



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

Schlussbericht

der Schweizerischen

Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über die Explosion und den Brand im
Maschinenraum einer Lokomo-
tive

vom 8. August 2016

in Hohtenn (VS)

Reg.-Nr.: 2016080801

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht wurde ausschliesslich zum Zweck der Verhütung von Unfällen und schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen erstellt. Gemäss Artikel 15 des Eisenbahngesetzes (EBG, SR 742.101) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung.

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Überblick.....	5
Untersuchung	5
Kurzdarstellung.....	5
Ursachen	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
1 Sachverhalt.....	7
1.1 Ort des Ereignisses	7
1.2 Vorgeschichte	7
1.3 Ablauf des Ereignisses.....	8
1.4 Schäden.....	9
1.4.1 Personen.....	9
1.4.2 Infrastruktur	9
1.4.3 Fahrzeuge	9
1.4.4 Umwelt	9
1.5 Beteiligte und betroffene Personen	9
1.5.1 Bahnpersonal	9
1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen	9
1.6.1 Infrastrukturbetreiberin	9
1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen.....	9
1.6.3 Fahrzeughalter	9
1.7 Infrastruktur.....	10
1.7.1 Bahnanlage.....	10
1.8 Fahrzeuge.....	10
1.8.1 Zug 48610.....	10
1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung.....	14
1.9.1 Fahrdatenschreiber	14
1.10 Besondere Untersuchungen.....	14
1.10.1 Instandhaltung der Lokomotive Re 425-169	14
1.10.2 Kurzschlüsse bei Stufenschaltern des Typs NO 32/4	14
1.10.3 Explosion des Triebwagens Nr. 52 der MGB	14
1.10.4 Externes Gutachten zur Entstehung des Brandes der Re 425.....	15
2 Analyse.....	16
2.1 Technische Aspekte.....	16
2.1.1 Stufenschalterexplosion	16
2.1.2 Atmosphärische Explosion	16
2.2 Organisatorische Aspekte	17
2.3 Betriebliche Aspekte	17

3	Schlussfolgerungen	18
3.1	Befunde	18
3.1.1	Technische Aspekte	18
3.1.2	Betriebliche Aspekte.....	18
3.2	Ursachen.....	18
4	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen	19
4.1	Sicherheitsempfehlungen.....	19
4.1.1	Vermeidung eines Brandes bei Stufenschalterexplosion	19
4.2	Sicherheitshinweise	19
4.3	Seit dem Unfall getroffene Massnahmen.....	20

Zusammenfassung

Überblick

Verkehrsmittel	Eisenbahn	
Beteiligte Unternehmen		
Eisenbahnverkehrsunternehmen	BLS Cargo AG	
Infrastrukturbetreiberin	BLS Netz AG	
Beteiligte Fahrzeuge	Re 425-169	BLS Cargo AG
Ort	Hohtenn (VS)	
Datum und Zeit	8. August 2016, ca. 20:20 Uhr	

Untersuchung

Der Unfall ereignete sich am 8. August 2016 um ca. 20:20 Uhr. Die Meldung traf am 8. August 2016 um 21:40 Uhr bei der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein.

Nach Löscharbeiten wurde die Lokomotive am 9. August 2016 in die BLS-Werkstatt in Spiez überführt, wo sie durch die SUST inspiziert wurde. Nach der Inspektion der Lokomotive eröffnete die SUST eine Untersuchung.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Fotos der Unfallstelle;
- Bestandsaufnahme in der BLS-Werkstatt Spiez;
- Befragung der Beteiligten;
- Fahrdaten;
- Elektroschemata Lokomotive Re 425;
- Dokumentation des Stufenschalterunterhalts;
- Diverse Auszüge aus dem ERP¹-System der BLS;
- Diverse SUST-interne Aktennotizen betreffend Stufenschalterexplosionen auf den Lokomotiven Re 420 und Re 620 der SBB;
- Untersuchung durch die Ecole des sciences criminelles de l'Université de Lausanne (ESC), beauftragt durch die SUST für den Vorfall in Fiesch vom 8. März 2016 (Schlussbericht Reg.-Nr.: 2016030803);
- Gutachten ESC Lausanne.

Kurzdarstellung

Ein mit einer Doppeltraktion an der Spitze und einer Schiebelokomotive am Schluss bespannter Güterzug fuhr von Domodossola nach Spiez. Kurz vor der Einfahrt in den Bahnhof Hohtenn (VS) kam es in der zweiten Lokomotive zu einer Explosion und der Maschinenraum geriet in Brand.

¹ ERP: Enterprise Resource Planning (englische Bezeichnung)

Ursachen

Die Explosion mit anschliessendem Brand im Maschinenraum der Lokomotive ist auf einen Defekt des Hochspannungsstufenschalters des Typs NO 32/4 zurückzuführen.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht wird eine Sicherheitsempfehlung ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Ort des Ereignisses

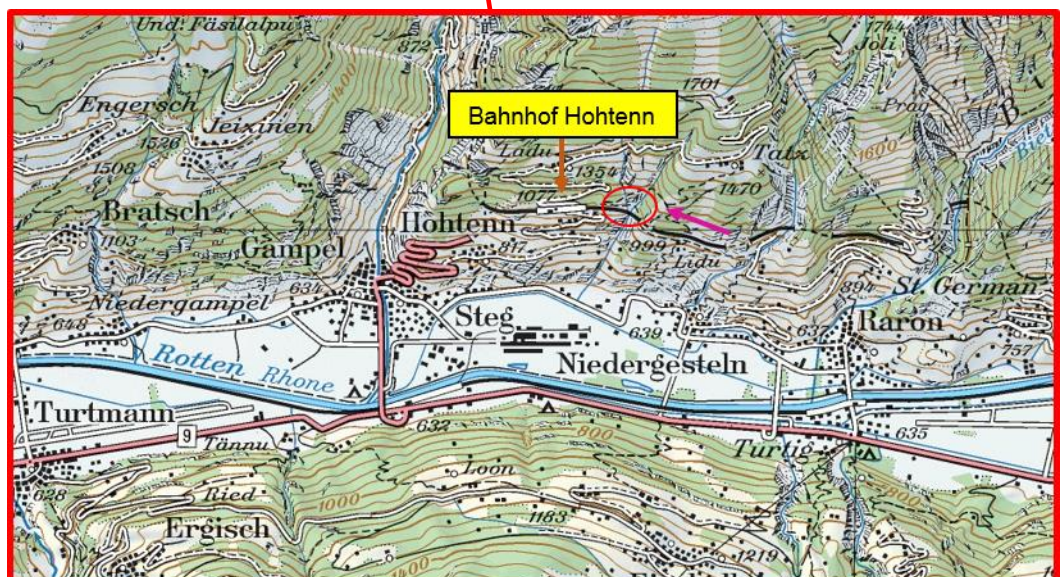
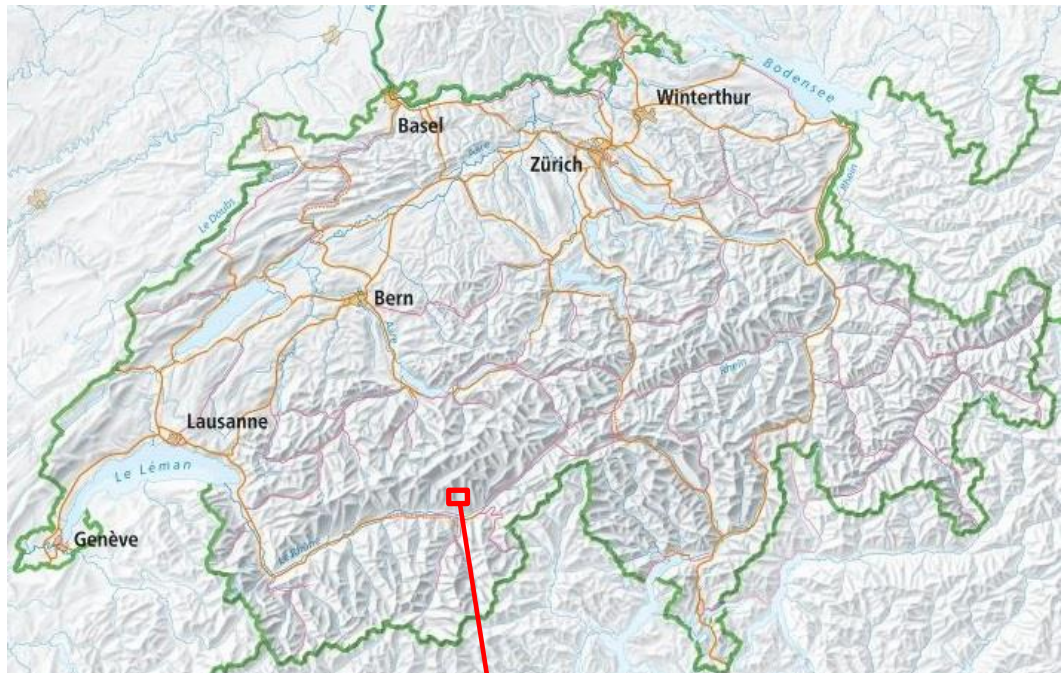


Abbildung 1: Übersichtskarte Lötschbergsüdrampe.
Roter Kreis: Ereignisort. Lila Pfeil: Fahrtrichtung des Zuges.
Quelle der Karten: Bundesamt für Landestopografie.

1.2 Vorgeschichte

Am 8. August 2016 verkehrte der BLS-Güterzug 48610 von Domodossola nach Spiez. An der Spitze des Güterzuges befanden sich zwei BLS-Lokomotiven vom Typ Re 425 (die Spitzen- und die Zuglokomotive) und am Ende des Zuges eine BLS-Lokomotive des Typs Re 465 (die Schiebelokomotive). Der Spitzenlokführer befand sich auf der ersten Lokomotive Re 425 und der zweite auf der Schiebelokomotive am Ende des Zuges. Die Fahrt verlief ohne besondere Vorkommnisse bis zum Ereignisort.

1.3 Ablauf des Ereignisses

Als der Zug 48610 bergwärts auf der Lötschbergsüdrampe kurz vor dem Bahnhof Hohtenn unterwegs war, bemerkte Lokführer 1 (Spitzenlokomotive), dass Hauptschalter² ausgelöst hatten. Er versuchte sie wieder einzuschalten, jedoch blieb der Hauptschalter der Zuglokomotive ausgeschaltet. Er nahm mit Lokführer 2 (Schiebelokomotive Re 465-002) Kontakt auf, in der Absicht, bis zum Bahnhof Hohtenn weiterzufahren, um dort die Störung zu beseitigen. Nach ca. zwei Kilometern, kurz vor dem Einfahrtsignal Hohtenn, kam es zu einer erneuten Auslösung des Hauptschalters der Spitzenlokomotive (Re 425-170) mit anschließender Zwangsbremmung. Die Spitze des Zuges kam kurz vor dem Einfahrtsignal Hohtenn bei Bahn-km 55.400 zum Stillstand. Lokführer 1 begab sich zur Zuglokomotive und stellte Rauchentwicklung fest. Lokführer 2 begab sich zur Spitze des Zuges. Auf dem Weg dorthin stellte er Ölschmieren auf dem Gleisbett fest. Die Lokführer entschieden, in Absprache mit dem Fahrdienstleiter, die Lokomotive mit Rauchentwicklung von der Anhängelast zu entkuppeln und mit der betriebsfähigen Spitzenlokomotive in den Bahnhof Hohtenn zu überführen und die Anhängelast mit der Schiebelokomotive nach Ausserberg zurückzufahren.

In Hohtenn wurde die Spitzenlokomotive Re 425-170 von der Re 425-169 abgekuppelt und aus dem Gefahrenbereich geführt. Die aufgebotene Feuerwehr stellte einen Brand in der Lokomotive fest und löschte diesen.



Abbildung 2: Lokomotive Re 425-169 auf der Unfallstelle (Quelle: BLS).

² Hauptschalter: Schalter im Hauptstromkreis zwischen Stromabnehmer und Transformator, der die Hochspannung in der Lokomotive unterbricht.

1.4 Schäden

1.4.1 Personen

Keine

1.4.2 Infrastruktur

Nebst der Verschmutzung des Schotters durch das Transformatoröl erlitt die Bahninfrastruktur keinen Sachschaden.

1.4.3 Fahrzeuge

Die Lokomotive Re 425-169 erlitt Totalschaden.

1.4.4 Umwelt

Bei der Stufenschalterexplosion ist ein Teil des Transformatoröls ins Schotterbett gelangt.

1.5 Beteiligte und betroffene Personen

1.5.1 Bahnpersonal

1.5.1.1 Lokführer (1) Spitzenlokomotive

Person	Jahrgang 1961 Anstellung bei BLS Cargo AG
Berechtigung	BAV ³ -Ausweis vorhanden

1.5.1.2 Lokführer (2) Schiebelokomotive

Person	Jahrgang 1977 Anstellung bei BLS Cargo AG
Berechtigung	BAV-Ausweis vorhanden

1.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

1.6.1 Infrastrukturbetreiberin

BLS Netz AG, Bern

1.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

BLS Cargo AG, Bern

1.6.3 Fahrzeughalter

Lokomotiven	BLS Cargo AG, Bern
-------------	--------------------

³ BAV: Bundesamt für Verkehr

1.7 Infrastruktur

1.7.1 Bahnanlage

1.7.1.1 Beschreibung

Zwischen Ausserberg und Hohtern weist die doppelspurige Strecke der Lötschbergsüdrampe Steigungen von bis zu 23 ‰ auf.

1.7.1.2 Feststellung

Die Bahnanlage hatte keinen direkten Einfluss auf das Ereignis.

1.8 Fahrzeuge

1.8.1 Zug 48610

1.8.1.1 Beschreibung

Der Zug 48610 war wie folgt zusammengestellt:

- Traktion
 - Spitzenlokomotive Re 425-170 (bedient durch Lokführer 1)
 - Zuglokomotive Re 425-169 (Explosion)
 - Schiebelokomotive Re 465-002 (am Schluss des Zuges, bedient durch Lokführer 2)
- Anhängelast Diverse Güterwagen, 80 Achsen, 1505 t

1.8.1.2 Lokomotive Re 425 der BLS

Die BLS ist noch im Besitz von 28 Lokomotiven des Typs Re 425. Zwanzig davon sind mit dem Zugbeeinflussungssystem ETCS⁴ Level 2 ausgerüstet.

Diese Lokomotiven befördern unter anderem die BLS-Autozüge im Lötschberg-Scheiteltunnel zwischen Kandersteg und Goppenstein.

⁴ ECTS: European Train Control System, Level 2 (Führerstandssignalisierung)



Abbildung 3: Lokomotive der Serie Re 425 der BLS (Quelle: BLS)

1.8.1.2.1 Beschreibung des Haupttransformators und des Hochspannungstufenschalters der Lokomotive

Der Haupttransformator dient hauptsächlich der Speisung der Fahrmotoren mit einer variablen Spannung. Er besteht aus einem Einphasen-Hochspannungsreguliertransformator mit 32 Anzapfungen, der über den Hochspannungstufenschalter (Stufenschalter) des Typs NO 32/4 eine Einphasen-Leistungswicklung speist (Anlage 3, Abbildung 9). Die Fahrmotoren werden direkt von der sekundären Wicklung des Leistungstransformators gespeist. Der Stufenschalter des Typs NO 32/4 reguliert über das Auf- bzw. Abschalten der 32 Stufen die Spannung des Leistungstransformators und somit die Fahrmotorenspannung.

Der Stufenschalter besteht aus einem Wähler mit den 32 Stufen, vier Lastschaltern und einem Überschaltwiderstand. Der Stufenschalter ist direkt am Transformator-kessel angebaut. Der Wähler und die dazugehörigen Lastschalter bilden zusammen eine bauliche Einheit und sind mechanisch gekuppelt. Der Transformator und der Stufenschalter sind öldicht voneinander getrennt. Der Stufenschalter enthält ein Isolierölvolumen von ca. 60 Litern und der Transformator ein solches von ca. 1300 Litern. Beim Isolieröl des Transformators und des Stufenschalters handelt es sich um das Öl Shell Diala S2. Der Stufenschalter schaltet stromlos von Stufe zu Stufe (Kommutierung). Beim Schalten von Stufe zu Stufe führen vier Lastschalter (Anlage 3, Abbildung 9) den Strom über einen Überschaltwiderstand (Bandwiderstand), der bis zu 300 °C heiss werden kann. Der Überschaltwiderstand ist aussen am Haupttransformator in der Nähe des Stufenschalters angebracht.

1.8.1.2.2 Primärstromrelais

1.8.1.2.2.1 Beschreibung

Das Primärstromrelais überwacht den Primärstrom der Lokomotive. Das Relais ist im Führerstand I eingebaut. Wenn der Primärstrom den Wert von 700 Ampere überschreitet, spricht das Relais automatisch an und löst den Hauptschalter der Lokomotive aus. Nach einem Ansprechen muss dieses Relais manuell zurückgestellt werden, bevor der Hauptschalter wieder eingeschaltet werden kann.

1.8.1.2.2.2 Feststellung

Dieses Relais hatte angesprochen und war noch bei der Besichtigung der Lokomotive durch die SUST am nächsten Tag in der BLS-Werkstatt Spiez ausgeschaltet. Dieses Relais wurde ausgebaut und seine Funktion in der Elektronikwerkstatt der BLS überprüft. Es funktionierte einwandfrei.

1.8.1.2.3 Stufenschalter

Der Stufenschalter explodierte. Dabei wurde der Deckel des Stufenschalters zerstört (Abbildung 4).

Brandspuren sind auf den Kontaktsegmenten des Stufenschalters zwischen den Stufen 26–30 sichtbar. Alle anderen Kontaktsegmente wiesen weder Brandspuren noch abnormale Abnutzung auf. Im Gehäuse des Stufenschalters waren keine Kupferrückstände vorhanden.

Die Lastschalter, die über dem Wähler angebracht sind, wurden durch den Maschinenraumbrand zerstört und konnten nicht mehr auf ihre richtige Funktionsweise untersucht werden.

Zwischen den Anschlussbolzen der Stufen 18 und 20 sind Brandspuren vorhanden (Abbildung 5). Der Anschlussbolzen der Stufe 18 ist leicht, derjenige der Stufe 20 stark verbrannt.

Die bei der Explosion freigesetzte Energie beschädigte den Kontaktarmmechanismus des Stufenschalters und schleuderte diesen nach hinten gegen die Hauptwicklung des Reguliertransformators. Dabei wurde die Isolierplatte zwischen Transformator und Wähler zerstört. In der Folge floss der Grossteil der 1300 Liter Transformatorisolierröl durch den zerstörten Stufenschalter in den Maschinenraum und dann teilweise auf das Gleisbett.

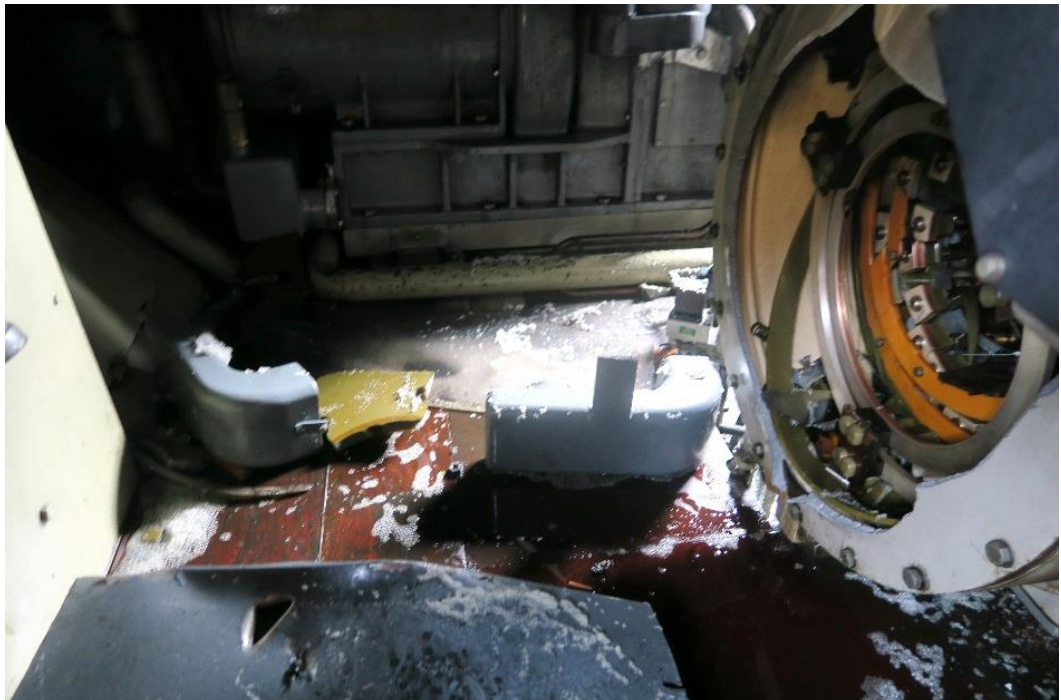


Abbildung 4: Beschädigung des Stufenschalters, Deckel zerstört.



Abbildung 5: Brandspuren auf den Anschlussbolzen des Stufenschalters.

1.8.1.2.4 Überdrucküberwachung des Stufenschalters

Der Stufenschalter ist mit einer Überdrucküberwachung ausgerüstet. Die Überdrucküberwachung spricht bei einem Überdruck im Gehäuse von 0.1 Bar an. Beim Ansprechen der Überwachung löst ein Überdruckschalter den Hauptschalter des Triebfahrzeuges aus und verhindert ein Wiedereinschalten.

Die Überdrucküberwachung hatte angesprochen.

1.8.1.2.5 Fahrzeugkasten

Die Seitenwände des Fahrzeugkastens wurden teilweise nach aussen gedrückt und verformt.

Die grösste Deformierung (ca. 5 cm) befindet sich auf der linken Seite des Kastens gegenüber dem Stufenschalter (Anlage 2, Abbildungen 7–8). Die Mittelfenster links und rechts an den Seitenwänden wurden weggeschleudert. Die Seitenwand rechts weist starke Brandschäden auf (Abbildung 2).

1.8.1.2.6 Maschinenraum

Bei dieser Stufenschalterexplosion wurden 60 Liter Isolieröl in den Maschinenraum weggespritzt beziehungsweise teilweise verdunstet. Das Isolieröl vom Haupttransformator ist dann infolge der Explosion ausgelaufen. Der Überschaltwiderstand wurde ebenfalls verspritzt.

Alle im Maschinenraum eingebauten elektrischen und pneumatischen Komponenten wurden durch den Brand stark beschädigt (Anlage 1, Abbildung 6).

1.9 Auswertung der Datenaufzeichnung

1.9.1 Fahrdatenschreiber

Bei der ersten Hauptschalterauslösung durch die Zuglokomotive Re 425-169 war der Zug mit einer Geschwindigkeit von 74 km/h unterwegs.

1.10 Besondere Untersuchungen

1.10.1 Instandhaltung der Lokomotive Re 425-169

Die letzte Revision R1⁵ wurde am 25.02.2011 durchgeführt.

Die letzten präventiven Instandhaltungsarbeiten am Stufenschalter wurden, gemäss den Vorschriften des Herstellers, am 5. April 2016 in der BLS-Werkstatt in Spiez durchgeführt.

1.10.2 Kurzschlüsse bei Stufenschaltern des Typs NO 32/4

Bei den Lokomotiven des Typs Re 420 und Re 620 der SBB sind Kurzschlüsse im Stufenschalter des Typ NO 32/4 bekannte Ereignisse.

Bei der SBB sind zurzeit ca. 320 Lokomotiven mit einem Stufenschalter des Typs NO 32/4 im Betrieb.

In den letzten fünf Jahren ereigneten sich jährlich durchschnittlich 10 bis 20 Kurzschlüsse in Stufenschaltern, davon ein Drittel mit einem Bruch des Stufenschalterdeckels.

Jeder Kurzschluss wird bei der SBB intern untersucht. Gründe für die Kurzschlüsse können Instandhaltungsmängel, Materialmängel oder Überspannungen im Haupttransformator sein. Normalerweise führen Kurzschlüsse zu keinem Brand und werden deswegen von der SUST nicht untersucht. Gewisse Kurzschlüsse erzeugen einen starken Überdruck im Stufenschalter, der zur Zerstörung des Stufenschalterdeckels führt. In diesen Fällen wird der Maschinenraum durch das Isolieröl verschmutzt. Solche Ereignisse werden als Stufenschalterexplosionen bezeichnet.

Brände können unter gewissen Umständen entstehen, wenn unmittelbar nach einer Stufenschalterexplosion ein Lichtbogen im Maschinenraum erzeugt wird.

Die SUST hat seit 2006 mehrere Stufenschalterexplosionen bei den Lokomotiven der Serie Re 420 und Re 620 der SBB untersucht.

Zu einem Brand nach einer Stufenschalterexplosion ist es sehr selten gekommen. Die Schäden beschränkten sich meist auf den Stufenschalter selber ohne Beschädigung der Gehäuse und ohne Ölverluste.

Obwohl die Lokomotiven Re 425 der BLS mit dem gleichen Stufenschaltertyp NO 32/4 ausgerüstet sind, waren sie von Stufenschalterexplosionen weniger betroffen und die seltenen Fälle konnten auf Instandhaltungs- oder Materialmängel zurückgeführt werden.

1.10.3 Explosion des Triebwagens Nr. 52 der MGB

Am 8. März 2016 ereignete sich im Triebwagen Nr. 52 der MGB (Matterhorn-Gotthard-Bahn) eine atmosphärische Explosion im Gepäckraum, die wie bei der Re 425-169 der BLS eine starke Verformung der Seitenwände des Triebwagens

⁵ R1: Revision zur Gewährleistung der Sicherheit

verursachte. Die SUST untersuchte dieses Ereignis (Schlussbericht Reg.-Nr.: 2016030803).

Bei dieser Untersuchung hat die SUST ein Gutachten bei der Ecole des sciences criminelles de l'Université de Lausanne (ESC) in Auftrag gegeben.

Die Explosion im Maschinenraum des Triebwagens Deh 4/4 Nr. 52 war zurückzuführen auf verdunstetes Stufenschalterisolierröl aus dem nicht korrekt eingestellten Stufenschalter, das durch einen Lichtbogen beim Öffnen der Motortrennhüpfen gezündet wurde.

1.10.4 Externes Gutachten zur Entstehung des Brandes der Re 425

1.10.4.1 Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre

Um einen Brennstoff in Form von Aerosol oder Gas durch eine Hitzequelle (Lichtbogen oder Flamme) entzünden zu können, muss die Konzentration des Brennstoffes zwischen einem unteren und einem oberen Limit der Verbrennungsbedingungen liegen.

Produkt	unteres–oberes Verbrennungs-limit	Selbstentzündungs-temperatur
Isolieröl Shell Diala S2	1–10 %	> 320 °C
Wasserstoff	4.0–76.0 %	500-571 °C
Acetylen	2.5–100 %	305 °C
Äthylen	2.7–36.0 %	490 °C

Die Bildung eines Aerosols kann entstehen durch die Umwandlung des Isolieröls durch den generierten Lichtbogen bei einem Kurzschluss im Stufenschalter oder beim Kontakt des Isolieröls mit einer Wärmequelle.

Bei einer Stufenschalterexplosion werden verschiedene Substanzen erzeugt und im Maschinenraum verteilt. Bei diesen Substanzen handelt es sich um Öldampf und Aerosolpartikel aus dem Isolieröl sowie verschiedene Gase, die bei der Ölzerersetzung gebildet werden. Diese Substanzen, vermischt mit Luft, bilden bei einer bestimmten Konzentration eine explosionsfähige Atmosphäre, die durch verschiedene mögliche Zündquellen zu einer atmosphärischen Explosion führen können.

1.10.4.2 Mögliche Zündquellen im Maschinenraum

Im Maschinenraum können folgende Zündquellen vorhanden sein:

- Ein Lichtbogen, generiert durch den Kurzschluss im Stufenschalter;
- Ein Lichtbogen, generiert durch eine Schaltung eines Relais oder eines Schützes im Steuerstromkreis der Lokomotive;
- Selbstzündung eines Aerosols durch eine Wärmequelle.

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

Auf der Grundlage des Ablaufs und des Schadenbildes kann davon ausgegangen werden, dass die zwei folgenden Ereignisse nacheinander aufgetreten sind:

- Die Stufenschalterexplosion des Hochspannungsstufenschalters Typ NO 32/4;
- Die atmosphärische Explosion im Maschinenraum mit Brandfolge.

2.1.1 Stufenschalterexplosion

Die Kontaktbrandspuren im Bereich der Stufen 26–30 im Stufenschalter deuten darauf hin, dass der Kurzschluss auf einen internen Defekt des Stufenschalters zurückzuführen ist. Der Umfang der Schäden im Stufenschalter verhinderte, die genaue Ursache der Stufenschalterexplosion zu klären.

Die durch die Kurzschlussleistung freigesetzte Energie im Stufenschalter führte zur Zerstörung des Stufenschalterdeckels und zum Verspritzen und Verdunsten des Stufenschalter-Isolieröls im Maschinenraum.

Die vorhandene Stufenschalterüberwachung (Überdruckschalter) kann ausschliesslich einen Überdruck im Gehäuse des Stufenschalters detektieren. Sie kann eine Explosion nicht vermeiden. Bei Unregelmässigkeiten im Stufenschalter treten jedoch meistens zuerst kleinere Überdrücke auf (z. B. wenn ein Funke beim Übergang von einer Stufe zur anderen auftritt), die das Ansprechen der Stufenschalterüberwachung bewirken und damit eine Explosion verhindern.

2.1.2 Atmosphärische Explosion

2.1.2.1 Gas- bzw. Aerosolbildung im Maschinenraum

Bei der Zerstörung des Stufenschalterdeckels wurde das Isolieröl im ganzen Maschinenraum und somit auch gegen den am Transformatorgehäuse eingebauten Überschaltwiderstand verspritzt. Während des Betriebs können solche Bandwiderstände eine Temperatur von bis zu 300 °C aufweisen, was beim Kontakt zwischen Öl und dem heissen Bandwiderstand zum Verdunsten des Isolieröls führt.

Eine Selbstentzündung eines durch Verdunsten entstandenen Aerosols ist jedoch erst ab einer Temperatur über 320 °C möglich.

Wie bei der Untersuchung der ähnlichen Explosion im Triebwagen Nr. 52 der MGB (Schlussbericht Reg.-Nr.: 2016030803, Ziffer 1.10.4) berechnet wurde, braucht es ein kleines Ölvolumen in Form von Flüssigkeit, um ein grosses Volumen von Gas bzw. Aerosol zu bilden.

Da bei der Beschädigung des Stufenschalterdeckels ca. 60 Liter Öl aus dem Stufenschalter ausgeworfen wurden, reichte die ausgelaufene Ölmenge völlig aus, um ein ausreichend explosives Gasgemisch im Maschinenraum zu bilden.

2.1.2.2 Hypothese zur Brandauslösung

In der beschädigten Lokomotive Re 425-169 wurde nach dem Ansprechen des Primärstromrelais sowie dem Ansprechen des Überdruckschalters des Stufenschalters das Wiedereinschalten des Hauptschalters verhindert. Somit wurde der Lokomotive nach der ersten Hauptschalterauslösung keine Hochspannung mehr zugeführt.

Da die höchste Temperatur im Maschinenraum niedriger als die Temperatur der Selbstentzündung eines entstandenen Gases bzw. Aerosols ist, scheint eine Selbstentzündung von Aerosol sehr unwahrscheinlich.

Da in die Lokomotive keine Hochspannung mehr eingespeist wurde, muss für die Zündung der Explosion zwangsläufig ein Funke oder ein Lichtbogen von einer oder mehreren anderen Quellen generiert worden sein.

Wenn die Konzentration des Brennstoffes zwischen einem unteren und einem oberen Limit der Verbrennungsbedingungen liegt, reicht ein Funke, um einen Brennstoff in Form vom Dampf oder Gas entzünden zu können. Die Zündung der Gas-mischung erzeugt eine atmosphärische Explosion.

Die Quelle des Lichtbogens kann in der Lokomotive nicht genau definiert werden. Deswegen sind nachstehend zwei mögliche Hypothesen aufgestellt.

Erste Hypothese: Während der Fahrt blieben bei einem in Vielfachsteuerung fern-gesteuerten Triebfahrzeug mit ausgeschaltetem Hauptschalter der 36-Volt-Gleich-strom-Steuerstromkreis in Betrieb und somit die Mehrheit der Steuerfunktionen er-halten. Folglich konnten bei der Kommutierung von Kontakten der Steuer-stromschütze Funken oder kleine Lichtbögen erzeugt werden.

Ein Funke oder ein Lichtbogen des Steuerstromkreises zündete die Maschinen-raumexplosion. In diesem Fall ist es möglich, dass sich die Explosion im Maschi-nenraum eine gewisse Zeit nach der Stufenschalterexplosion ereignete.

Zweite Hypothese: Bei der Explosion des Stufenschalters wurde der Kontaktarm-mechanismus gegen den Aktivteil des Reguliertransformators geschleudert. Dabei entstand ein Lichtbogen, der die Anschlussbolzen der Stufen 18 und 20 verbrannte (Pkt. 1.8.1.2.3 und Abbildung 5). Auch kurz nach dem Ausschalten des Haupt-schalters kann die im Haupttransformator gespeicherte Energie (Induktivität und Magnetisierung) noch einen starken Lichtbogen erzeugen. In diesem Fall ereig-nete sich die Explosion im Maschinenraum unmittelbar nach der Stufenschalterex-losion und löste den Brand aus.

Die bei der Explosion im Maschinenraum erzeugte Druckwelle verursachte die De-formationen der Kastenwände. Die thermischen Effekte dieser Explosion lösten mit grösster Wahrscheinlichkeit den Brand aus.

2.2 Organisatorische Aspekte

Die letzte präventive Instandhaltung des Stufenschalters wurde vier Monate vor der Explosion nach den Vorgaben durchgeführt. Seit der letzten präventiven In-standhaltung gab es keine Anzeichen von Unregelmässigkeiten am Stufenschal-ter.

2.3 Betriebliche Aspekte

Nach der ersten Hauptschalterauslösung durch die Zuglokomotive handelte Lok-führer 1 richtig und versuchte, den Hauptschalter wieder einzuschalten. Diese Tä-tigkeit blieb erfolglos, weil das Wiedereinschalten des Hauptschalters systembe-dingt verhindert wurde.

Die defekte Lokomotive nach Hochtenn zu überführen und den schweren Güterzug mit der Schiebelokomotive nach Ausserberg zurückzufahren, war angemessen.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Bei der Stufenschalterexplosion wurde der Stufenschalterdeckel zerstört und der ganze Maschinenraum mit Isolieröl verspritzt.
- Die Isolierplatte zwischen dem Stufenschalter und dem Transformator wurde zerstört.
- Im Stufenschalter wurden die Kontaktsegmente der Stufen 26 bis 30 verbrannt.
- Bei der Stufenschalterexplosion wurde der Kontaktarm gegen die Wicklung des Reguliertransformators geschleudert.
- Die Kontaktbolzen 18 und 20 wiesen Kurzschlusspuren auf.
- Das Primärstromrelais und die Überdrucküberwachung des Stufenschalters hatten angesprochen.
- Die Stufenschalterexplosion führte zu einem explosionsfähigen Gasgemisch im Maschinenraum.
- Ein Lichtbogen oder ein Funke zündete das explosionsfähige Gasgemisch, was den Brand auslöste.
- Kastenwände der Lokomotive wurden nach aussen deformiert.

3.1.2 Betriebliche Aspekte

Die Entscheide der beiden Lokführer nach dem Ereignis waren angemessen.

3.2 Ursachen

Die Explosion mit anschliessendem Brand im Maschinenraum der Lokomotive ist auf einen Defekt des Hochspannungsstufenschalters des Typs NO 32/4 zurückzuführen.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) bezüglich Sicherheitsempfehlungen folgende Regelung vor:

„Art. 48 Sicherheitsempfehlungen

¹ Die SUST richtet die Sicherheitsempfehlungen an das zuständige Bundesamt und setzt das zuständige Departement über die Empfehlungen in Kenntnis. Bei dringlichen Sicherheitsproblemen informiert sie umgehend das zuständige Departement. Sie kann zu den Umsetzungsberichten des Bundesamts zuhanden des zuständigen Departements Stellung nehmen.

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

³ Das zuständige Departement kann Aufträge zur Umsetzung von Empfehlungen an das zuständige Bundesamt richten.“

Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Sicherheit im öffentlichen Verkehr anzustreben.

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes unter www.sust.admin.ch und erlaubt so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

4.1.1 Vermeidung eines Brandes bei Stufenschalterexplosion

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Trotz Stufenschalterüberwachung kann eine Beschädigung des Stufenschaltergehäuses durch eine Explosion nicht ausgeschlossen werden. Wenn dabei das Isolieröl des Stufenschalters im Maschinenraum verspritzt wird und durch Ölersetzung ein explosionsfähiges Gasgemisch in Maschinenraum entsteht, reicht eine Zündquelle, um eine weitere Explosion mit Brandfolge auszulösen.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 132

Das BAV sollte die Halter von Triebfahrzeugen mit einem Stufenschalter des Typs NO 32/4 oder Stufenschaltern mit identischem Funktionsprinzip auffordern, Massnahmen zu treffen, die nach einer Stufenschalterexplosion die Entstehung oder Ausbreitung eines Brandes aufgrund der Freisetzung von entflammaren Flüssigkeiten oder Gasen aus Lecks verhindern oder die Auswirkungen reduzieren.

4.2 Sicherheitshinweise

Keine

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Keine

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, 5. April 2018

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

Anlage 1

Maschinenraum



Abbildung 6: Schaden im Maschinenraum.

Anlage 2

Typenzeichnung der Lokomotive Re 425

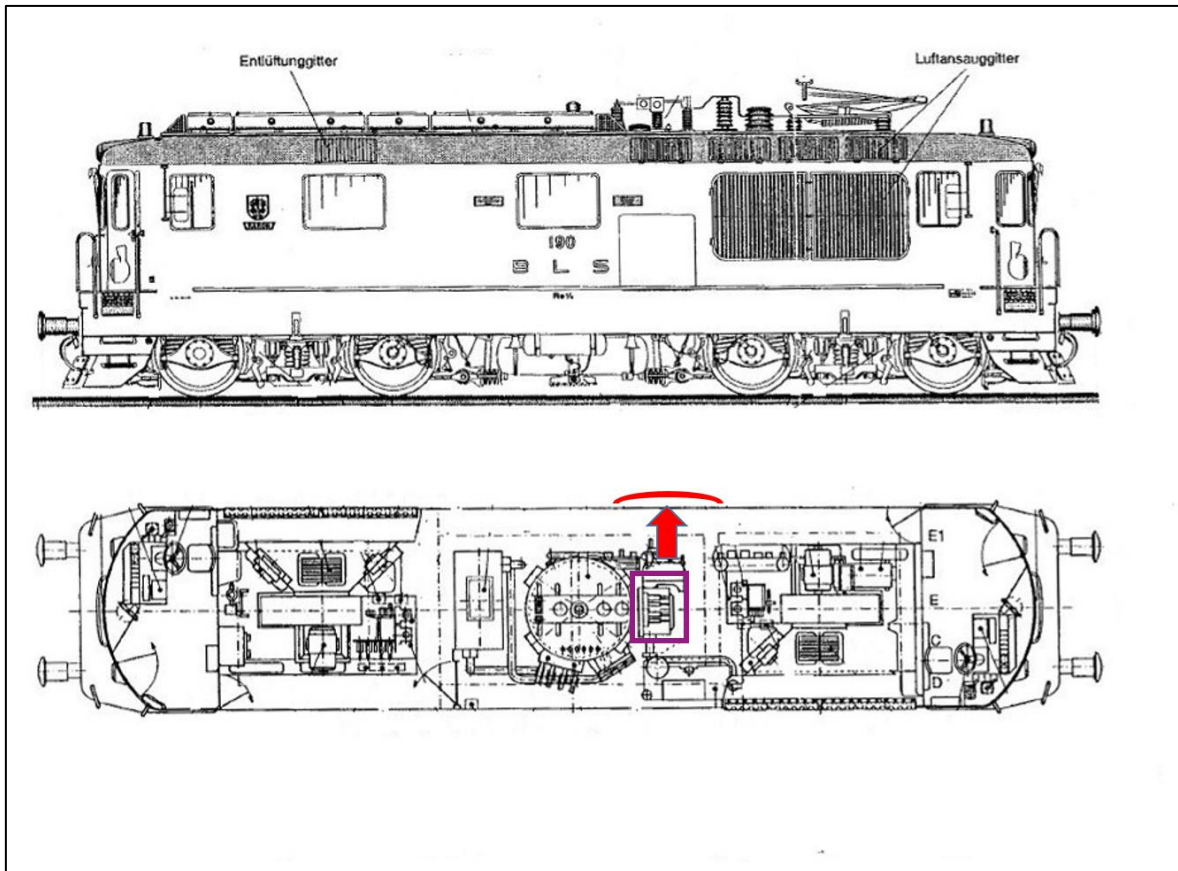


Abbildung 7: Typenzeichnung der Lokomotive mit Kastenverformung nach links (Quelle: BLS, Ergänzungen SUST)

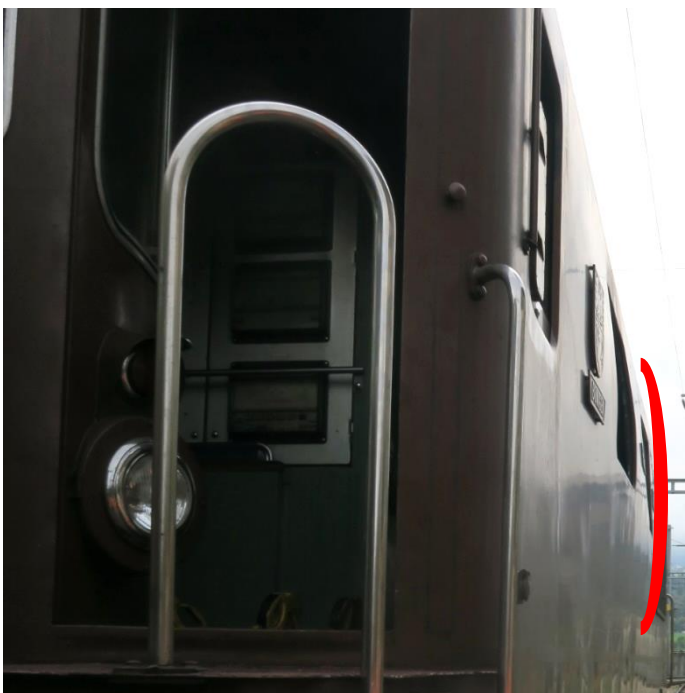


Abbildung 8: Verformung der Kasten auf der linken Seite der Lokomotive

Anlage 3

Transformatorschema

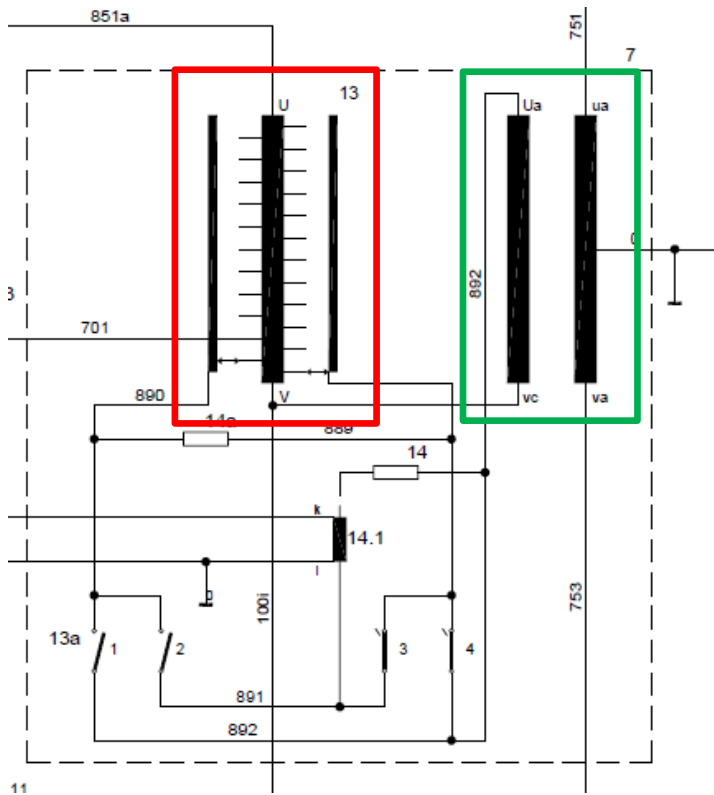


Abbildung 9: Transformator mit Stufenschalter des Typs NO 32/4.

Rot: Einphasen-Hochspannungsreguliertransformator mit Anzapfungen zum Stufenschalter;

Grün: Einphasen-Leistungswicklung;

Pos. 13a: 4 Lastschalter; Pos. 14: Überschaltwiderstand.