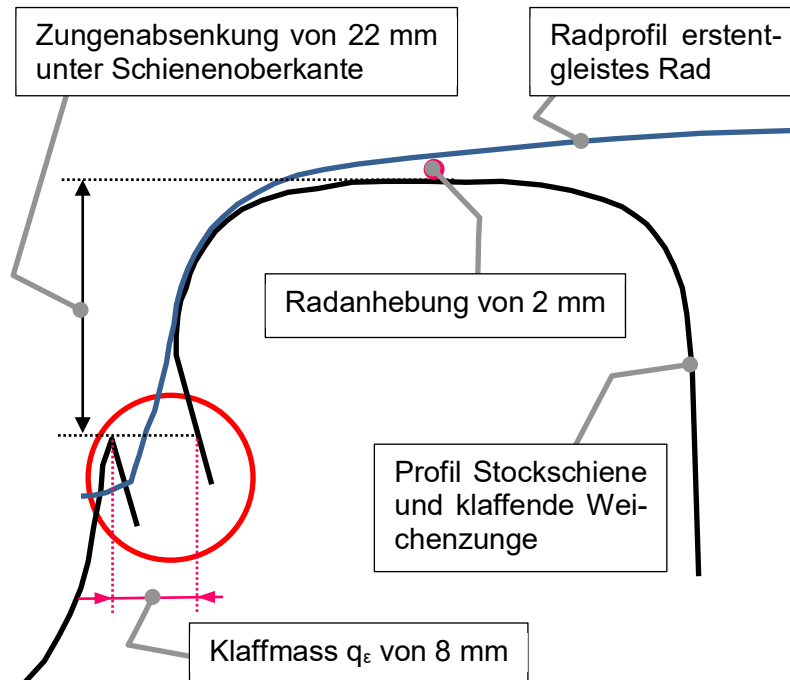
#### 1.12.5 Untersuchung der Rad-Schiene-Profilgeometrie

Die geometrische Kontaktsituation mit Berücksichtigung des betrieblich ermittelten maximalen Klaffmasses  $q_e$  von 10 mm wurde für verschiedene Absenkungen der Zungenspitze untersucht. Für den gesamten Bereich der Weichenzungenabsenkung von 22 mm bis 26.5 mm ist die Kontaktsituation sowohl für die spezielle Radprofilverschleissform des erstentgleisten Rades als auch für eine gängigere Verschleissprofilform nach UIC 716<sup>13</sup> nicht entgleisungssicher.

Mit einem etwas geringeren Klaffmass  $q_e$  von 8 mm würde die Kontaktsituation für das gängige Verschleissprofil bei 22 mm Zungenabsenkung nach UIC 716 knapp als sicher beurteilt werden (Abbildung 49).

Die Profilgeometrie der Schiene entsprach bei den geometrischen Betrachtungen dem unverschlissenen Zustand.

<sup>13</sup> UIC 716: Maximal zulässige Abnutzungsprofile für Weichen, 2. Ausgabe, Mai 2004



**Abbildung 49:** Kontaktsituation mit verschlissenem Radprofil und vorhandenem Schienenprofil im Bereich der Weichenzungenspitze. Bei einem Klaffmass  $q_\epsilon$  von 8 mm liegt die Spurkranzflanke und der flache Teil der Spurkranzkuppe zwischen Weichenzunge und Stockschiene (Kreis). Radanhebung nach EN 13232<sup>14</sup>.

### 1.12.6 Erkenntnisse aus der laufdynamischen Untersuchung

Die Überprüfung der Fahrsicherheit per Simulation zeigte eine unkritische Situation bei nominellen Fahrzeug- und Fahrwegparametern. Angepasst auf die Feststellungen und Messungen bei Fahrzeug und Fahrbahn zeigten sich kritische Faktoren, mit denen eine Entgleisung erzwungen werden konnte.

Durch Hemmung der Pneumatikzylinder der Querfederung wurde eine erhöhte Seitenkraft festgestellt, die aber allein nicht zu einer Entgleisung führte.

Die Radprofilform des erstentgleisten Rades allein führte nicht zu einer Entgleisung.

Das grosse Klaffen zwischen Weichenzungenspitze und Stockschiene allein führte nicht zu einer Entgleisung.

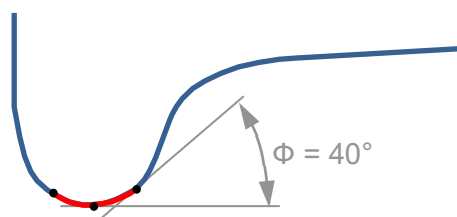
Die Reibung zwischen Spurkranz- und Schienenflanke mit dem nach Norm EN 14363 angenommenen Koeffizient von  $\mu = 0.4$  führte nicht zu einer Entgleisung. Aufgrund der trockenen Situation von Rad und Schiene wurde der Reibungskoeffizient erhöht, wobei sich bei einem Wert von  $\mu = 0.6$  ein kritischer Zustand zeigte, der zu einer Entgleisung führte.

Aus der geometrischen Untersuchung der Profilvereinigung von verschlissenen Radprofil mit dem Schienenprofil inklusive Weichenzungengeometrie wurde ersichtlich, dass unter Berücksichtigung eines Klaffmasses  $q_\epsilon$  von 5 mm bis 6.5 mm und noch zulässigem  $q_R$ -Mass von 7.4 mm ein Kontaktpunkt zwischen Weichenzunge

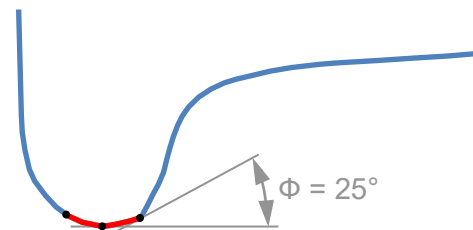
<sup>14</sup> EN 13232: Bahnanwendungen – Oberbau – Weichen und Kreuzungen – Teil 9: Weichenanlagen, Stand Juli 2014



und Radprofil auftritt, der sehr nahe am flachen Bereich der Spurkranzkuppe auftritt. Dieser Kontaktpunkt wurde auch in der Simulation beobachtet. Trifft der flache Bereich der Spurkranzkuppe auf die Weichenzunge, kann das Rad ohne signifikante Querkräfte – d.h. ohne Zurückdrücken der Weichenzunge – auf die Weichenzunge aufsteigen und entgleisen. Liegt die Weichenzunge mehr als 26 mm unterhalb Schienenoberkante, steigt die Spurkranzkuppe des Radkörpers mit dem vorliegenden Verschleissprofil ( $q_R = 7.39$  mm) direkt auf die Weichenzunge mit Klaffmass  $q_\varepsilon$  grösser 5.5 mm auf. Der Winkel der Spurkranzkuppe in diesem Bereich ist kleiner als  $25^\circ$  (Abbildung 51). Aus geometrischer Sicht kann innerhalb der zulässigen Verschleissmasse (Höhe Weichenzunge  $< 27$  mm unterhalb Schienenoberkante und einem Radprofil mit  $q_R$ -Mass  $> 6.5$  mm) ein entgleisungskritischer Zustand nachgewiesen werden.



**Abbildung 50:** Winkel Spurkranzkuppe bei nicht verschlissenenem Radprofil.



**Abbildung 51:** Winkel Spurkranzkuppe beim verschlissenen Radprofil am erstentgleisten Rad.

Wird das von der SBB im Betrieb messtechnisch ermittelte maximale Klaffmass  $q_\varepsilon$  von 10 mm berücksichtigt, muss die geometrische Kontaktsituation von Rad und Weichenzunge sowohl für die spezielle als auch für eine gängige Radprofilverschleissform im gesamten zulässigen Bereich der Weichenzungenabsenkung als unsicher beurteilt werden.

## 2 Analyse

### 2.1 Technische Aspekte

#### 2.1.1 Fahrzeug

##### 2.1.1.1 Verschleiss am Spurkranz

Das Verschleissbild am Spurkranz des erstentgleisten Rades deutet auf eine erhöhte Ausdrehsteifigkeit des Drehgestells hin. Die Verschleissform mit einer Braue am Spurkranz ist bei Eisenbahnradern vermehrt anzutreffen. Der Kontakt mit Weichenzungen ist möglicherweise eine Ursache für diese ungewöhnliche Verschleissform am Spurkranz. Der Verschleiss der Spurkranzflanke lag innerhalb der anerkannten Toleranzen. Weshalb diese Verschleissform primär am erstentgleisten Wagen aufgetreten war, ist nicht klar.

Die durch Aufwalzung gegen die Spurkranzkuppe geformte Nase führte zu einer Abflachung der Spurkranzkuppe. Das konnte ein Entgleisen begünstigen. Der Winkel der Spurkranzkuppe in diesem Bereich war kleiner als  $25^\circ$  und damit deutlich geringer als die  $40^\circ$  für den entgleisungssicheren Bereich (vgl. Ziffer 1.11.6, Abbildung 38).

Die Lauffläche des erstentgleisten Rades wies kaum Verschleiss auf. Ein Verschleiss der Radlauffläche führt zu einer Zunahme der Spurkranzhöhe. Die Spurkranzhöhe betrug 29.8 mm und lag damit in der Toleranz. Die Spurkranzhöhe darf bis 36 mm betragen. Ein höherer Spurkranz – ob durch Verschleiss der Radlauffläche entstanden oder bei der Neuprofilierung bereits grösser gehalten – ist für das Anfahren von Weichenzungen günstiger.

Durch den Verschleiss an der Spurkranzflanke wurde diese steiler ausgeformt. Eine steiler ansteigende Spurkranzflanke klettert im Grundsatz weniger rasch an der Schienenflanke auf. Die Spurkranzkuppe konnte sich mit dieser Verschleissform jedoch näher gegen die Stockschiene bewegen. Dadurch berührte die Spurkranzkuppe die Weichenzungenspitze bereits bei einem weniger ausgeprägten Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge.

Innerhalb der zulässigen Werte für den Verschleiss von Rad und Schiene konnte aus geometrischer Sicht ein entgleisungskritischer Zustand abgebildet werden (vgl. Ziffer 1.12.4.7, Abbildung 48).

##### 2.1.1.2 Querfederung

Die Hitzespuren an der Kolbenstange zum Pneumatikzylinder 1 der Querfederung des erstentgleisten Drehgestells deuten auf einen vorbestandenen Schaden hin. Dieser hatte zur Folge, dass die Querfederung gehemmt war und zu einer erhöhten Ausdrehsteifigkeit des Drehgestells führte. Es führte auch zu einer leicht erhöhten Querkrafteinwirkung des bogenäusseren Rades gegen den Schienenkopf bei Bogenfahrt.

Das Ausdrehen des Drehgestells blieb möglich und wurde über eine vermehrte Bewegung im Pneumatikzylinder 2 kompensiert. Erst wenn in der Simulation auch eine – wenig realistische – starke Erhöhung der Hemmung beim Pneumatikzylinder 2 beigezogen wurde, konnte eine Entgleisung erzwungen werden.

Bei realistischen Annahmen für die Hemmung der beiden Pneumatikzylinder fiel die erhöhte Querkraft zu gering aus, als dass sie allein eine Entgleisung massgeblich beeinflusst hätte.

Die Indizien sind vorhanden, wonach eine Hemmung der Funktion der Pneumatikzylinder der Querfederung bestand. Es lässt sich jedoch nicht abschliessend festlegen, wie gross der Einfluss auf die Querkraft tatsächlich war.

Die Einflüsse, die zur Beschädigung der Pneumatikzylinder der Querfederung geführt haben, konnten nicht ermittelt werden.

#### 2.1.1.3 Spurkranzschmierung

Aufgrund der Feststellungen zur Spurkranzschmierung kann davon ausgegangen werden, dass sie funktioniert hat. Dennoch wurde der Schmierfilm nicht auf alle Räder des Zuges übertragen. Das erstentgleiste Rad wies jedenfalls keinen Schmierfilm auf. Die Spurkranzschmierung dient in erster Linie dazu, den Verschleiss der Räder und der Schienen zu minimieren. Ein Schmierfilm hält auch den Reibwert zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke niedrig. Bei trockenen Rädern und Schienen kann von einem erhöhten Reibwert zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke ausgegangen werden. Die angenommenen Werte in der Simulation, die eine Entgleisung annähernd passend zu den festgestellten Entgleisungsspuren auslösen, beinhalten einen Reibwert von 0.6.

Ein erhöhter Reibwert begünstigte die Radanhebung bei Bogenfahrt.

### 2.1.2 Infrastruktur

#### 2.1.2.1 Klaffmass zwischen Stockschiene und Weichenzunge

Die Vorgaben zum zulässigen Klaffmass  $q_{\epsilon}$  basieren darauf, dass bei Einhaltung der Toleranzen anlässlich der statischen Messungen mit der Entgleisungslehre das Klaffmass unter betrieblicher Belastung nicht mehr als 6.5 mm beträgt.

Die dynamischen Messungen ergaben einen Wert von bis zu 9.2 mm für das Klaffmass  $q_{\epsilon}$  zwischen der Stockschiene und der Weichenzunge bei Überfahrt durch einen Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610. Mit dem verbauten Weichenverschluss System Jüdel war unter betrieblicher Belastung ein gegenüber dem statischen Klaffen zusätzlich dynamisches Klaffen möglich.

Es gibt keine Vorgaben für das Klaffmass  $q_{\epsilon}$  unter betrieblicher Belastung.

#### 2.1.2.2 Schienenschmierung

In der Schweiz sind heute keine gleisseitigen Vorrichtungen zur Schmierung der Schienenkopfflanke installiert. Zur Zeit der Zulassung des Mehrsystemtriebzugs vom Typ ETR 610 im Jahre 2012 konkretisierte die R RTE 49410 mit Datum des Inkrafttretens 2009 die allgemeinen Vorgaben der EBV<sup>15</sup> bzw. AB-EBV. Die R RTE schreibt vor, welchen Beitrag die Fahrzeuge, die Schienennetze der Schweizer Normalspur-Infrastrukturbetreiberinnen befahren, zur Schienenkopfflanken-Schmierung zu leisten haben.

Gemäss R RTE 49410 ist davon auszugehen, dass eine durchgehend geschmierte Schienenkopfflanke weder fahrzeugseitig noch durch die Infrastruktur gewährleistet werden kann.

---

<sup>15</sup> SR 742.141.1, Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung, EBV) vom 23. November 1983, Stand 18. Oktober 2016

### 2.1.2.3 Bauart der Langensandbrücke

Die Endlage der entgleisten Wagen war im Bereich eines vormaligen Brückenpfeilers der alten Langensandbrücke. Die pfeilerlose Bauweise der neuen Brücke verhinderte noch grösseren Schaden.

## 2.2 Organisatorische Aspekte

Planung und Durchführung von Kontrollen und Instandhaltung sowohl des Fahrzeugs wie auch der Fahrbahn erfolgten in den vorgegebenen Intervallen und nach den Vorschriften. Die geltenden Grenzwerte nach dem anerkannten Stand der Technik wurden berücksichtigt.

## 2.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte

Der eingestellte Fahrweg über enge, wechselseitige Kurvenradien war regulär und zulässig.

Im Bereich der Entgleisungsstelle ist die Geschwindigkeit auf höchstens 40 km/h festgelegt. Zum Entgleisungszeitpunkt fuhr der Zug mit einer bereits über eine längere Strecke konstanten Geschwindigkeit von 36.87 km/h. Zum Zeitpunkt der Entgleisung war keine Längsdynamik durch Zug- und Bremskräfte vorhanden.

Die dynamischen Messungen bei der Überfahrt über die Entgleisungsstelle zeigten, dass die Fahrgeschwindigkeit im festgelegten Geschwindigkeitsbereich wenig Einfluss hatte auf das Klaffen zwischen der Stockschiene und der Weichenzunge.

Die zum Entgleisungszeitpunkt vom Mehrsystemtriebzug ETR 610 gefahrene Geschwindigkeit hat somit nicht dazu geführt, dass eine kritische Annäherung an Grenzwerte für die Entgleisungssicherheit stattfand.

## 2.4 Menschliche Aspekte

Aus der Untersuchung sind keine menschlichen Handlungen oder Entscheide abzuleiten, die das Ereignis begünstigten. Handlungen und Entscheide erfolgten nach den vorhandenen Vorschriften, was die Entgleisung dennoch nicht verhindern konnte.

## 2.5 Zusammenstellen der Befunde

Die Untersuchungen zum Fahrzeug haben Defekte an der Querfederung gezeigt, die die Ausdrehsteifigkeit des erstentgleisten Drehgestells und die Radquerkraft bei Bogenfahrten erhöhten. Die Simulation der Fahrt über die Doppelkreuzungsweiche 63 zeigte jedoch, dass dies nicht unmittelbar zur Entgleisung führen konnte, solange der Koeffizient für die Reibung zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke mit dem nach Norm EN 14363 vorgesehenen Wert von  $\mu = 0.4$  eingesetzt wurde. Die Feststellung, dass die Flanken des Spurkranzes und des Schienenkopfs keinen Fettfilm aufwiesen, lassen darauf schliessen, dass dieser Reibwert erhöht war. Bereits bei einem Reibwert von  $\mu = 0.6$  konnte in der Simulation eine Entgleisung erzwungen werden.

Die Werte der statischen Messungen der Fahrbahn zeigten keine Abweichungen, die unmittelbar zu einer Entgleisung führten.

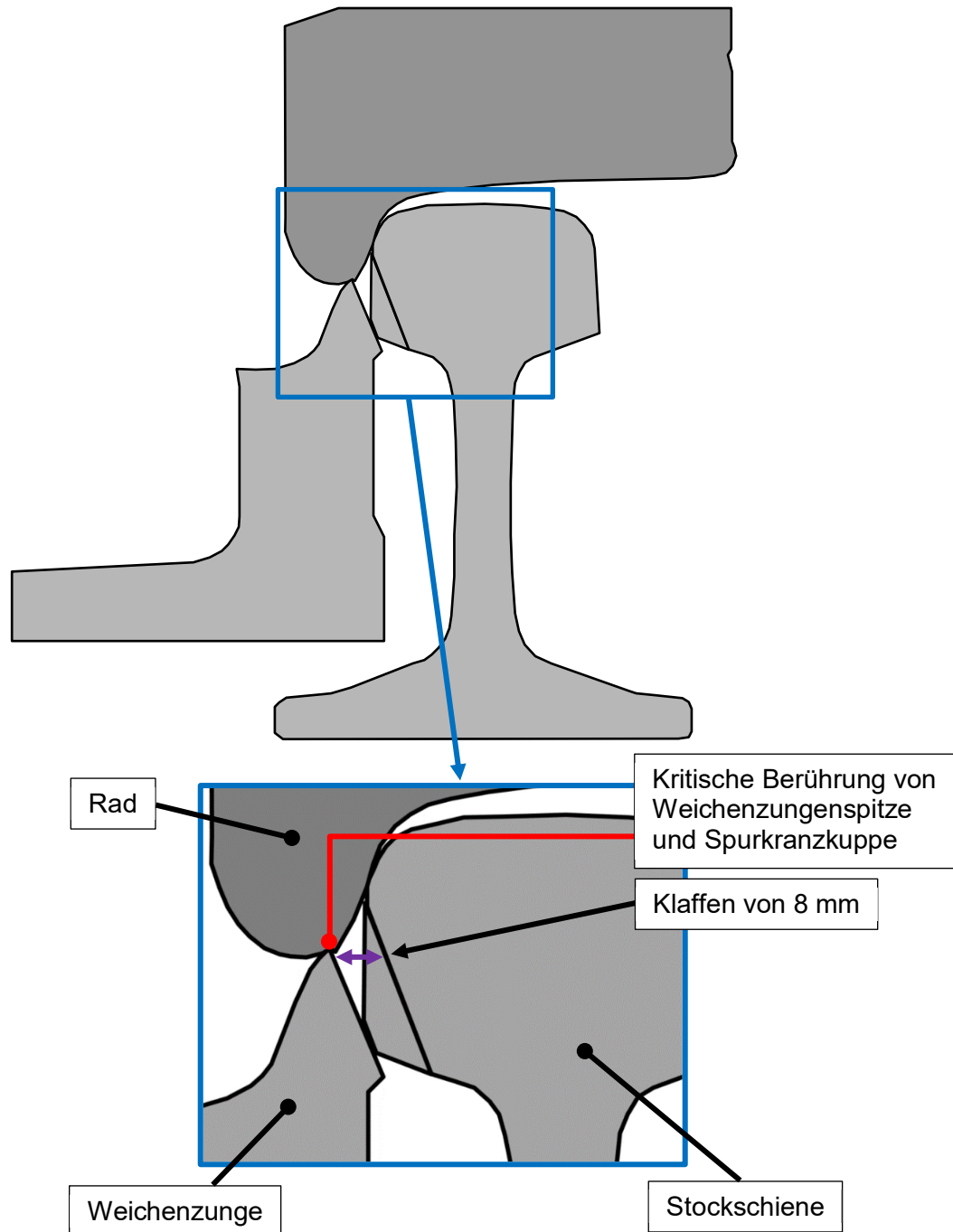
Bei der dynamischen Messung des Klaffmasses  $q_\epsilon$  zwischen Weichenzunge und Stockschiene unter betrieblicher Belastung zeigten sich unerwartet hohe Werte von bis zu 10 mm.

Die geometrische Betrachtung des Kontakts zwischen Rad und Schiene zeigte, dass ein Klaffmass  $q_\epsilon$  von 8 mm für die Entgleisungssicherheit auch bei nicht verschlissenen Schienen- oder Radprofilen bereits kritisch ist. Von den fünf dynamischen Messungen während der Überfahrt der Weiche durch einen Mehrsystemtriebzug vom Typ ETR 610 waren bei drei Fahrten die Werte für das Klaffmass  $q_\epsilon$  grösser als 8 mm.

Die Ergebnisse der laufdynamischen Simulation und der diese begleitenden geometrischen Betrachtung passen unter den folgenden Voraussetzungen mit den festgestellten Spuren am Unfallort und am Fahrzeug überein:

- Wenn eine Hemmung der Querfederung berücksichtigt wird, was eine leicht erhöhte Seitenführungskraft ergibt, und
- das vorhandene, verschlissene Radprofil einbezogen wird und
- beim Befahren der Weiche ein Klaffmass  $q_\epsilon$  zwischen Stockschiene und Weichenzungenspitze von  $\geq 8$  mm besteht und
- der Reibwert zwischen der trockenen Spurkranzflanke und der trockenen Schienenflanke mit  $\mu = 0.6$  angenommen wird.

Unter diesen realistischen Annahmen traf das Radprofil mit dem flachen Bereich der Spurkranzkuppe auf die Weichenzunge. Somit konnte das Rad ohne signifikante Radquerkraft und ohne Zurückdrücken der Weichenzunge auf die Weichenzunge aufsteigen und entgleisen (Abbildung 52).



**Abbildung 52:** Kritische Kontaktsituation zwischen Rad und Schiene im Bereich der Weichenzungenspitze.

Obschon die Vorschriften und Toleranzen für die Instandhaltung sowohl für das Fahrzeug wie auch für die Fahrbahn befolgt wurden, ergab sich eine kritische Kontaktsituation von der Weichenzungenspitze zur Spurkranzkuppe, die zur Entgleisung des Mehrsystemtriebzugs vom Typ ETR 610 führte.

## 2.6 Nicht weiter verfolgte Aspekte

Die nachfolgenden Aspekte wurden im Laufe der Untersuchung als vernachlässigbar oder nicht relevant beurteilt:

### Infrastruktur

- Die Sicherungsanlage
- Das Überschreiten der Spurweite auf Höhe der Weichenzungenspitze
- Die Lockerung der Keilklemmplatte auf Höhe des Weichenverschlusses
- Die Verwindung und Einsenkung der Fahrbahn im Bereich der Eingleisungsstelle

### Fahrzeug

- Die Sicherheitseinrichtungen
- Die nicht auf ihrer vollständigen Länge genutzten Längsmittnahmen

### **3 Schlussfolgerungen**

#### **3.1 Befunde**

##### **3.1.1 Technische Aspekte**

- Der Defekt an der Querfederung führte zu einer eingeschränkten Funktion, was zu einer Erhöhung der Radquerkraft führte.
- Die Verschleissform des erstentgleisten Rades brachte die Spurkranzkuppe näher an die Weichenzungenspitze.
- Trotz Spurkranzschmierung war die Spurkranzflanke des erstentgleisten Rades ohne Schmierfilm.
- Die Schienenfahrkante und die Schienenflanke der Stockschiene im Bogen vor und im Bereich der Weichenzunge wiesen keinen Schmierfilm auf.
- Ohne Schmierfilm erhöhte sich der Reibwert zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke bis auf  $\mu = 0.6$ .
- Begünstigt durch die Verschlussbauart der Weiche der Bauart Jüdel entstand bei der Überfahrt über die versteilte Doppelkreuzungsweiche ein Klaffen zwischen der Stockschiene und der Weichenzungenspitze, das gegenüber den anerkannten Regeln der Technik unerwartet grösser ausfiel.
- Das unerwartet grosse Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge und der erhöhte Reibwert zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke erlaubten eine geometrische Kontaktsituation, bei der das entgleiste Rad über die Weichenzungenoberkante auflief und im weiteren Verlauf der Fahrt zwischen Zunge und Stockschiene herabfiel.
- Die pfeilerlose Bauweise der Langensandbrücke verhinderte einen noch grösseren Schaden.

##### **3.1.2 Organisatorische Aspekte**

Die Kontrollen und die Instandhaltung des Fahrzeugs wie auch der Fahrbahn erfolgten nach den vorhandenen Vorschriften und Grenzwerten.

##### **3.1.3 Betriebliche oder prozessuale Aspekte**

- Der benutzte Fahrweg war regulär und zulässig.
- Die gefahrene Geschwindigkeit allein führte nicht zu einem entgleisungskritischen Zustand.

##### **3.1.4 Menschliche Aspekte**

Menschliche Handlungen und Entscheide erfolgten nach den anerkannten Regeln der Technik und den bestehenden Vorschriften.



### 3.2 Ursachen

Die Entgleisung eines Eurocity-Zuges am 22. März 2017 in Luzern auf einer versetzten Doppelkreuzungsweiche ist auf das Aufsteigen des Spurkranzes auf die Weichenzungenoberkante zurückzuführen.

Das Zusammenwirken von verschiedenen Faktoren hat dazu geführt, dass die Spurkranzkuppe in einem kritischen Bereich auf die Oberkante der Weichenzunge traf:

Die Verschleissform des Spurkranzes führte zu einem näheren Heranrücken der Spurkranzkuppe gegen die Weichenzungenspitze. Durch das über den bisher bekannten Werten liegende Klaffen der Weichenzunge stand die Weichenzungenspitze zudem nahe am kritischen Bereich der Spurkranzkuppe. Der mangelnde Schmierfilm zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke führte zur Erhöhung des Reibwerts. Zusammen mit einer erhöhten Querkraft infolge des Defekts an der Querfederung des erstentgleisten Drehgestells erfolgte eine erhöhte Radanhebung während der Bogenfahrt. Alle diese Faktoren trugen dazu bei, dass die Spurkranzkuppe so positioniert wurde, dass das Rad auf die Weichenzungenoberkante aufsteigen konnte. Zusätzlich war die Spurkranzkuppe durch eine Aufwalzung etwas flacher, was das Aufsteigen ohne wesentliches Zurückdrücken der Weichenzunge begünstigte.

## 4 Sicherheitsempfehlungen und -hinweise 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 Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge

##### 4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Mit statischen Messungen mittels einer Formlehre wird im Bereich der Weichenzungenspitze das Funktionsmass  $q_{Wz}$  kontrolliert. Daraus wird nach den anerkannten Regeln der Technik abgeleitet, dass das Klaffmass  $q_e$  einen akzeptablen Wert nicht überschreitet. Im Rahmen der Untersuchungen wurde erkannt, dass bei dynamischen Messungen das Klaffmass  $q_e$  grösser als bisher angenommen ausfallen kann. Unter betrieblicher Belastung entsteht eine geometrische Kontaktsituation, bei der bereits ein unverschlissenes Radprofil an der Weichenzunge aufsteigen und entgleisen kann. Dies dann, wenn das Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge zu gross ausfällt.

##### 4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 139

Das BAV sollte Massnahmen und Vorgaben für ein Klaffen zwischen Stockschiene und Weichenzunge prüfen und sicherstellen, dass das Klaffmass  $q_e$  unter dem fahrenden Zug derart beschränkt bleibt, dass es nicht zu einem entgleisungskritischen Zustand führt.

#### 4.1.2 **Schmierung der Schienenflanke in fahrdynamisch anspruchsvollen Weichenbereichen**

##### 4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Mit Messungen und verschiedenen Simulationen wurde festgestellt, dass die Reibung zwischen Spurkranzflanke und Schienenflanke Werte bis zu 0.6 erreichen kann. Das führt zu signifikanter Radanhebung bei Bogenfahrt, was wiederum in fahrdynamisch anspruchsvollen Gleisgeometrien, wie sie in der Schweiz in einigen Fahrstrassen über Weichen vorhanden sind, zu einem entgleisungskritischen Zustand führen kann – und auch schon führte. Das praktizierte Schmieren der Schienenflanke über die Spurkranzschmierung von Triebfahrzeugen/Triebwagen stellt die Schmierung in kritischen Gleisgeometrien nicht sicher.

Die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität (TSI) berücksichtigen die anspruchsvollen Gleisgeometrien, die im schweizerischen Schienennetz vorhanden sind, nur untergeordnet. Deshalb werden die Fahrzeuge immer weniger in der Lage sein, einen genügenden Beitrag zur Schmierung der Schienenflanke leisten zu können. Zur Zeit wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeuge auch unter trockenen Bedingungen entgleisungssicher betrieben werden müssen. Allgemein wird dazu von einem Reibwert von 0.4 ausgegangen. Verschiedene Untersuchungen von Entgleisungen im In- wie auch im Ausland haben aber gezeigt, dass dieser Wert bei trockenen Bedingungen ohne Schmierung der Schienenflanke oder Spurkranzflanke bis zu einer entgleisungskritischen Situation überschritten wird.

##### 4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 140

Das BAV sollte Massnahmen und Vorgaben prüfen, die sicherstellen, dass in Bereichen mit fahrdynamisch anspruchsvoller Gleisgeometrie jederzeit die Schmierung der Schienenflanke sichergestellt ist.

#### 4.2 **Sicherheitshinweise**

Keine

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

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Die SBB haben das Ereignis analysiert und folgende Massnahmen getroffen:

- Bestandsaufnahme der verstellten Doppelkreuzungsweichen mit gleicher betrieblicher Nutzung.
- Vier verstellte Doppelkreuzungsweichen wurden mit einem Verschluss anderer Bauart ausgerüstet, der ein übermässiges Klaffen verhindert.
- Die Verschlüsse weiterer 41 verstellter Doppelkreuzungsweichen werden laufend umgebaut.
- Die Weichenkontrollen werden intensiviert und es wird ein Messverfahren entwickelt, das dynamische Messungen des Klaffmasses während der Überfahrt erlaubt.

- Die vier Doppelkreuzungsweichen mit Bogeneinlauf, welche regelmässig von Personenzügen befahren werden, werden mittels neuer Trassegeometrie ohne Bogeneinlauf ersetzt. Dies ist für zwei Weichen in Luzern bereits umgesetzt und für zwei Weichen in Basel für 2019 geplant.
- Es wurden schweizweit zusätzliche Kontrollen auf Anfahrspuren bei verstellten Kreuzungsweichen und einfachen Weichen mit Bogeneinlauf durchgeführt um kritische Weichen zu erkennen.
- Bis Mitte 2019 werden bei allen Doppelkreuzungsweichen mit Bogeneinlauf durchgehende Rippenplatten eingesetzt, um die Stabilität der Stockschiene zu verbessern.
- Es wird eine verbesserte Abstützung der Stockschiene erprobt.

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, 17. Juli 2019

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

# Anlage 1

## Geometrie der Weichenzunge der Doppelkreuzungsweiche 63

