



Summarischer Bericht

Bezüglich des vorliegenden Unfalls wurde eine summarische Untersuchung gemäss Art. 45 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014 (VSZV), Stand am 1. September 2023 (SR 742.161), durchgeführt. Der alleinige Zweck der Untersuchung eines Unfalls oder eines schweren Vorfalls ist die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen. Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand Rechnung zu tragen.

In diesem Bericht wird aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes für alle natürlichen Personen und ihren Funktionen unabhängig von ihrem Geschlecht die männliche Form verwendet.

Ereignis	Brand einer Lokomotive Re 450
Ereignisart	Brand
Ort, Datum, Zeit	Zürich Altstetten (ZH), 6. Juli 2023, 16:55 Uhr
Reg.-Nr.	2023070602
Verkehrsmittel	Eisenbahn

Beteiligte Unternehmen

Eisenbahnverkehrsunternehmen	SBB AG, Personenverkehr (SBB-P), Bern
Infrastrukturbetreiberin	SBB AG, Infrastruktur (SBB-I), Bern

Beteiligte Personen	Lokführer 1 (Lf1), Jahrgang 1993, SBB-P (indirekt beteiligt) Lokführer 2 (Lf2), Jahrgang 1966, SBB-P (indirekt beteiligt)
----------------------------	--

Beteiligte Fahrzeuge	Aus zwei Einheiten bestehende S-Bahn-Doppelstockkomposition (DPZ). Am Zugschluss die vom Brand betroffene Lokomotive Re 450 025.
-----------------------------	--

Schäden

Personen	Keine
Verkehrsmittel	Lokomotive Re 450 025 ausgebrannt.
Infrastruktur	Fahrleitung beschädigt, Gleisbett verschmutzt.

Sachverhalt

Hergang

Der Zug 19462 fuhr als S14 von Hinwil (Abfahrt 16:08 Uhr) via Zürich HB Löwenstrasse nach Affoltern am Albis. Die vom Steuerwagen aus geführte Komposition bestand aus zwei DPZ¹ Doppelstockeinheiten. Bei der vorderen Komposition war die Re 450 017 eingereiht, während die hintere Komposition mit der Re 450 025 am Zugschluss bespannt war.

Zwischen Wetzikon und Aathal (ca. 16:19 Uhr) trennte sich der Stromrichter 1 der Re 450 025 infolge einer Erdschlusserfassung ab. Nach Betätigung der Entpannungstaste konnte der Lokführer (Lf1) weiterfahren.

In Aathal konsultierte der Lf1 das Störungshandbuch. Er konnte jedoch keinen passenden Eintrag finden und verständigte deshalb die Lokleitung. Diese entschied, dass der Zug mit einem abgetrennten Drehgestell (dasjenige des Stromrichters 1) weiterfahren soll.

Im Weinbergtunnel zwischen Oerlikon und Zürich HB Löwenstrasse kam es infolge eines um 16:47 Uhr registrierten Kurzschlusses der Spannungsversorgung (Fahrleitung) zu einer Hauptschalterauslösung. Dem Lf1 wurden keine neuen Störungen angezeigt, worauf er die Entpannungstaste drückte, den Hauptschalter wieder einlegte und bis zum Bahnhof Zürich HB Löwenstrasse weiterfuhr.

In Zürich HB Löwenstrasse fand ein Lokführerwechsel statt. Bei der Abfahrt des Zuges bemerkte der ausgestiegene Lokführer (Lf1) an der hinteren Lok eine geringe Rauchentwicklung und stellte einen Brandgeruch fest. Er verständigte per Telefon seinen Kollegen (Lf2), der den Zug übernommen hatte.

Der Lf2 prüfte die Situation beim nächsten Halt in Zürich Altstetten, stellte Rauchentwicklung an der am Schluss laufenden Lokomotive Re 450 025 fest und verständigte unverzüglich die Betriebsleitzentrale. Diese liess die Fahrleitung ausschalten und bot die Feuerwehr auf.



Abbildung 1: Ankunft in Zürich Altstetten: Nebst Rauch sind auch Flammen unter der Lokomotive beim Trafo sichtbar (Quelle: SBB).

¹ DPZ: Doppelstöckiger Pendelzug



Abbildung 2: Lok Re 450 025 nach dem Löschen des Brandes.

Feststellungen

An der Infrastruktur

- Entlang des Perrons in Zürich Oerlikon wurde das Schotterbett auf einer Länge von ca. 4 m durch ausgelaufenes Öl verschmutzt.
- Der Kurzschlussstrom im Weinbergtunnel betrug ca. 16 kA und löste um 16:47 Uhr eine Ausschaltung der Spannungsversorgung der Fahrleitung aus.

An der Lokomotive Re 450 025

- **Brandauswirkungen**
 - Das Dach der Lok ist mittig vollständig ausgebrannt.
 - Die Seitenwände wurden stark verformt (Abbildung 2).
 - Die Verkabelung im Dachbereich sowie unterhalb des Zwischenbodens wurde durch das Feuer komplett zerstört.
 - Beide Stromrichter wurden stark in Mitleidenschaft gezogen.
- **Transformator**
 - Der Deckel des Trafos war stark deformiert, was durch eine Explosion im Innern erklärbar ist (Abbildung 3).



Abbildung 3: Sichtbare Deformierung des Transformatordeckels der Re 450 025.

- Der Deckel weist im mit «A» gekennzeichneten Bereich die grösste Deformierung auf (Abbildung 4). Auf der Innenseite sind oberhalb der Wicklungsbeschädigung starke Russspuren sichtbar (Abbildung 4, Kennzeichnung «B»).



Abbildung 4: Ausgebauter Transformatordeckel, Ansicht Innenseite.
A: Verformung durch die Explosion. B: Russablagerung.

- Drei Hochspannungswicklungen sind stark verformt und deren Drähte teilweise gerissen. Eine Traktionswicklung ist ebenfalls beschädigt (Abbildung 5).

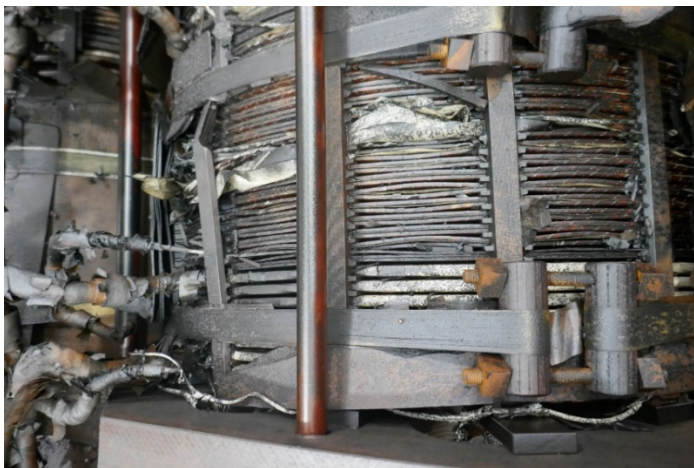


Abbildung 5: Beschädigte Wicklungen am zerstörten Trafo.

- **Stromrichter 1 und 2**

- Alle Leistungshalbleiter waren in Ordnung.
- Der Stromrichter 2 wurde vom Brand stark in Mitleidenschaft gezogen.

- **Maschinenraum**

- Der Boden im Maschinenraum war stark mit Öl verschmutzt.
- Die Kunststoffleitungen der Verbindungen zwischen den verschiedenen ölgekühlten Komponenten und dem Expansionsgefäss waren grösstenteils geschmolzen.

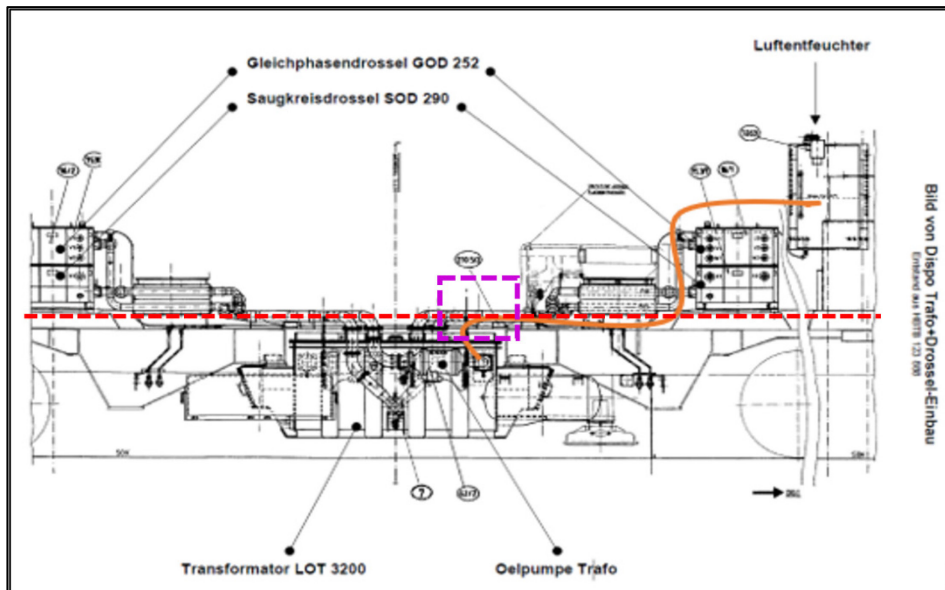


Abbildung 6: Anbindung des Trafos unter der Lokomotive mit den Verbindungsleitungen zum Expansionsgefäß (Quelle: SBB, Ergänzungen SUST).
 Rot: Fussboden der Lokomotive.
 Orange: Leitung zwischen Trafo und Expansionsgefäß.
 Magenta: Details siehe Abbildung 7 und Abbildung 8.

- Die Kunststoffleitung zwischen Trafo und Expansionsgefäß war nicht mehr auffindbar. Dies erklärt auch das viele Öl am Boden. Der Inhalt des Expansionsgefäßes hat sich im Maschinenraum verteilt.



Abbildung 7: Lok Re 450 025.
 Die Kunststoffleitung fehlt. Öl am Boden im Maschinenraum.

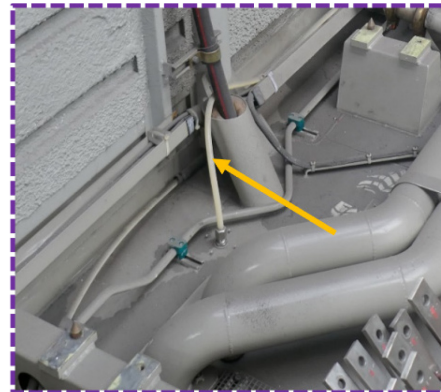


Abbildung 8: Vergleichlokomotive.
 Oranger Pfeil: Kunststoffleitung zum Expansionsgefäß.

- **Auswertung der Lok-Diagnosedaten**

Die Diagnosedatensätze (DDS) der beiden Lokomotiven der zusammengesetzten Zugskomposition wurden durch die SUST in Zusammenarbeit mit SBB-P ausgewertet:

Die Auswertung ergab Folgendes:

- Ab dem 27. Mai 2023 und bis am 6. Juli 2023 setzte die Lok 450'025 2698 Meldungen ab.
 1864 Meldungen bezogen sich auf Regelungsprobleme mit dem Stromrichter Nr. 1.

- Die Energiemessung der beiden Loks zeigen bei der Re 450 025 fast eine Verdopplung der Blindleistung² gegenüber der Re 450 017 (Anlage 3, Abbildung 12). Dadurch hatte die Elektronik grosse Schwierigkeiten, den Stromrichter korrekt zu regeln.
 - Schon bei den Fahrten am Morgen des 6. Juli 2023 wies die Re 450 025 eine viel höhere Blindleistung auf als die Re 450 017.
 - Die erhöhte Blindleistung wurde mutmasslich durch den Wegfall einer Hochspannungswicklung am Trafo verursacht.
 - Um 16:19 Uhr und um 16:44 Uhr wurde ein Erdschluss in der Re 450 025 aufgezeichnet.
- **Hauptschalterauslösungen**

Hauptschalterauslösungen auf der Lok Re 450 025 traten meist zufällig auf. Diese können externe Gründe haben, z. B. fehlende Fahrleitungsspannung oder von der Lok selbst herbeigeführt werden, z. B. Zugsicherungsauslösungen oder als Schutz der internen Elektrik und Elektronik.

Vorgeschichte

Sanierungsmassnahmen aller Trafos

Im Jahr 2004 erlitten zwei Transformatoren der Baureihe Re 450 Schäden ohne Brandausbruch. (Abbildung 9) Auf Grund dieser Schäden wurden von SBB-P diverse Analysen durchgeführt und aufgrund der Erkenntnisse daraus Sanierungsmassnahmen definiert. Diese wurden ab 2015 bei allen Traforevisionen umgesetzt. Die Massnahmen umfassten insbesondere mechanische Verstärkungen des magnetischen Kreises (Abbildung 10) sowie der internen elektrischen Verbindungen. Bis zum Ereignis am 6. Juli 2023 wurden rund 95 der 115 Transformatoren saniert. Bei der Lok Re 450 025 waren zum Zeitpunkt des Ereignisses diese Sanierungsmassnahmen noch nicht umgesetzt.



Abbildung 9: Beschädigter Trafo mit Verformung des magnetischen Kreises (Quelle: SBB).

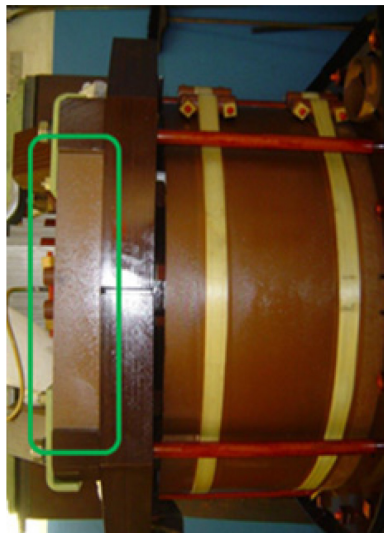


Abbildung 10: Angepasster Transformator mit zusätzlicher Verstärkung des magnetischen Kreises, Grün eingeraht (Quelle: SBB).

² Die Definition der Blindleistung ist in der Anlage 2 aufgeführt.

Analyse

- Die seit einiger Zeit hohe Anzahl der registrierten DDS Meldungen hinsichtlich Regelungsprobleme des Stromrichters 1 zeigt mit grosser Wahrscheinlichkeit auf, dass die Trafowicklung schon länger Vorschädigungen aufwies.
- Am 6. Juli 2023 um 16:19 Uhr kurz nach Wetzikon und um 16:44 Uhr in Zürich Oerlikon entstand ein Masse- oder ein Wicklungsschluss mit Lichtbogen im Bereich der Hochspannungs- bzw. der Traktionswicklungen der Lok Re 450 025 (Anlage 1, Abbildung 11). Einiges weist auf eine grosse, dauerhaft anstehende Wärmequelle infolge eines Lichtbogens oder einer kurzgeschlossenen Windung hin.
- Die grosse Menge Öl im Schotterbett in Zürich Oerlikon deutet darauf hin, dass sich das auf dem Trafodeckel angebrachte Überdruckventil öffnete, während der Zug im Bahnhof stand.
- Der durch den Kurzschluss generierte Überdruck im Trafo hat wahrscheinlich die Kunststoffleitung zum Expansionsgefäss zum Bersten gebracht. Dadurch wurde das im Expansionsgefäss befindliche Öl nicht mehr zurückgehalten und verteilte sich im Maschinenraum (Abbildung 9).
- Im Weinbergtunnel entstand erneut ein Kurzschluss, der zur Abschaltung der Fahrleitung und folglich zur Hauptschalterauslösung der beiden Loks führte.
- Der in der Re 450 025 um 16:47 Uhr entstandene Kurzschluss im Weinbergtunnel entzündete das im Maschinerium verteilte Trafoöl.
- Infolge der starken Verformung des Trafodeckels war die Dichtigkeit nicht mehr gewährleistet, und Luft konnte in den Trafokessel eindringen. Dadurch waren die Voraussetzungen für eine Brandausbreitung gegeben. Das Feuer konnte sich auf den gesamten Kasten ausbreiten.

Schlussfolgerung

Der Brand der Lokomotive Re 450 025 am 6. Juli 2023 in Zürich Altstetten ist auf einen Defekt des Haupttransformators zurückzuführen. Infolge des im Maschinerium verteilten Trafoöls konnte sich das Feuer auf die ganze Lok ausbreiten.

Der folgende Faktor hat zum Ereignis beigetragen: Die an diesem Trafo noch nicht durchgeführten Sanierungsmassnahmen (mechanische Verstärkung des magnetischen Kreises und die Anpassungen der internen elektrischen Verbindungen).

SBB-P wird die Sanierungsmassnahmen an den rund 20 Trafos, die noch nicht revidiert sind, weiterführen.

Weitere Erkenntnisse sind durch eine vertiefte Untersuchung nicht zu gewinnen. Die SUST schliesst die Untersuchung nach Art. 45 VSZV mit diesem summarischen Bericht ab.

Bern, 29. April 2024

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

Anlage 1

Schema des Transformators und deren Wicklungen

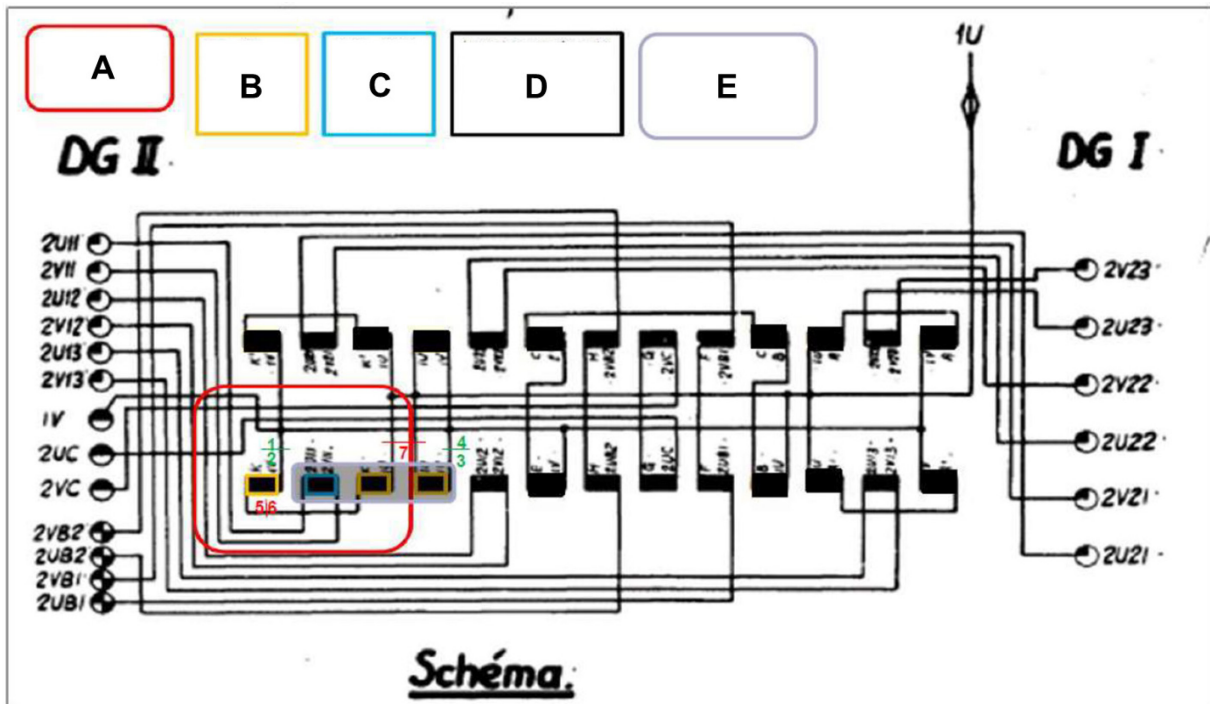


Abbildung 11: Transformatorschema (Quelle: SBB).

Legende:

- A: Zone mit stark beschädigten Wicklungen
- B: Primärwicklung beschädigt
- C: Traktionswicklung beschädigt
- D: Andere Wicklungen nicht beschädigt
- E: Wicklung an Masse

Anlage 2

Definition der Blindleistung

Beim Wechselstrom folgen Strom und Spannung einer sinusförmigen Welle. Hat ein elektrische Verbraucher neben dem ohmschen Widerstand auch induktive oder kapazitive Anteile, dann entsteht zwischen Strom und Spannungswellen eine zeitliche Verschiebung. Wenn diese Wellen gegeneinander verschoben sind, entsteht Blindleistung.

Anlage 3

Grafik der Blindleistung der beiden Lokomotiven Re 450 025 und 450 017.

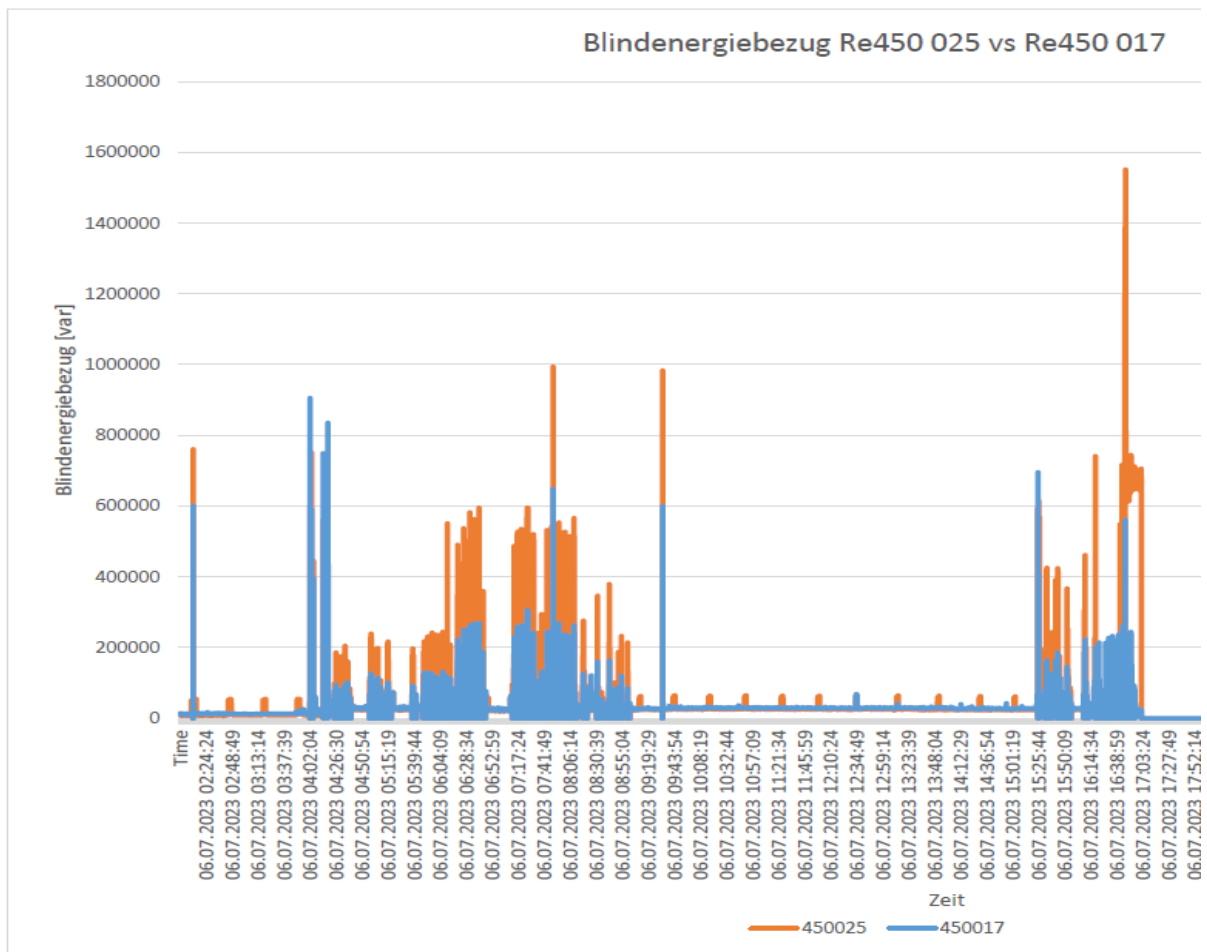


Abbildung 12: Blindleistung Re 450 025 und 450 017 am 6. Juli 2023 (Quelle: SBB).