



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST  
Service suisse d'enquête de sécurité SESE  
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI  
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

# **Zwischenbericht der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST**

über den Anprall beim Anfahren an  
eine stehende Komposition

vom 31. Dezember 2020

in Belp (BE)

Reg.-Nr. 2020123101

## Allgemeine Hinweise zu diesem Zwischenbericht

Dieser Zwischenbericht 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 2021) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung. Es ist daher auch nicht Zweck dieses Zwischenberichts, Schuld- und Haftungsfragen zu klären.

Alle Personenbezeichnungen in diesem Bericht sind in der männlichen Form gehalten und gelten für die die Funktion ausübende Person, ungeachtet ihres Geschlechts.

## 1 Sachverhalt

### 1.1 Ablauf des Ereignisses

Am Abend des 31. Dezember 2020 um 16:43 Uhr hielt ein Personenzug (Zugskomposition 1) bei der Haltestelle Belp Steinbach. Nachdem in Belp eine andere Zugskomposition (Zugskomposition 2) von Gleis 1 nach Gleis 2 umgestellt wurde, ging das Einfahrsignal auf Fahrt mit der Signalisation einer besetzten Einfahrt. Die Zugskomposition 1 von Belp Steinbach sollte im Gleis 2 in Belp an die dort aufgestellte Zugskomposition 2 anfahren.

Der Lokführer von Zugskomposition 1 beschleunigte seinen Zug von Belp Steinbach auf 40 km/h. Rund 230 m vor der aufgestellten Komposition 2 leitete er eine Bremsung mit der elektrodynamischen Bremse ein. Aufgrund ungenügender Bremswirkung leitete der Lokführer rund 160 m vor der stehenden Komposition eine Schnellbremsung ein. Die Bremswirkung blieb jedoch weiterhin ungenügend und die Zugskomposition 1 prallte mit 23 km/h auf die stehende Komposition 2.

Es wurden keine Personen verletzt. Die stehende Komposition 2 entgleiste mit einer Achse. An beiden Kompositionen entstanden diverse Schäden.



**Abbildung 1:** Verkeilte Kompositionen nach dem Anprall.

## 1.2 Beschreibung Triebzug RABe 515

### 1.2.1 Allgemein

Bei den involvierten Zugkompositionen handelte es sich um Triebzüge des Typs RABe 515.

Ein solcher Triebzug besteht aus beidseitig je einem Endwagen (EW) und zwei Mittelwagen (MW). Er ist 103 m lang und 220 t schwer.

### 1.2.2 Vereinfachte Beschreibung Leittechnik

Die Leittechnik des Triebzugs basiert auf dem modularen Selectron Steuerungssystem. Die Fahrzeugleitgeräte (FLG) kommunizieren über Ethernet- und CAN-BUS mit den im Fahrzeug dezentral verteilten anderen Geräten, wie Antriebsleitgeräte (Stromrichter) oder Wagenleitgeräten (Übersicht der Leittechnik in Anlage 1).

Zwischen den Tests für die Typenzulassung (BAV 17.12.2013) und dem heutigen Stand wurde die Software bei den diversen Teilen der Fahrzeugsteuerung mehrmals angepasst.

### 1.2.3 Vereinfachte Beschreibung Bremskonzept

Der Triebzug verfügt über drei Bremssysteme: eine elektrische Bremse, eine elektropneumatische Bremse (EP) und eine indirekte Bremse.

Die elektrische Bremse wirkt auf die vier Motordrehgestelle (EW 100 und EW 600). Reicht die elektrische Bremskraft nicht aus, wird die elektropneumatische Bremse der Motor- und der Laufdrehgestelle (EW 200 und EW 400) durch die Fahrzeugrespektive Wagenleitgeräte und einen elektropneumatischen Regler (EP-Regler) angesteuert.

Die indirekte Bremse wird über eine Druckabsenkung der Hauptluftleitung gesteuert.

Die Mittelwagen verfügen auf jeder Laufachse über drei Brems scheiben. Die Motordrehgestelle verfügen über zwei Brems scheiben pro Triebachse.

Jeder Wagen verfügt über ein unabhängiges Gleitschutzsystem, das bei ungünstiger Adhäsion (Blockierung einer Achse) den Druck auf den Bremszylinder reguliert, bis die Achsgeschwindigkeit wieder stabilisiert wird.

Alle Bremssysteme verfügen über eine Gleitschutzfunktion. Im Fall der elektrischen Bremse ist diese in die Fahrzeug- und Stromrichtersteuerung integriert.



**Abbildung 2:** Verteilung der elektrischen Bremse und der pneumatischen Bremse.

Bei der erreichten Geschwindigkeit von 40 km/h würde ein Bremsverhältnis von 135 % erwartet.

### 1.2.4 Vereinfachte Beschreibung Bremsbedienung

Eine Bremsung wird mit dem Fahr- / Bremsschalter durchgeführt. Sie dient der Geschwindigkeitsreduktion auf die vorgegebene Geschwindigkeit oder bis zum Stillstand. Durch Kippen des Bremsschalters in die Endstellung wird die Schnellbremsung aktiviert. Dabei wirkt die elektrische Bremskraft weiterhin.

Bei der Betätigung der Notaus-Schlagtaster wird der Hauptschalter ausgelöst. Dabei wird die elektrische Bremse (E-Bremskraft) automatisch ausgeschaltet. Der Triebzug bremsst dann rein pneumatisch.

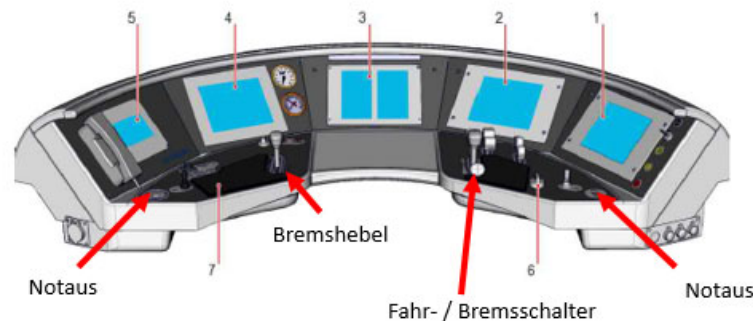


Abbildung 3: Bedienelemente auf dem Führertisch.

## 1.3 Feststellungen

### 1.3.1 Fahr- und Diagnosedaten der Zugskomposition 1

Der Triebzug verfügt in jedem Endwagen über ein Aufzeichnungsgerät. Die Daten wurden ausgelesen und analysiert. Aus der Analyse geht hervor:

- Der Zug beschleunigte auf eine Geschwindigkeit von 40 km/h.
- 224 m vor dem Anprall wurde die elektrodynamische Bremse aktiviert.
- 154 m vor dem Anprall, bei einer Geschwindigkeit von 34 km/h, wurde die EP-Bremse aktiviert.
- 114 m vor dem Anprall, bei einer Geschwindigkeit von 33 km/h, wurde eine Schnellbremsung eingeleitet.
- 44 m vor dem Anprall, bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h, wurde die Notaus-Schlagtaste betätigt.
- Der Aufprall erfolgte mit einer Geschwindigkeit von 23 km/h.
- Die stehende Komposition wurde durch die Aufprallenergie um 7 m zurückgeschoben.
- Die errechnete Bremsverzögerung betrug  $-0.2 \text{ m/s}^2$ .
- Das Gleitschutzsystem regulierte die Bremssysteme häufig und in hohem Masse.
- Die beiden Endwagen (EW 100 und EW 600) zeigten hinsichtlich Einwirkung des Gleitschutzes annähernd dasselbe Verhalten.

### 1.3.2 Ähnliche Ereignisse

Aufgrund des Verhaltens des Triebzugs beim Ereignis in Belp analysierte die BLS weitere vergangene Vorkommnisse nochmals. Mindestens vier weitere Ereignisse zeigten auch ein auffälliges Verhalten eines Triebzugs vom Typ RABe 515 während des Bremsens. Allen Ereignissen war gemeinsam:

- Die Witterung war nasskalt, mit Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt.
- Die Schnellbremsung wurde bei gefahrenen Geschwindigkeiten <40 km/h eingeleitet.
- Die Verzögerung erreichte Werte von maximal  $-0.8 \text{ m/s}^2$ .

Die jüngste Fall ereignete sich am 20. Januar 2021 in Bern-Liebefeld mit einem Triebzug vom Typ RABe 515. Bei der Einfahrt in den Bahnhof stellte der Lokführer eine ungenügende Bremsleistung fest. Trotz Einleitung einer Schnellbremsung stand der Zug erst nach dem Peron still. Die mittlere Bremsverzögerung betrug ca.  $-0.8 \text{ m/s}^2$ .

### 1.3.3 Bremsversuche

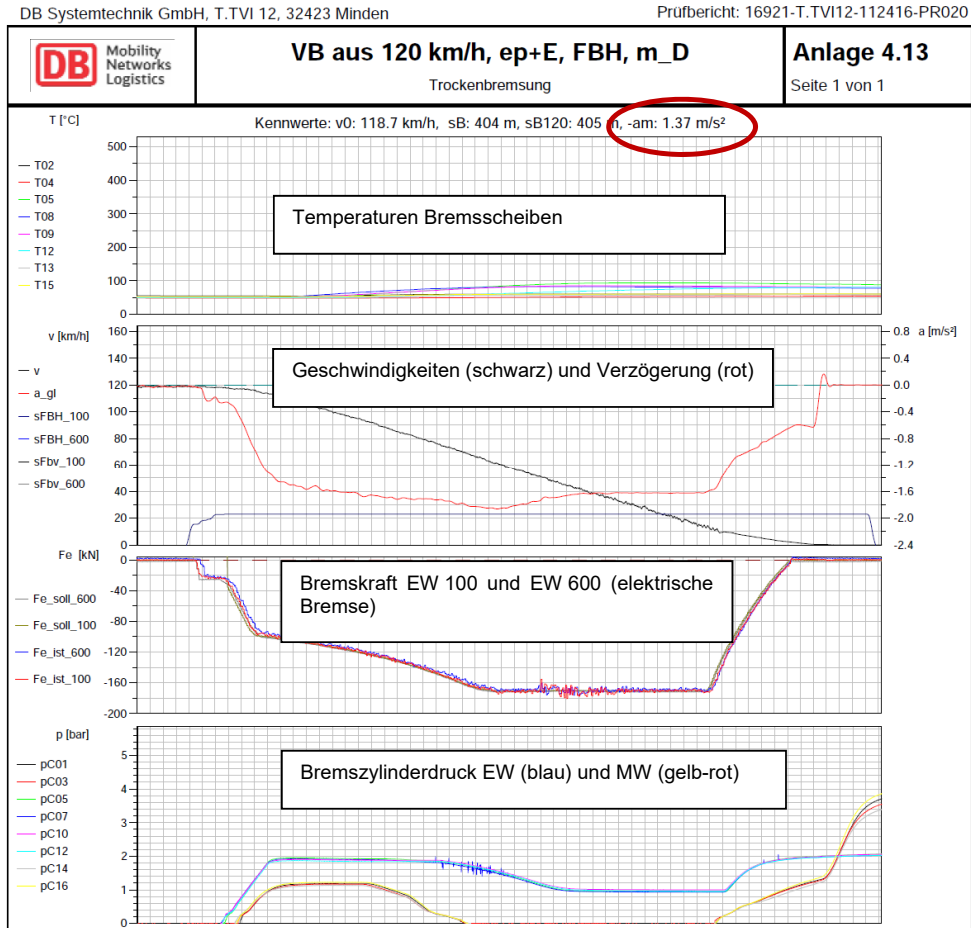
In der Nacht vom 2. auf den 3. Februar führte die BLS in Belp Bremsversuche im Beisein der SUST, des Fahrzeugherstellers und des Gleitschutzherstellers durch mit dem Ziel, die Fahrt des Ereignisses in Belp nachzustellen. Der dabei eingesetzte Triebzug gleichen Typs konnte stets in genügendem Abstand zur Kollisionsstelle angehalten werden. Die Auswertung der Daten zu diesen Versuchsfahrten ist noch nicht abgeschlossen.

Ergänzende Bremsversuche wurden zwischen Belp – Toffen – Belp durchgeführt.

### 1.3.4 Vergleich der Bremsversuche mit den Ergebnissen der Typentests

Die Ergebnisse der Bremsversuche wurden mit den Resultaten des Typentests verglichen.

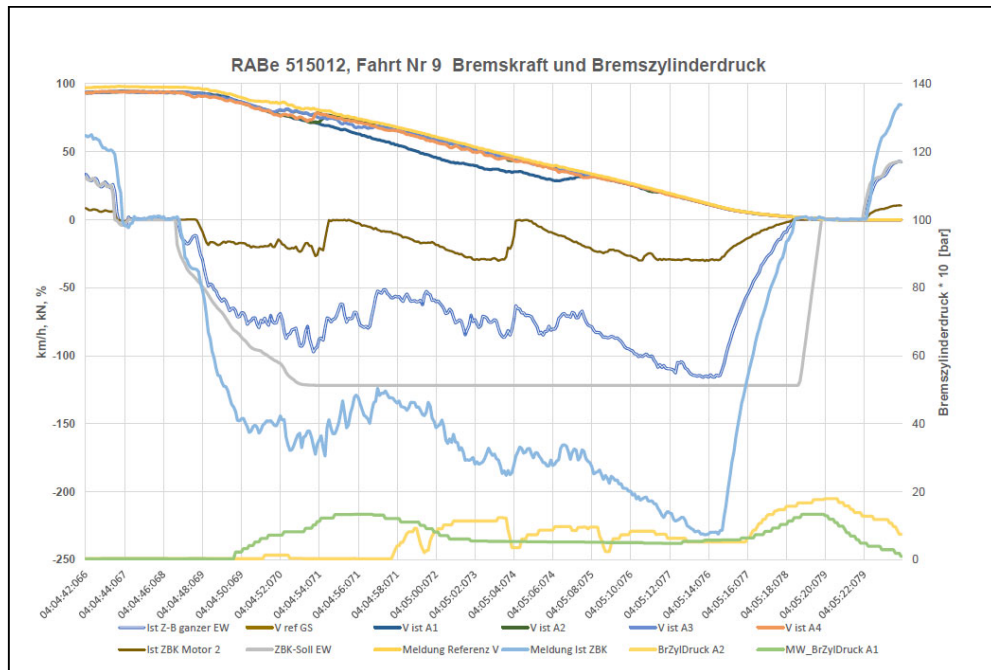
Abbildung 4 zeigt exemplarisch das Verhalten eines Triebzugs von Typ RABe 515, wie es im Rahmen der Typentests festgehalten wurde.



**Abbildung 4:** Verhalten des Triebzugs vom Typ RABe 515 bei einer Vollbremsung aus 120 km/h. Auszug aus dem DB Systemtechnik Typentestbericht vom 18.09.2012.

Sowohl die Bremskräfte der Motordrehgestelle wie auch die Bremszylinderdrücke aller entsprechenden Wagen zeigten synchrone Werte und wiesen keine Schwankungen auf. Die Verzögerung betrug  $-1.37 \text{ m/s}^2$ .

Dieser Bremsversuch wurde bei trockener Schiene durchgeführt.



**Abbildung 5:** Verhalten des RABe 515 012 beim Bremsversuch aus 100 km/h, durchgeführt zwischen Toffen und Belp.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse eines Bremsversuches zwischen Toffen und Belp. Aus Gründen der Lesbarkeit der Grafik wird nur ein Teil der gemessenen Parameter dargestellt:

- Im oberen Bereich der Grafik sind die Geschwindigkeiten der vier Achsen des EW 600 und die Referenzgeschwindigkeit (gelb) dargestellt.
- Die braune Linie zeigt die Motorzugkraft (elektrische Bremse) der Achse 2.
- Die gelbe Linie (unten) zeigt den Bremszylinderdruck des EW 600 (Signal mit Faktor 10 multipliziert, rechte Skala).
- Die grüne Linie zeigt den Bremszylinderdruck des MW 200 (multipliziert mit Faktor 10).
- Die graue Linie zeigt den Sollwert der Bremskraft.
- Die blauen Linien zeigen die Ist-Werte der Bremskraft EW 600 (ein bzw. beide Drehgestelle).

Die Ergebnisse des Bremsversuches, der zwischen Toffen und Belp durchgeführt wurde (Abbildung 5), werden im Folgenden mit denjenigen des Bremsversuches, der im Rahmen des Typentests erfolgte (Abbildung 4), verglichen.

Die Ausgangsgeschwindigkeit bei der Versuchsfahrt Toffen-Belp war ca. 18 km/h tiefer, als bei derjenigen des Typentests. Die Witterung war trocken, es herrschten Temperaturen um 9° C.

Die Ergebnisse der aufgezeichneten Versuchsfahrt sowie deren Vergleich mit dem Typentest zeigen folgendes:

- Beim Typentest entfaltete die elektrische Bremse der Endwagen die volle Wirkung.



- Beim Versuch zwischen Toffen und Belp entfaltete die elektrische Bremse der Endwagen nicht die gemäss Typentest erwartete Wirkung. Der gemessene Bremszylinderdruck beim Mittelwagen MW 200 (grüne Linie) zeigte Werte kleiner als 0.5 bar. Somit lag die Bremsleistung der Mittelwagen deutlich unter den erwarteten Werten.
- Die Schwankungen der elektropneumatischen Bremse des EW 600 führten zu einer Verminderung der Bremswirkung. Solche Schwankungen wurden beim Typentest nicht festgestellt (Abbildung 4).
- Abrupte Schwankungen mit zweimal bis zu null waren bei der elektrischen Bremse sichtbar (braune Linie). Das führte zu einer Reduktion der vorhandenen elektrischen Bremskraft des Fahrzeugs (blaue Linien). Die drei weiteren Motoren zeigten ähnliches Verhalten.
- Die starken Oszillationen und Schwankungen der Ist-Bremskraft deuten auf eine sehr unruhige Regulierung der elektrischen Bremskraft hin.
- Solche Oszillationen und Schwankungen der Ist-Bremskraft wurden beim Typentest nicht festgestellt.

## 2 Analyse

- Die Bremsversuche zeigten, dass beim Anprall in Belp am 31.12.2020 jede einzelne Bedienhandlung des Lokführers für sich allein den Triebzug vor dem Kollisionspunkt zum Stillstand gebracht hätte. Die Bremsverzögerung erreichte jedoch lediglich Werte um  $-0.2 \text{ m/s}^2$  und damit ein deutlich kleineres Bremsverhältnis als 135 %. Die Gründe für diese niedrigen Werte sind noch nicht geklärt.
- Bei vergleichbaren Umständen wurden beim Typentest eine berechnete mittlere Bremsverzögerung von  $-1.37 \text{ m/s}^2$  und bei den untersuchten Fällen eine maximale mittlere Bremsverzögerung von ca.  $-0.8 \text{ m/s}^2$  ermittelt.
- Die starken Oszillationen und Schwankungen der Ist-Bremskraft aller untersuchten Fälle deuten auf eine sehr unruhige Regulierung der elektrischen Bremskraft hin.
- Bei Einleitung einer Schellbremsung müssen die elektrische Bremse und die pneumatische Bremse die volle Leistung aufbringen können. Da die Bremsregulierung einen optimalen Einsatz dieser Bremssysteme behinderte, resultierte eine ungenügende mittlere Bremsverzögerung des Triebzuges.
- Mit derart geringen mittleren Bremsverzögerungen, wie sie bei einzelnen Vorfällen in der Vergangenheit und im Rahmen der Bremsversuche festgestellt wurden, erreichen die Triebzüge vom Typ RABe 515 die Bremsleistung, die bei der Zulassung bestimmt wurde, nicht in jedem Fall.
- Mit dem gezeigten Verhalten der Triebzüge vom Typ RABe 515 kann beispielsweise bei einer durch das Zugsicherungssystem ausgelösten Zwangsbremse (Bremskurvenüberwachung) nicht in jedem Fall sichergestellt werden, dass der Zug vor dem Gefahrenpunkt zum Stehen kommt.

### 3 Zwischenbericht

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Februar 2015 (SR 742.161) bezüglich möglichen Sofortmassnahmen folgende Regelung vor:

*Art. 44 Zwischenbericht*

*Der Untersuchungsdienst teilt wesentliche Untersuchungsergebnisse, die für die Verhütung von Zwischenfällen von Bedeutung sind und Sofortmassnahmen erfordern könnten, dem zuständigen Departement und dem zuständigen Bundesamt in einem Zwischenbericht mit den entsprechenden Empfehlungen unverzüglich mit.*

Aufgrund der laufenden Untersuchung und den bisher daraus gewonnenen Ergebnissen ist die SUST zum Schluss gekommen, dass Sofortmassnahmen notwendig sein könnten. Sie erstellt deshalb den vorliegenden Zwischenbericht zuhanden der zuständigen Behörden und des Departements.

Die vorliegenden Ergebnisse sind nicht abschliessend und verlangen weitergehende Untersuchungen zu Umständen und Ursachen des Zwischenfalls. Detaillierte Angaben zum Unfallhergang und den Ursachen werden im Schlussbericht dargelegt.

## 4 Sicherheitsempfehlungen

### 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 Bremsleistung Triebzüge RABe 515

##### 4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Die vorläufigen Ergebnisse der Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die Triebzüge vom Typ RABe 515 nicht in jedem Fall die Bremsleistung erreichen, die bei der Typenzulassung bestimmt wurde. Damit ist nicht sichergestellt, dass beispielsweise bei einer durch das Zugsicherungssystem ausgelösten Zwangsbremse der Zug in jedem Fall vor dem Gefahrenpunkt zum Stehen kommt.

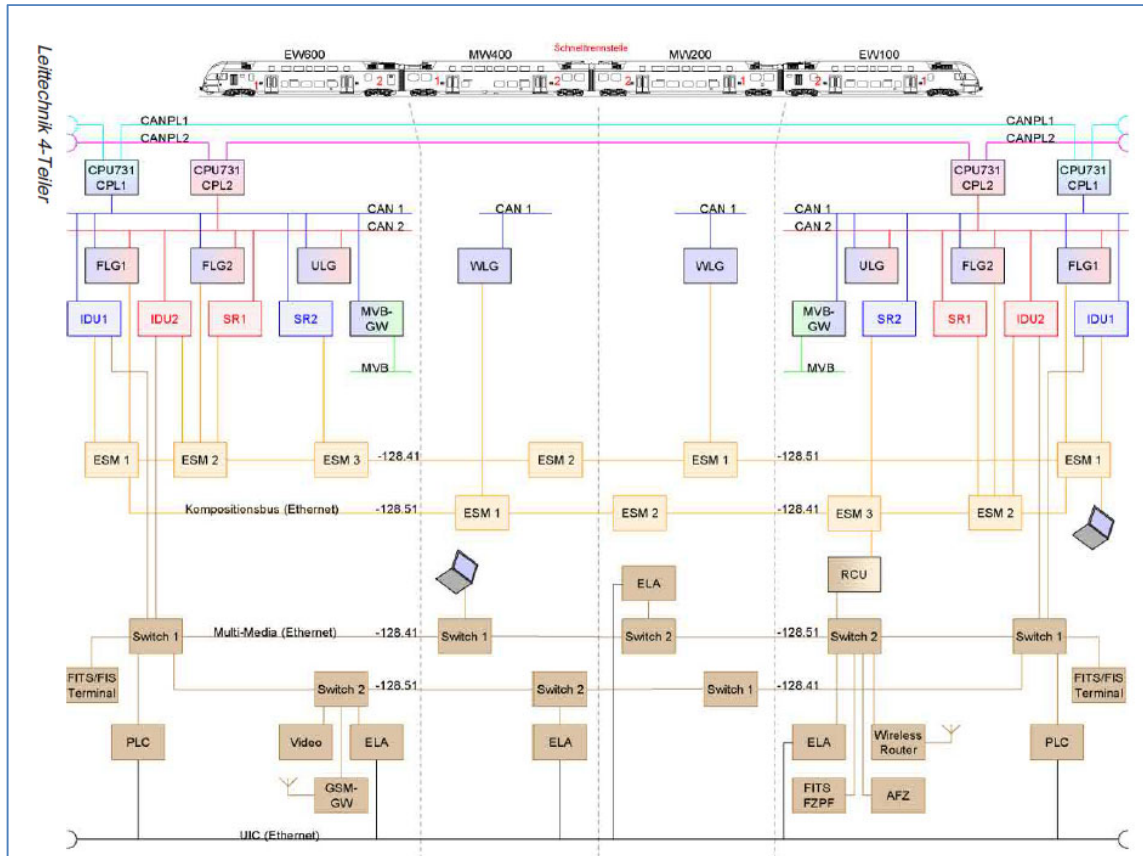
##### 4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 158

Die SUST empfiehlt dem BAV, die Betreiber der Triebzüge vom Typ RABe 515 aufzufordern, die Bremsleistung zu überprüfen und so zu korrigieren, dass die Triebzüge in allen Betriebssituationen die Bremsleistungswerte der Zulassung erreichen können oder andere Massnahmen zu treffen, die einen rechtzeitigen Stillstand gewährleisten können.

Dieser Zwischenbericht 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).

# Anlage 1

## Übersicht Leittechnik



**Abbildung 6:** Übersicht Leittechnik

- Legende:
- FLG: Fahrzeugleitgerät
  - LG: Wagenleitgerät
  - SR: Stromrichter
  - ULG: Überwachungsleitgerät
  - CAN: Bus Can
  - CANPL: Bus Can Powerline (Mehrfachtraktion)
  - CPU: Central Processing Unit