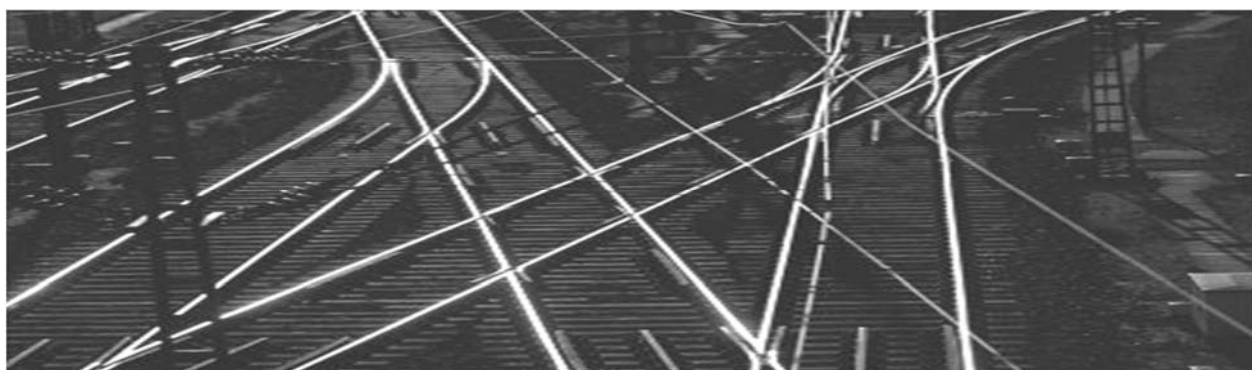


Untersuchungsbericht

Aktenzeichen: BEU-uu2018-10/005-3323

Stand: 24.03.2020 Version: 1.0

Erstveröffentlichung: 30.03.2020



Gefährliches Ereignis im Eisenbahnbetrieb

Ereignisart:	Fahrzeugbrand
Datum:	12.10.2018
Zeit:	06:21 Uhr
Benachbarte Betriebsstellen:	Üst Willroth - Montabaur
Streckennummer:	2690
Kilometer:	62,0

Veröffentlicht durch:

Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung

Heinemannstraße 6

53175 Bonn

Inhaltsverzeichnis

I.	Änderungsverzeichnis:	III
II.	Abbildungsverzeichnis:	IV
III.	Tabellenverzeichnis:	V
IV.	Abkürzungsverzeichnis:	VI
1	Vorbemerkungen	1
1.1	Organisatorischer Hinweis	1
1.2	Ziel der Eisenbahnunfalluntersuchung.....	1
2	Zusammenfassung	3
2.1	Kurzbeschreibung des Ereignisses.....	3
2.2	Folgen	3
2.3	Ursachen.....	3
2.4	Sicherheitsempfehlungen	4
3	Allgemeine Angaben	5
3.1	Lage und Beschreibung des Ereignisortes	5
3.2	Beteiligte und Mitwirkende.....	6
3.3	Äußere Bedingungen	6
3.4	Todesopfer, Verletzte und Sachschäden.....	7
4	Untersuchungsprotokoll	9
4.1	Zusammenfassung von Aussagen und Stellungnahmen	9
4.1.1	Stellungnahme des Triebfahrzeugführers (Tf) ICE 511	9
4.1.2	Stellungnahme der Zugführerin ICE 511	9
4.1.3	Stellungnahme einer Zugbegleiterin des 2. Halbzuges	10
4.1.4	Stellungnahme des özF Köln-Rhein-Main (KRM) Nord	10
4.2	Notfallmanagement	10

4.3	Untersuchung der bautechnischen Infrastruktur	12
4.4	Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik	13
4.4.1	Zugsicherungs- und Kommunikationssysteme.....	14
4.4.2	Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA und FBOA)	14
4.5	Untersuchung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers.....	15
4.5.1	Zuständigkeiten der özF KRM.....	15
4.6	Untersuchung der betrieblichen Abläufe des EVU	16
4.6.1	Qualifikation Tf ICE 511	16
4.6.2	Auswertung der Elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR)	16
4.7	Untersuchung von Fahrzeugen	18
4.7.1	Fahrzeugbeschreibung BR 403 (ICE 3).....	18
4.7.2	Auswertung der Fahrzeugdiagnoseeinrichtung	19
4.7.3	Untersuchungen am Ereignistag	22
4.7.4	Weitergehende Untersuchungen.....	24
4.7.5	Hauptschalter Tz 326 TW 93 80 5403 626-5	24
4.7.6	Haupttransformator Tz 326 TW 93 80 5403 626-5	26
4.7.7	Rollkur Haupttransformator Nr. 357702.....	28
4.7.8	Trafokessel.....	28
4.7.9	Oberspannungswicklung Tz 326.....	30
4.7.10	Oberspannungswicklung OS 1 des Referenztrafos	33
4.7.11	Transformatorenöl	34
4.7.12	Metallpartikel im Öl der Haupttransformatoren	35
4.7.13	Ölkühleranlage	36
4.7.14	Zugstangen	38
4.7.15	Überspannungsableiter	41
4.7.16	Buchholzrelais	44

4.8	Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3.....	45
4.8.1	Schutzziele des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3.....	45
4.8.2	Brandmeldeeinrichtungen 12-18069 ICE 3	46
4.8.3	Kommunikation	46
4.8.4	Evakuierung	47
4.9	Bisherige Ereignisse ähnlicher Art.....	47
5	Auswertung	48
5.1	Ereignisrekonstruktion	48
5.2	Bewertung und Schlussfolgerung.....	49
6	Bisher getroffene Maßnahmen.....	52
7	Sicherheitsempfehlungen	53

I. Änderungsverzeichnis:

Änderung	Stand

II. Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Lageplan	5
Abbildung 2: Ereignisort	8
Abbildung 3: Ereignisort nach den Löscharbeiten	8
Abbildung 4: aufgefundene Abschmelzungen im Gleis	12
Abbildung 5: Kurzschlussprotokoll	13
Abbildung 6: grafische Fahrdatenauswertung	17
Abbildung 7: schematische Darstellung ICE 3	18
Abbildung 8: Bereich des Brandherdes Wagen 93 80 5403 626-5	22
Abbildung 9: hinterer Teil des Wagens 626 mit Übergang zu Wagen 93 80 5403 526-7	23
Abbildung 10: zerstörte Inneneinrichtung im EW 93 80 5403 526-7	23
Abbildung 11: Haupttransformator und verschmolzene Decken- und Bodenelemente	24
Abbildung 12: Hs des betroffenen TW	25
Abbildung 13: Skizze Haupttransformator mit Anbauteilen	27
Abbildung 14: Ausbeulungen am Trafokessel	29
Abbildung 15: geöffneter Haupttransformator Tz 326	30
Abbildung 16: Kurzschlussstrommarken OS 1	31
Abbildung 17: Verformung Windung Scheibe 87	32
Abbildung 18: Metallpartikel im Bereich der Schadstelle Scheibe 88	32
Abbildung 19: deformierte OS 1	33
Abbildung 20: Ablagerungen auf den Windungen	34
Abbildung 21: Metallpartikel im Referenztrafo	36
Abbildung 22: schematische Darstellung Ölkühlkreislauf	37
Abbildung 23: Einbausituation Zugstangen und Pressträger	39
Abbildung 24: Position Zugstangen	40
Abbildung 25: Bruchstelle der Zugstange	40

Abbildung 26: zerstörter Überspannungsableiter und Trafosteckbuchse.....	42
Abbildung 27: zerstörte Durchführungsbuchse	43

III. Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Übersicht der äußeren Bedingungen	6
Tabelle 2: Übersicht der Personenschäden	7
Tabelle 3: Übersicht der geschätzten Schadenshöhe	7
Tabelle 4: technische Daten ICE 3	19
Tabelle 5: Schutzziele des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3.....	46

IV. Abkürzungsverzeichnis:

Abzw	Abzweigstelle
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
BEU	Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BR	Baureihe
Bz	Betriebszentrale
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EBO	Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung
EFR	Elektronische Fahrtenregistrierung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
ES	Traktionseinheit
ESTW	Elektronisches Stellwerk
EU	Europäische Union
EUV	Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EW	Endwagen
FBOA	Festbremsortungsanlage
GSM-R	Global System for Mobile Communications-Railway
Hs	Hauptschalter
HOA	Heißläuferortungsanlage
IS	Instandhaltungsstufe
KRM	Köln–Rhein-Main
LST	Leit- und Sicherungstechnik
LZB	Linienzugbeeinflussung

MTD	maschinentechnisches Display
MW	Mittelwagen
OLPA	Oberleitungsprüfautomatik
OS 1	Oberspannungswicklung Schenkel 1
özF	örtlich zuständiger Fahrdienstleiter
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
Ril	Richtlinie
SMS	Sicherheitsmanagementsystem
SW	Stromrichterwagen
Tf	Triebfahrzeugführer / Triebfahrzeugführerin
Tfz	Triebfahrzeug
TW	Trafowagen
Tz	Triebzug
Uw	Unterwerk
UZ	Unterzentrale
Üst	Überleitstelle
VZG	Verzeichnis der örtlich zugelassenen Geschwindigkeiten
Zes	regionale Zentralschaltstelle für Bahnstrom
ZSG	Zugsteuergerät
Zub	Zugbegleitpersonal

1 Vorbemerkungen

Das Kapitel Vorbemerkungen befasst sich mit allgemeinen Informationen zur Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU). Dabei wird die gesetzliche Grundlage genannt und die Aufbauorganisation kurz umrissen.

1.1 Organisatorischer Hinweis

Mit der Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft (Eisenbahnsicherheitsrichtlinie) wurden die Mitgliedstaaten der europäischen Union verpflichtet, unabhängige Untersuchungsstellen für die Untersuchung bestimmter gefährlicher Ereignisse einzurichten.

Diese Richtlinie wurde mit dem Gesetz zur Neuordnung der Eisenbahnunfalluntersuchung vom 27. Juni 2017 und der Eisenbahn-Unfalluntersuchungsverordnung vom 05.07.2007, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 26.11.2019 geändert worden ist, umgesetzt. Die BEU ist eine Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Die Anforderungen an den Aufbau, die Gliederung und die Untersuchungsdurchführung wurden mit dem „Organisationserlass zur Einrichtung der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU)“ gemäß § 6 Bundeseisenbahnverkehrsverwaltungs-gesetz (BEVVG) des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur vom 14.07.2017 unter setzt und verfeinert.

Näheres hierzu ist im Internet unter www.beu.bund.de eingestellt.

1.2 Ziel der Eisenbahnunfalluntersuchung

Ziel und Zweck der Untersuchungen ist es, die Ursachen von gefährlichen Ereignissen aufzuklären und hieraus Hinweise zur Verbesserung der Sicherheit abzuleiten. Untersuchungen der BEU dienen nicht dazu, ein Verschulden festzustellen oder Fragen der Haftung oder sonstiger zivilrechtlicher Ansprüche zu klären und werden unabhängig von jeder gerichtlichen Untersuchung durchgeführt.

Die Untersuchung umfasst die Sammlung und Auswertung von Informationen, die Erarbeitung von Schlussfolgerungen einschließlich der Feststellung der Ursachen und gegebenenfalls die Abgabe von Sicherheitsempfehlungen. Die Vorschläge der Untersuchungsstelle zur Vermei-

derung von Unfällen und Verbesserung der Sicherheit im Eisenbahnverkehr werden der Sicherheitsbehörde und, soweit erforderlich, anderen Stellen und Behörden oder anderen Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) in Form von Sicherheitsempfehlungen mitgeteilt.

2 Zusammenfassung

Das Kapitel befasst sich mit einer kurzen Darstellung des Ereignisherganges, den Folgen und den Primärursachen. Abschließend werden eventuell erteilte Sicherheitsempfehlungen aufgeführt.

2.1 Kurzbeschreibung des Ereignisses

Am 12.10.2018 um ca. 06:21 Uhr wurde ICE 511 auf der Fahrt von Köln Hbf nach München Hbf zwischen den Betriebsstellen Überleitstelle (Üst) Willroth und Montabaur auf der Strecke 2690 aufgrund eines Fahrzeugbrandes angehalten. Der aus dem führenden Triebzug (Tz) 351 und dem geführten Tz 326 gebildete ICE 511 war am vorletzten Wagen des hinteren Tz in Brand geraten.

2.2 Folgen

Fünf Personen wurden während der Evakuierungsmaßnahmen leicht verletzt. Die Wagen 93 80 5403 626-5 und 93 80 5403 526-7 des Tz 326 wurden durch den Brand völlig zerstört bzw. stark beschädigt. Aufgrund des Triebzugkonzeptes ist für die restlichen Wagen des betroffenen Halbzuges ein Einsatz derzeit nicht mehr möglich. In Folge des Ereignisses kam es zu Beschädigungen an der Oberleitung, Anlagen der Leit- und Sicherungstechnik (LST) und am Oberbau.

Auf der Schnellfahrstrecke zwischen den Betriebsstellen Üst Willroth und Montabaur kam es in der Zeit vom 12.10.2018 bis 02.12.2018 zu erheblichen Betriebserschwernissen. Die entstandenen Sachschäden wurden auf insgesamt ca. 31.300.000 Euro geschätzt.

2.3 Ursachen

Das Ereignis wurde wahrscheinlich durch den Bruch einer Zugstange ausgelöst. Durch die Herabsetzung der Einspannkraft kam es zu Relativbewegungen im Aktivteil des Haupttransformators und Beschädigungen von Leiterisolierungen. Diese führten zu einem Windungskurzschluss. Durch den damit verbundenen schlagartigen Druckanstieg im Trafokessel kam es zum Bruch der Durchführungsbuchse des Überspannungsableiters. Das an dieser Stelle ausströmende Trafoöl bildete ein entzündliches Aerosol, welches sich an einem kurzschlussbedingten Lichtbogen bzw. den sehr stark erhitzen Bauteilen im Bereich der beschädigten Durchführungsbuchse des Überspannungsableiters entzündete. Die in der Folge anstehende Wärmeenergie führte zum Fahrzeugbrand.

2.4 Sicherheitsempfehlungen

Es wurden Sicherheitsempfehlungen zu der Konstruktionsweise des Haupttransformators und zum Brandschutzkonzept ausgesprochen. Näheres ist dem Kapitel 7 Sicherheitsempfehlungen zu entnehmen.

3 Allgemeine Angaben

Das Kapitel beinhaltet allgemeine Angaben zur Beschreibung des Ereignisortes und der relevanten Bahnanlagen. Des Weiteren werden die an der Unfalluntersuchung beteiligten und mitwirkenden Stellen, die äußeren Bedingungen, die Anzahl der bei dem Ereignis verletzten und getöteten Personen sowie Art und Höhe der Folgeschäden benannt.

3.1 Lage und Beschreibung des Ereignisortes

Der Ereignisort befindet sich auf der zweigleisigen Schnellfahrstrecke Köln-Rhein-Main (KRM) zwischen den Betriebsstellen Üst Willroth und Montabaur. Der Ereignisort erstreckt sich in etwa von Streckenkilometer 62,0 bis 72,38.

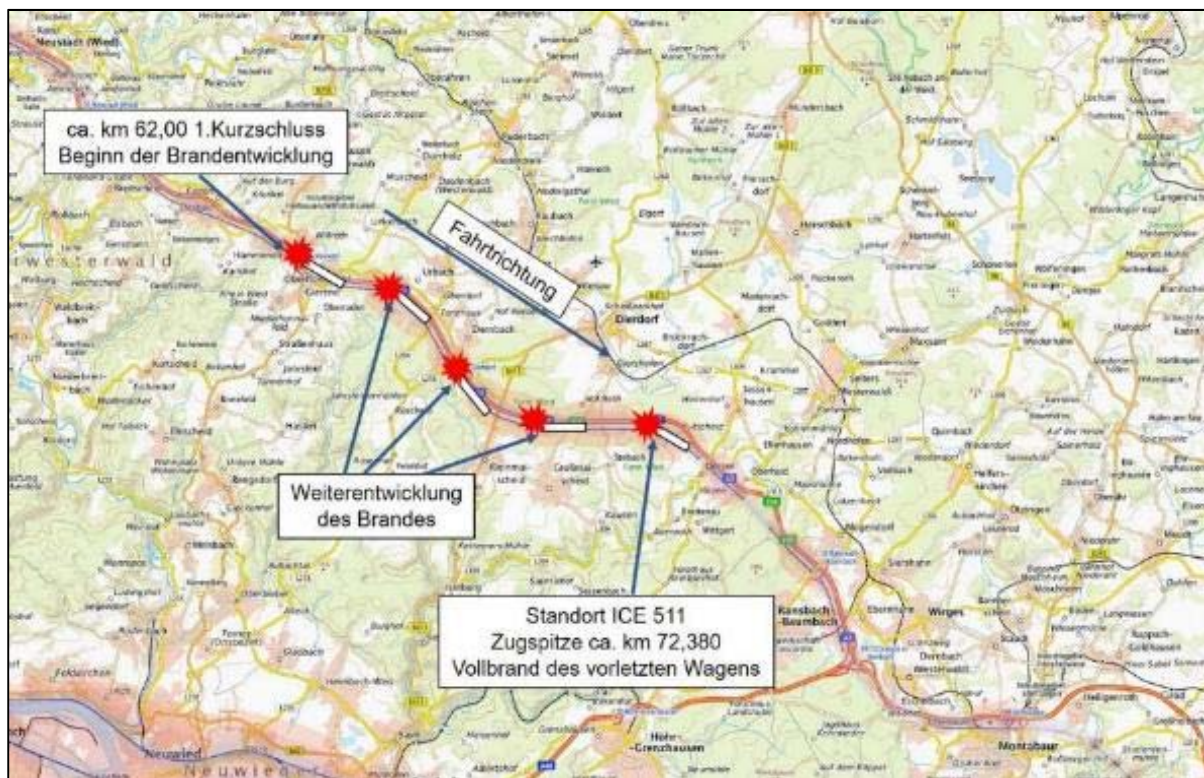


Abbildung 1: Lageplan¹

¹ Quelle: Geobasisdaten: © GeoBasis-DE / BKG [2019], bearbeitet durch BEU

3.2 Beteiligte und Mitwirkende

Am Ereignis waren folgende Stellen beteiligt:

- DB Fernverkehr AG als Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)
- DB Netz AG als Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)

Im Rahmen der Sachverhaltsermittlung und Ursachenerforschung wurden neben den o. g. Beteiligten weitere Stellen mit einbezogen:

- DB Systemtechnik GmbH beauftragt zur Brandursachenermittlung durch das EVU
- Kreisverwaltung Neuwied
- Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zur Klärung der Herkunft von Metallpartikeln
- TÜV Süd Rail GmbH, beauftragt zur gutachterlichen Stellungnahme durch das EVU

3.3 Äußere Bedingungen

Zum Zeitpunkt des Ereignisses herrschten folgende Bedingungen:

Lichtverhältnisse	Dunkelheit
Sicht	klar
Bedeckung	leicht bewölkt
Temperaturen	12°C – 17°C
fallender Niederschlag	Nein
Niederschlagshäufigkeit	--
Untergrund / gefallener Niederschlag	trocken

Tabelle 1: Übersicht der äußeren Bedingungen

Feststellung zu den äußeren Bedingungen

Lfd. Nr. 1
Die Wetterbedingungen stehen in keinem erkennbaren kausalen Zusammenhang mit der Ereignisursache.

3.4 Todesopfer, Verletzte und Sachschäden

Nach den letzten Erkenntnissen der BEU traten folgend aufgeführte Personenschäden ein.

	Anzahl Tote	Anzahl schwer Verletzte	Anzahl leicht Verletzte
Reisende	-	-	5
Mitarbeiter	-	-	-
Benutzer von Bahnübergängen	-	-	-
Dritte	-	-	-
Summe	-	-	5

Tabelle 2: Übersicht der Personenschäden

Die geschätzte Höhe der Sachschäden in Euro setzt sich wie folgt zusammen:

Schäden	geschätzte Kosten in Euro
Fahrzeuge	29.650.000
Infrastruktur	1.650.000
Dritte	0
Gesamtschadenshöhe	31.300.000

Tabelle 3: Übersicht der geschätzten Schadenshöhe



Abbildung 2: Ereignisort²



Abbildung 3: Ereignisort nach den Löscharbeiten³

² DB Netz AG

³ DB Netz AG

4 Untersuchungsprotokoll

In diesem Kapitel werden die ermittelten Ergebnisse zu einzelnen in Zusammenhang mit dem Ereignis stehenden Teilbereichen des Eisenbahnwesens dargestellt. Daneben wurden auch die entsprechenden Schnittstellen sowie das Sicherheitsmanagement (SMS) im betroffenen Bereich betrachtet. Die jeweilig relevanten Erkenntnisse werden fortlaufend aufgeführt.

4.1 Zusammenfassung von Aussagen und Stellungnahmen

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Aussagen und Stellungnahmen einiger Beteiligter zusammengefasst dargestellt. Diese Angaben wurden dem jeweiligen Arbeitgeber gegenüber abgegeben.

4.1.1 Stellungnahme des Triebfahrzeugführers (Tf) ICE 511

Im Rahmen seiner Dienstschrift sollte der Tf den ICE 511 als Vollzug von Köln Hbf nach Stuttgart Hbf fahren. Besonderheiten seien ihm im Ablösegespräch nicht mitgeteilt worden. Im Maschinentechnischen Display (MTD) seien keine außergewöhnlichen Störtexte angezeigt worden. Ungefähr an der Üst Willroth sei es bei beiden Halbzügen wegen Unterspannung zu Hauptschalterauslösungen gekommen. Er habe daraufhin den örtlich zuständigen Fahrdienstleiter (özf) angesprochen, um den Grund der Auslösung zu erfragen. Da dem özf der Grund auch nicht bekannt war, habe man einen Halt in Montabaur vereinbart, sofern die Störung nicht behoben sei. Der özf habe die Absicht geäußert, sich bei der regionalen Zentralschaltstelle für Bahnstrom (Zes) zu erkundigen. Nach Beendigung dieses Gespräches sei er von einer Sprechstelle aus über einen Brand im Zug informiert worden. Er sei aufgefordert worden sofort anzuhalten. Da sich der Zug in keinem Tunnelabschnitt befand, habe er sofort eine Schnellbremsung eingeleitet und gesendet. Außerdem habe er einen Notruf mit dem Hinweis Brand im Zug und eine Standortmeldung abgegeben. Er habe nach Feststellung des Brandes erneut mit dem özf gesprochen. Dieser habe ihm mitgeteilt, dass die Strecke gesperrt und die Oberleitung abgeschaltet sei.

4.1.2 Stellungnahme der Zugführerin ICE 511

Die Zugführerin befand sich zum Zeitpunkt des Ereignisses im vorderen Zugteil.

Sie habe am 12.10.2018 den ICE 511 von Köln Hbf nach München Hbf zu begleiten gehabt. Nach der Abfahrt in Siegburg/Bonn habe sie sich im Wagen 25 aufgehalten, als der Zug auf freier Strecke angehalten habe. Eine Zugbegleiterin des hinteren Halbzuges habe ihr über

Bordtelefon mitgeteilt, dass es in ihrem Zugteil brennen würde. Sie sei anschließend zum Wagen 26 gegangen, um mit dem Tf über die Streckensperrung zu sprechen und um die Evakuierungsseite festzulegen. Mit Hilfe der Mitarbeiter des Bordbistros sei die Notausstiegsleiter am Wagen 27 in Fahrtrichtung rechts angebracht worden. Eine Notbremse sei im vorderen Zug nicht bedient worden.

4.1.3 Stellungnahme einer Zugbegleiterin des 2. Halbzuges

Kurz nach der Abfahrt in Siegburg/Bonn sei sie in ihrem Dienstabteil über einen lauten Knall im Wagen 32 von einer Kollegin und von Reisenden informiert worden. Sie sei zum Wagen 32 gegangen und habe Kontakt mit dem Tf aufgenommen um nach der Ursache zu fragen. Während des Gespräches mit dem Tf sei ihr durch die Kollegin mitgeteilt worden, dass es im Wagen 32 brennen würde. Sie habe die Information direkt an den Tf mit der Aufforderung den Zug sofort anzuhalten weitergegeben. Im Anschluss habe sie die Zugchefin über den Brand informiert. Während der Vorbereitung zur Evakuierung des Zuges an Wagen 39 waren bereits Rettungskräfte eingetroffen, die bei der Evakuierung halfen.

4.1.4 Stellungnahme des özF Köln-Rhein-Main (KRM) Nord

Gegen 06:21 Uhr habe sich der Tf des ICE 511 über eine Global System Mobile-Rail (GSM-R) Einzelverbindung bei ihm mit der Frage gemeldet, ob die Oberleitung in Ordnung sei. Da ihm keine Störung bekannt war, habe er zur Untersuchung des Zuges mit dem Tf einen Halt in Montabaur vereinbart. Auf seine Anfrage nach einer Oberleitungsstörung habe dies die Zes verneint. Während des Gespräches mit der Zes sei bei ihm ein Notruf des ICE 511 mit dem Wortlaut „Betriebsgefahr zwischen Üst Willroth und Montabaur“ eingegangen. Er habe sofort alle zuweisenden Signale und Blockkennzeichen auf Halt gestellt und beide Streckengleise zwischen Üst Willroth und Montabaur gesperrt. Im Anschluss habe er die Notfallleitstelle informiert.

4.2 Notfallmanagement

Nach § 4 Abs. 3 Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) haben die Eisenbahnen die Verpflichtung, an Maßnahmen des Brandschutzes und der technischen Hilfeleistung mitzuwirken. In einer Vereinbarung zwischen den Innenministerien der Länder und der DB AG hat man sich auf eine Verfahrensweise verständigt. Für die DB Netz AG gelten die entsprechenden Brand- und Katastrophenschutzgesetze der Länder. Das Notfallmanagement der DB AG ist in der Richtlinie (Ril) Konzern Ril 123, jenes der DB Netz AG in der Ril 423 näher beschrieben und geregelt.

Um 06:21 Uhr erfolgte zunächst ein Gespräch zu der durch den Tf bemerkten Hauptschalterauslösung zwischen Tf und özF. Weder der Tf ICE 511 noch der özF hatten zu diesem Zeitpunkt einen Grund zur Annahme des sich entwickelnden Brandereignisses. Nach dem Notrufeingang des Tf ICE 511 sperrte der özF auf Grundlage der Bestimmungen der Ril 408.0581 -Maßnahmen bei Gefahr- gegen 06:25 Uhr zunächst die beiden Streckengleise (Richtungs- und Gegengleis). Weiterhin stellte der özF in diesem Zusammenhang sicher, dass sich kein weiterer Zug im relevanten Streckenabschnitt befand, um etwa den Zug verlassende Personen vor den Gefahren aus dem Eisenbahnbetrieb zu schützen. Gegen 06:29 Uhr wurde die Oberleitung spannungsfrei geschaltet. Nach der Feststellung und Bestätigung der Gleissperrung an den Tf, informierte der özF gegen 06:31 Uhr die Notfallleitstelle.

Die Benachrichtigung der Erstrettungskräfte erfolgte anschließend durch die Notfallleitstelle der DB Netz AG. Etwa zeitgleich wurde die integrierte Leitstelle der Feuerwehr in Montabaur durch einen Verkehrsteilnehmer auf der parallel zur Eisenbahntrasse verlaufenden Bundesautobahn 3 über den Brand eines ICE informiert. Erste Rettungskräfte trafen gegen 06:39 Uhr am Ereignisort ein. Laut Notfallmeldeblatt des EIU wurde der Notfallmanager um 06:31 Uhr durch die Notfallleitstelle in der Betriebszentrale (Bz) Frankfurt am Main über das Ereignis informiert. Etwa 35 Minuten nach der Alarmierung traf der Notfallmanager an der Ereignisstelle ein. Gemäß der Ril 423.0210 hat die DB Netz AG sicherzustellen, dass ein Notfallmanager innerhalb von 30 Minuten als Ansprechpartner zu Verfügung steht.

Die Feuerwehr unterstützte das Zugpersonal bei der Evakuierung des Zuges. Gegen 07:10 Uhr war die Evakuierung beendet. Nachdem beide Streckengleise vor und hinter dem Zug durch den Notfallmanager geerdet waren, begann die Feuerwehr gegen 07:26 Uhr mit den Löscharbeiten.

Feststellung zum Notfallmanagement

Lfd. Nr. 2
Der BEU wurden keine Verzögerungen im Notfallmanagement bekannt. Auf weitergehende Untersuchungen wurde verzichtet.

4.3 Untersuchung der bautechnischen Infrastruktur

Der Fahrzeugbrand ereignete sich auf der zweigleisigen Strecke Köln-Rhein-Main (KRM) zwischen den Betriebsstellen Üst Willroth und Montabaur. Auf diesem Streckenabschnitt galt für Zug ICE 511 die Höchstgeschwindigkeit $V_{\max} = 300 \text{ km/h}$.

Etwa in km 63,6 wurden erste metallische Abschmelzungen im Gleisbett gefunden, die dem ICE 511 zugeordnet werden konnten. Die Abschmelzungen wiesen auf hohe Temperatureinwirkungen hin. Im Verlauf des Ereignisses legte der Zug eine Strecke von ca. 10 km zurück, bis er ca. in km 72,38 zum Halten kam.



Abbildung 4: aufgefundene Abschmelzungen im Gleis⁴

Oberleitungsanlage / Zes

Die Strecke 2690 ist elektrifiziert und wird mit einer Spannung von 15 kV bei einer Frequenz von 16,7 Hz gespeist. Im Störungsprotokoll der Zes werden alle Störungen in Realzeit aufgezeichnet. So konnten die in der folgenden Abbildung aufgeführten Abschaltungen der Fahrdrabtspannung genau bestimmt werden.

⁴ DB Systemtechnik GmbH

Laut nachstehendem Kurzschlussmeldeprotokoll der Zes kam es zum ersten Kurzschluss um 06:21:33 Uhr. Hierbei lösten die Schutzgeräte die entsprechenden Leistungsschalter aus. Nachfolgend führte die Oberleitungsprüfautomatik (OLPA) eine Prüfung durch. Da nach dem Prüflauf kein Fehler detektiert wurde, erfolgte eine automatische Zuschaltung um 06:21:46 Uhr bzw. um 06:21:47 Uhr (siehe Abbildung 5). In Folge kam es zu weiteren Kurzschlüssen an den Stationen Orscheid, Urbach (Westerwald) und Montabaur.

KMP-Kurzschlüsse in der Oberleitungsanlage 12.10.2018									
Meldung Nr.	Datum	Aus	Station	Abzweig	Auslösekriterium	Ein	AH	Schutz	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:21:33	15kV Uw Orscheid	OLAB Urbach(Ww) LS Q0	I>>> Z1	06:21:46	AUTO	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:21:33	15kV Uw Urbach(Ww)	OLAB Orscheid LS Q0	I>>>	06:21:47	AUTO	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:21:58	15kV Uw Orscheid	OLAB Urbach(Ww) LS Q0	I>>> Z1	06:23:29	AUTO	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:21:58	15kV Uw Urbach(Ww)	OLAB Orscheid LS Q0	I>>> Z1	06:36:55	HAND	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:22:39	15kV Uw Urbach(Ww)	OLAB Montabaur LS Q0	I>>> Z1	06:35:25	HAND	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:22:39	15kV Uw Montabaur	OLAB Urbach(Ww) LS Q0	I>>> Z1	06:22:52	AUTO	T2 Z1 Z2	
8_02603/18_KK 009 S	12.10.18	06:23:04	15kV Uw Montabaur	OLAB Urbach(Ww) LS Q0	I>>>	06:34:58	HAND	T2 Z1 Z2	

Abbildung 5: Kurzschlussprotokoll⁵

Um 06:28:40 Uhr wurde durch den özF KRM Nord die Abschaltung der Fahrdrabtspannung für den Streckenabschnitt Üst Willroth – Montabaur beim Schaltdienstleiter der Zes beantragt. Laut Betriebsjournal der Zes Borken (Hessen) wurde die Abschaltung der Fahrdrabtspannung für beide Streckengleise zwischen Üst Willroth und Montabaur um 06:29:15 Uhr vollzogen.

Feststellung zu der bautechnischen Infrastruktur

Lfd. Nr. 3
Die Fahrbahn und die Bahnstromanlagen konnten aufgrund der vorgefundenen Gegebenheiten als unfallverursachend ausgeschlossen werden. Auf nähere Untersuchungen wurde deshalb verzichtet.

4.4 Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik

Die LST wird mit Hilfe eines elektronischen Stellwerks (ESTW) und dazugehörigen Unterzentralen (UZ) auf der Strecke 2690 zwischen der Abzweigstelle (Abzw) Köln Steinstraße und

⁵ Regionale Zentralschaltstelle für Bahnstrom

Frankfurt am Main Stadion realisiert. Bei der Stellwerksform handelt es sich um ein ESTW der Bauform L90 der Firma Thales. Die Reihenfolge der durchzuführenden Zugfahrten wird durch eine Zugnummernmeldeanlage ZNL 2000 (UZ Frankfurt am Main Flughafen Fernbahnhof) sowie eine ZNS 901 (UZ Montabaur) bestimmt und ersetzt das fernmündliche Zugmeldeverfahren.

4.4.1 Zugsicherungs- und Kommunikationssysteme

Als Zugsicherungssystem wurde im Fernsteuerbereich KRM u. a. die Punktförmige Zugbeeinflussung (PZB) verbaut. Die Streckengleise ab Abzw Steinstrasse – Siegburg/Bonn – Montabaur – Frankfurt am Main Flughafen Fernbahnhof – Üst Frankfurter Kreuz bis km 172,6 sind darüber hinaus mit Linienzugbeeinflussung (LZB) ausgerüstet und durchgängig im Gleiswechselbetrieb befahrbar. Die gesamte Strecke KRM ist mit GSM-R Zugfunk ausgerüstet.

4.4.2 Heißläufer- und Festbremsortungsanlagen (HOA und FBOA)

Auf der Schnellfahrstrecke KRM sind fünf HOA/FBOA verbaut. Die vor dem Ereignis zuletzt befahrende Anlage Nr. 363 Windhagen A befindet sich in km 46,426. Die gemessenen Temperaturwerte waren im zulässigen Bereich. Die Überwachung obliegt dem özF KRM Nord mit Sitz in der Bz Frankfurt am Main.

Feststellung zur Untersuchung der Leit- und Sicherungstechnik

Lfd. Nr. 4
Hinweise auf gestörte LST-Anlagen liegen der BEU nicht vor. Die Einflüsse aus der LST sind weder als ereignisursächlich noch als ereignisbegünstigend einzustufen.

4.5 Untersuchung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers

Die Betriebsabwicklung auf der Strecke wurde nach den Betriebsverfahren der Fahrdienstvorschrift (Ril 408) durchgeführt.

4.5.1 Zuständigkeiten der özF KRM

In der Bz Frankfurt am Main Steuerbezirk 01 KRM werden alle Tätigkeiten der UZ Frankfurt am Main Flughafen Fernbahnhof und Montabaur durch zwei özF wahrgenommen. Begrenzt wird der Zuständigkeitsbereich durch die Abzw Köln Steinstraße (Weiche 101) und Frankfurt am Main Stadion (Weiche 64W513). Der Bereich der özF KRM mit Sitz in der Bz Frankfurt am Main umfasst die folgenden Betriebsstellen:

- Üst Frankfurter Kreuz km 170,3,
- Bf Frankfurt am Main Flughafen Fernbahnhof km 169,3,
- Abzw Mönchhof km 163,4,
- Abzw Caltex km 160,5,
- Abzw Breckenheim km 152,6,
- Üst Idstein km 137,0,
- Üst Lindenholzhausen km 113,0,
- Bf Limburg Süd km 110,5,
- Bf Montabaur km 89,1,
- Üst Willroth km 61,9,
- Bf Raunheim km 15,9,
- Abzw Mönchwald km 17,4.

Der für den betroffenen Streckenabschnitt Üst Willroth – Montabaur (Fernbahn) zuständige özF wird als özF KRM Nord bezeichnet.

Feststellung zur Untersuchung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers

Lfd. Nr. 5
Die Überprüfung der betrieblichen Abläufe des Infrastrukturbetreibers ergab keine Hinweise auf Abweichungen.

4.6 Untersuchung der betrieblichen Abläufe des EVU

Die Betriebsabwicklung wurde nach den Betriebsverfahren der Fahrdienstvorschrift (Ril 408) durchgeführt. Darüber hinaus galt für die innerbetrieblichen Abläufe im Wesentlichen die Richtlinie 418 - Triebfahrzeugführerheft der DB Fernverkehr.

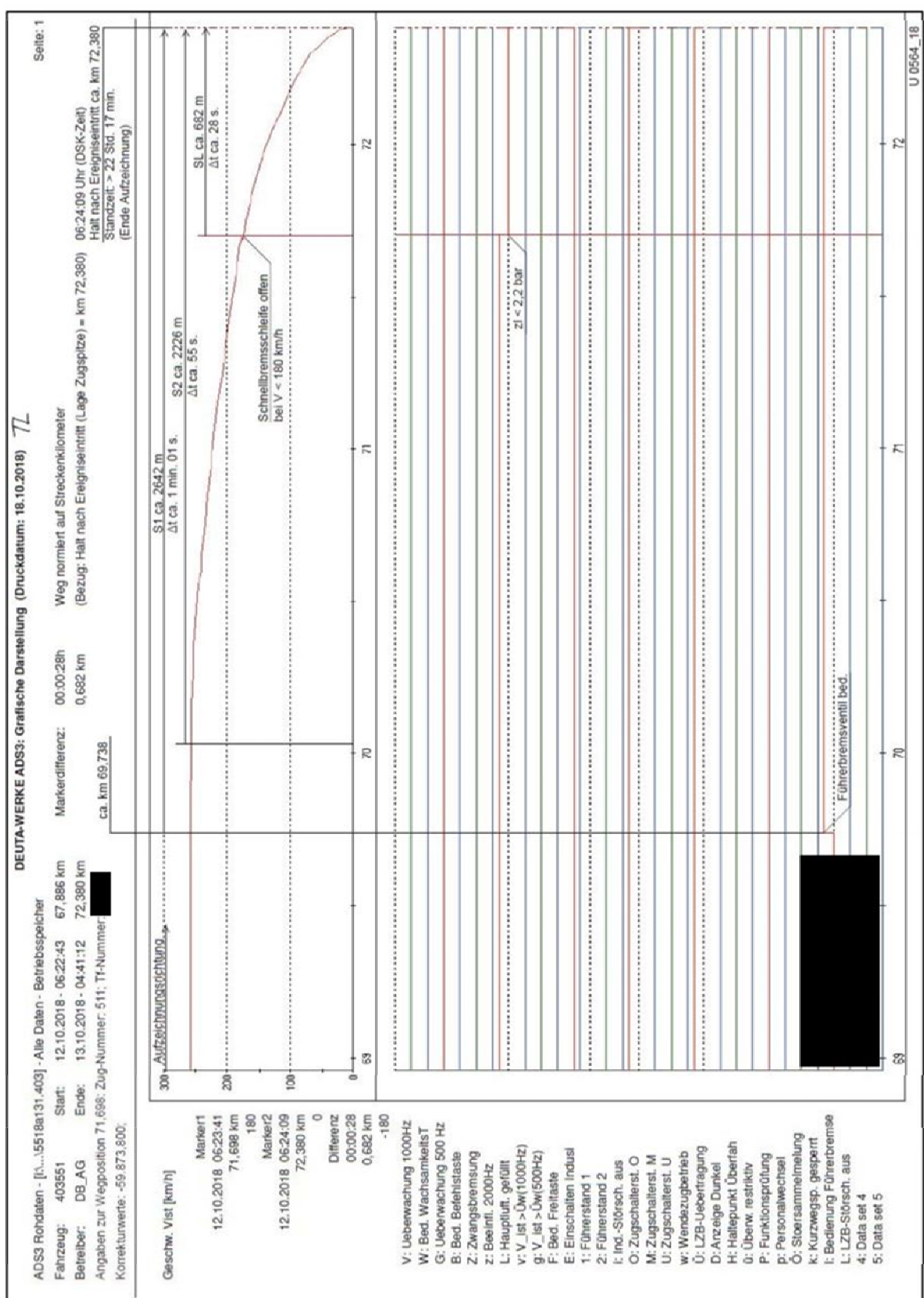
4.6.1 Qualifikation Tf ICE 511

Der Tf war im Besitz eines gültigen Triebfahrzeugführerscheins und der Zusatzbescheinigung und somit zum Führen der Baureihe (BR) ICE 403 berechtigt. Die notwendigen Kenntnisse der Betriebsverfahren sowie die Streckenkenntnis wurden nachgewiesen. Die Nachweise über regelmäßige Fortbildungen sowie die erforderliche Tauglichkeit wurden ebenfalls erbracht.

4.6.2 Auswertung der Elektronischen Fahrtenregistrierung (EFR)

Die Daten zur EFR-Auswertung wurden aus dem Datenrecorder des in Fahrtrichtung führenden Führerraums des Tz 351 ausgelesen und ausgewertet.

Zum Zeitpunkt des Ereigniseintrittes um ca. 06:21 Uhr war die LZB-Datenübertragung aktiv. Die Geschwindigkeit des Zuges lag bei ca. 272 km/h. In der weiteren Folge wurde ab km 69,74 die Geschwindigkeit erst durch eine Betriebsbremsung, ab km 71,70 durch eine Schnellbremsung bis zum Stillstand in km 72,38 reduziert. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Zuges wurde im betrachteten Auswertezeitraum nicht überschritten.

Abbildung 6: grafische Fahrdatenauswertung⁶⁶ Deutsche Bahn AG, zentrale Auswertungsstelle (ZAS)

Feststellung zur Untersuchung der betrieblichen Abläufe des EVU

Lfd. Nr. 6
Die Überprüfung der betrieblichen Abläufe ergab keine Hinweise auf Abweichungen.

4.7 Untersuchung von Fahrzeugen

Die Zugbildung des ICE 511 bestand am Ereignistag aus den Halbzügen Tz 351 / Tz 326. Der Brandherd war in Fahrtrichtung im vorletzten Fahrzeug 93 80 5403 626-5 des hinteren Halbzuges Tz 326 ausgebrochen. Im weiteren Verlauf breitete sich der Brand auf das letzte Fahrzeug 93 80 5403 526-7 aus.

4.7.1 Fahrzeugbeschreibung BR 403 (ICE 3)

Der Elektrotriebzug der BR 403 mit der internen Bezeichnung Tz 326 des EVU DB Fernverkehr AG wurde im Februar 2001 in Betrieb genommen. Der Elektrotriebzug stammt aus der 1. Bauserie des Herstellers.

Der ICE 3 ist so konstruiert, dass er mit einem weiteren ICE 3 gekuppelt werden kann. Ein sogenannter Vollzug besteht aus zwei miteinander gekuppelten Halbzügen.

Der 8-teilige Elektrotriebzug besteht aus vier angetriebenen und vier nicht angetriebenen Wagen, wobei immer vier Wagen eine eigenständige Traktionseinheit bilden. Der Zug setzt sich aus zwei Traktionseinheiten (ES) zusammen, die aus einem Endwagen (EW) mit jeweils einem Führerraum, einem Trafowagen (TW), einem Stromrichterwagen (SW) und einem Mittelwagen (MW) bestehen. Der Elektrotriebzug verfügt über eine Dauerleistung von 8.000 kW die sich auf 16 Fahrmotoren (FM) in den Wagen EW, SW, SW, EW verteilt. Die max. Höchstgeschwindigkeit beträgt $V_{max} = 330 \text{ km/h}$.

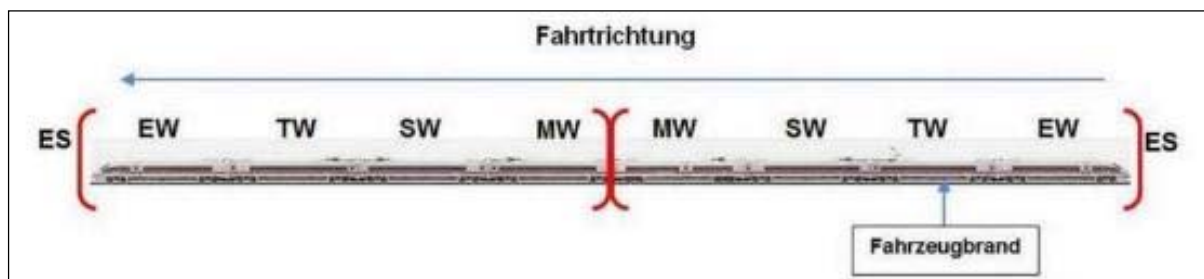


Abbildung 7: schematische Darstellung ICE 3

Aus der folgenden Tabelle lassen sich die technischen Fahrzeugdaten entnehmen:

Antriebsart	elektrischer Antrieb
Kraftübertragung	achsreitendes Getriebe mit Bogenzahnkupplung
Leistung	8.000 kW
Gesamtlänge (LüP)	201 m
Masse	409 t
Höchstgeschwindigkeit	330 km/h
Radsatzfolge	Bo'Bo'+2'2'+Bo'Bo'+2'2'+2'2'+Bo'Bo'+2'2'+Bo'Bo'
Zugsicherungssystem	PZB 90 LZB I 80 CIR-ELKE II

Tabelle 4: technische Daten ICE 3

4.7.2 Auswertung der Fahrzeugdiagnoseeinrichtung

Aus den Diagnoseprotokollen des ICE 511 konnte der zeitliche Ablauf der Störungen rekonstruiert werden:

Zeit	Fehleraufzeichnung	Fahrzeugdiagnose
06:21:33	<p>Erste Abschaltung der Oberleitung wegen Überstrom.</p> <p>zwischen Streckenkilometer 62,0 und 62,5</p> <p>Geschwindigkeit ca. 270 km/h</p>	<p>Detektion Zugsteuerges- rät (ZSG) 1 und ZSG 2 Netzüber- strom. Hardwareschutz hat an- gesprochen.</p> <p>Diese Meldung „geht“ nicht mehr, ist demnach als „anste- hend“ zu sehen.</p> <p>Hs AUS im gesamten Zug inner- halb drei Sekunden. Tf erhält die Meldung Hs wieder einzuschal- ten.</p> <p>Meldung Fahrdrachtunterspan- nung erscheint.</p>

06:21:46	Uw Orscheid schaltet erstmalig automatisch wieder zu. Streckenkilometer ca. km 63,2 Geschwindigkeit ca. 270 km/h	Alle Hs weiterhin AUS
06:21:53		1. Hs Einschaltversuch durch Tf
06:21:58	Zweite Abschaltung Oberleitung und aller Hs wegen Überstrom. Der Kurzschluss wird ab diesem Zeitpunkt über den direkt im Bereich der Brandquelle liegenden sehr stark erhitzten Überspannungsableiter geführt. Streckenkilometer ca. km 64,1 Geschwindigkeit ca. 270 km/h	Detektion Netzüberstrom im Einschaltmoment. Die Rückmeldung Hs EIN im gesamten Zug geht. Meldung in Tz 326/351 ZSG1+2 kommt und Fahrdratunterspannung kommen hintereinander.
06:22:10	Streckenkilometer ca. km 64,9 Geschwindigkeit ca. 270 km/h	Fortschreitende Brandentwicklung.
06:22:34	Oberleitung wird automatisch das zweite Mal eingeschaltet.	Meldung Fahrdratunterspannung geht.
06:22:37		2. Hs Einschaltversuch durch Tf
06:22:39	Dritte Abschaltung Oberleitung und aller Hs. Streckenkilometer ca. km 65,1 Geschwindigkeit ca. 260 km/h Führung des Kurzschlussstromes über den Überspannungsableiter und dessen Betriebserdungsanschlusses.	Detektion Netzüberstrom im Einschaltmoment. Meldung in Tz 326/351 ZSG1+2 kommt und Fahrdratunterspannung kommen hintereinander.
06:22:52	Oberleitung wird automatisch ein drittes Mal eingeschaltet.	Meldung Fahrdratunterspannung geht.

06:23:02		Dritter Hs Einschaltversuch Tf
06:23:04	Vierte Abschaltung Oberleitung und aller Hs. Führung des Kurzschlussstromes über den Überspannungsableiter und dessen Betriebserdungsanschluss.	Detektion Netzüberstrom im Einschaltmoment. Meldung in Tz 326/351 ZSG1+2 kommt und Fahrdrahtunterspannung kommen hintereinander.
06:23:07	Tf führt Betriebsbremsung aus. Streckenkilometer ca. km 69,74 Geschwindigkeit ca. 260 km/h	Fortschreitender Brand im Unterflurbereich.
06:23:29	Oberleitung wird automatisch ein viertes Mal eingeschaltet. Streckenkilometer ca. km 70,6 Geschwindigkeit: ca. 215 km/h	
06:23:31	Streckenkilometer ca. km 70,8 Geschwindigkeit ca. 208 km/h	Tz326 ZSG 2: Buchholzschutz Haupttransformator hat am betroffenen TW angesprochen. Wiedereinschaltsperrung Hs am betroffenen TW. Hs-/ Not-Aus-Steuerung hat angesprochen. Not-Aus steht an bei allen Traktionseinheiten.
06:23:41	Streckenkilometer ca. km 71,70 Geschwindigkeit ca. 180 km/h	Schnellbremsung wird durch den Tf eingeleitet.
06:24:09		ICE 511 hält in Streckenkilometer km 72,38.

Feststellung zur Auswertung der Fahrzeugdiagnose

Lfd. Nr. 7

Bei der Auswertung der Diagnosedaten des Zuges wurde festgestellt, dass ein dreimaliges Wiedereinschalten der Hs möglich war.

Für den Tf war der Brand im Zug anhand der Diagnosemeldungen nicht zu erkennen.

4.7.3 Untersuchungen am Ereignistag

Am Tag des Ereignisses konnten wegen des hohen Zerstörungsgrades eine fahrzeugtechnische Untersuchung nur eingeschränkt durchgeführt werden.

Der Brand hatte sich vom TW 93 80 5403 626-5 bis in den Übergang zum EW 93 80 5403 526-7 ausgebreitet. Der Wärmeeintrag war so hoch, dass die Inneneinrichtung völlig zerstört wurde und einige Scheiben des Wagens zerbarsten. Die restlichen Wagen des Tz 326 waren optisch unbeschädigt, jedoch durch die Rauchentwicklung stark kontaminiert. Die folgenden drei Abbildungen veranschaulichen die Auffindesituation.



Abbildung 8: Bereich des Brandherdes Wagen 93 80 5403 626-5



Abbildung 9: hinterer Teil des Wagens 626 mit Übergang zu Wagen 93 80 5403 526-7



Abbildung 10: zerstörte Inneneinrichtung im EW 93 80 5403 526⁷-7

⁷ DB Systemtechnik GmbH

4.7.4 Weitergehende Untersuchungen

Am 17.10.2018 und 18.10.2018 wurden Untersuchungen an den Schadwagen TW 93 80 5403 626-5 und EW 93 80 5403 526-7 im DB Instandhaltungswerk Krefeld durchgeführt. Wegen des immensen Hitzeeintrages im Bereich des Haupttransformators waren Teile des Fahrzeugdachs abgeschmolzen und hatten zusammen mit dem Fahrzeugboden eine ca. 15 cm dicke Schicht aus Aluminium und anderen Materialien gebildet. Die folgende Abbildung verdeutlicht diesen Zustand.

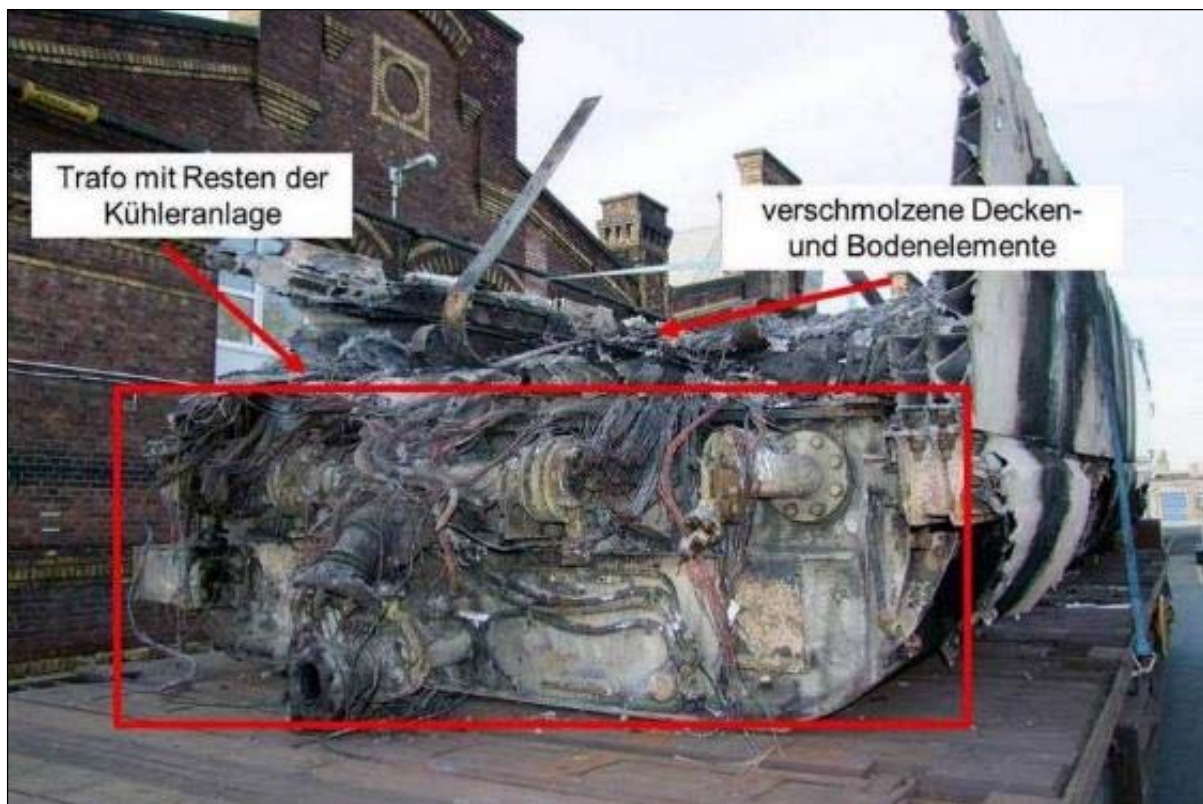


Abbildung 11: Haupttransformator und verschmolzene Decken- und Bodenelemente

4.7.5 Hauptschalter Tz 326 TW 93 80 5403 626-5

Der Hs des TW 93 80 5403 626-5 wurde zu weiteren Untersuchungen ins DB Instandhaltungswerk Dessau überführt.

Die Funktionsprüfungen am Hs des TW 93 80 5403 626-5 auf dem Prüfstand zeigten keine Auffälligkeiten. Die Abbildung zeigt den Hs im ausgebauten Zustand am Prüfstand.



Abbildung 12: Hs des betroffenen TW

4.7.6 Haupttransformator Tz 326 TW 93 80 5403 626-5

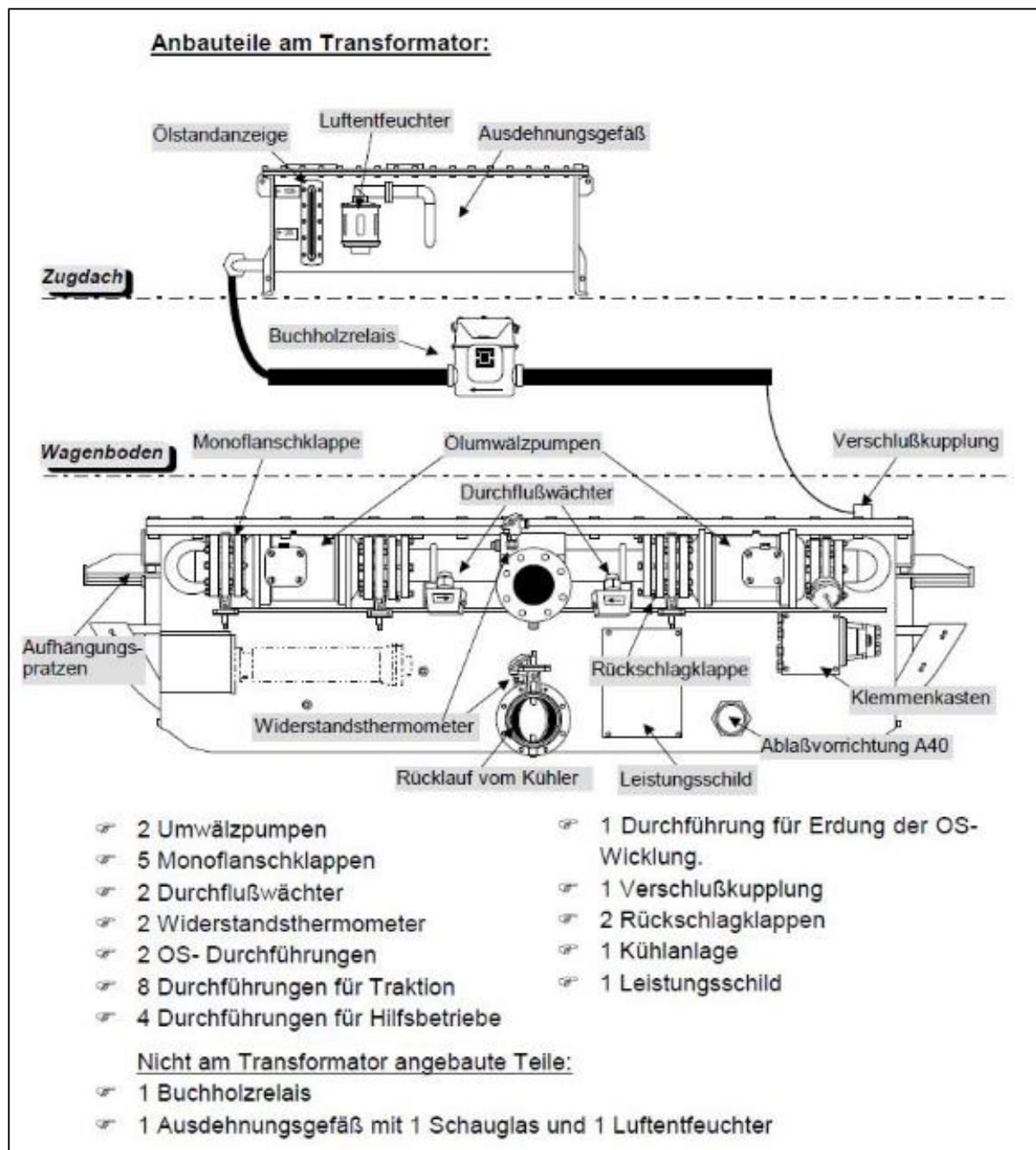
Die Untersuchungen des Haupttransformators wurden ebenfalls im DB Instandhaltungswerk Dessau fortgeführt.

Zur Beschreibung des Haupttransformators wurde auf Inhalte der „Beschreibung Haupttransformator Doku-Nr.: 6204-3-VX, 07.08.2000“ zurückgegriffen. Bei dem Haupttransformator des TW 9380 5403 626 handelte es sich um einen Einphasen-Triebzugtransformator vom Typ EFAT 6842 für 15 kV / 16,7 Hz.

„Der Haupttransformator des ICE 3 wird für das Erzeugen der Traktions- und Hilfsbetriebsspannungen aus dem 15 kV - Netz benötigt. Zu diesem Zweck transformiert er die ihm zugeführte Speisespannung von 15 kV auf die für die vier Traktionseinheiten benötigten 4 x 1103 V und die für die Hilfsbetriebeeinrichtungen benötigten 2 x 331 V“⁸.

Der Transformator wurde für eine Einbaulage unterflur, quer zur Fahrtrichtung konstruiert. Als Kühlflüssigkeit dient ca. 1.640 l (ca.1.300 kg) Transformatorenöl, welches mittels zweier Umlaufpumpen durch den Haupttransformator und die Kühlanlage gepumpt wird. Eine Skizze des Haupttransformators mit seinen Anbauteilen ist der Abbildung 13 zu entnehmen.

⁸ Haupttransformator Doku 6204-3-VX, 07.08.2000

Abbildung 13: Skizze Haupttransformator mit Anbauteilen⁹

Am 15.08.2018 wurde der Haupttransformator gemäß den Herstellervorgaben im Rahmen der Instandhaltungsstufe (IS) 520 letztmalig vor dem Ereignis überprüft. Diese Überprüfung war ohne Befund. Gemäß Herstellervorgaben ist hierbei keine Öffnung des Transformatorenkessels erforderlich.

⁹ Beschreibung Haupttransformator Doku.: 6204-3-VX, 07.08.2000

Der betroffene Haupttransformator mit der Seriennummer 357702 wurde am 01.07.2000 im TW 93 80 5403 631 des Tz 331 eingebaut. Im Zuge einer Rollkur wurde der Haupttransformator in der Zeit ab dem 12.10.2009 durch die Fa. Siemens AG ertüchtigt und am 11.03.2010 in den TW 93 80 5403 626-5 des Tz 326 eingebaut. Zum Zeitpunkt des Ereignisses hatte der Haupttransformator eine Laufleistung von 7.871.104 km. Nach Aussage des Fahrzeughalters lag der Haupttransformator damit im Vergleich zu anderen Haupttransformatoren der BR 403 im oberen Mittelfeld.

Laut Hersteller des Haupttransformators beträgt die Lebensdauer bei sachgerechter Handhabung 30 Jahre. Während dieser Zeit ist ein Ausbau oder Öffnen des Haupttransformators nicht vorgesehen. Das Wartungsprogramm der DB Fernverkehr AG gab im Rahmen der Sachverhaltsermittlung keinen Anlass, die sachgerechte Handhabung zu bemängeln. Aufgrund fortschreitender Erfahrungswerte wurde zwischen Hersteller und dem Betreiber des Fahrzeuges die folgend beschriebene Rollkur beschlossen und umgesetzt.

4.7.7 Rollkur Haupttransformator Nr. 357702

Als Haupttransformator der 1. Bauserie wurde der betroffene Haupttransformator einer Rollkur unterzogen und bei der Firma Siemens AG überarbeitet. Insbesondere die Ausleitungen aus den Wicklungspaketen der beiden Schenkel des Aktivteils zu den Durchführungsanschlüssen erhielten an der Trafowand mehrfach verstärkte Holzpressträger mit deutlich reduzierten Stützabständen. Der Grund für die Rollkur war, dass wegen der anfangs relativ großen Fixierabstände die Ausleitungen, durch Stromkräfte angeregt, zum Schwingen neigten, was zu Materialermüdung und letztlich zu Brüchen in den Kupferbahnen geführt hatte.

4.7.8 Trafokessel

Nach Abnahme des Trafodeckels im DB Instandhaltungswerk Dessau wurden die einzelnen Komponenten auf augenscheinliche Schäden hin untersucht. Zum Abgleich des Ist- und Soll-Zustandes wurde ein Haupttransformator des Tz 313 als Referenz herangezogen.

Der Trafokessel (Abbildung 14) des Tz 326 zeigte Ausbeulungen an Trafodeckel und –boden, die auf einen schlagartigen Druckanstieg innerhalb des Gehäuses hindeuteten, ohne dass es jedoch zu Undichtigkeiten kam.



Abbildung 14: Ausbeulungen am Trafokessel

Trotz eines insgesamt stark verrusteten Aktivteils (Abbildung 15) waren die Ausleitungen am Trafokessel intakt. Die Trafowicklungen Schenkel 1 und Schenkel 2 wiesen Spuren hoher thermischer Belastungen auf wobei ein offenes Feuer im Trafo nicht stattgefunden hatte. Die Holzpressträger waren zwar deformiert doch insgesamt wenig beschädigt. Transformatorenöl war nur noch in geringer Menge vorhanden.



Abbildung 15: geöffneter Haupttransformator Tz 326

Strommarken am Ölkanal und einer Aluminiumabschirmplatte in räumlicher Nähe zum schadhafte Oberspannungswicklungsteilpaket von Schenkel 1 (OS 1) waren Anzeichen für einen Kurzschluss innerhalb des Trafos.

Feststellung zum Trafogehäuse

Lfd. Nr. 8

Festgestellt wurden Ausbeulungen am gesamten Trafokessel. Nach der Öffnung des Trafodeckels waren verrußte Trafokomponenten erkennbar. Teile der Abstandshalter, die zur Stabilisierung der Komponenten verwendet werden, waren beschädigt. Trafoöl war kaum vorhanden. Es befanden sich Strommarken auf der Aluminiumabschirmplatte und auf dem Ölkanal am Boden des Trafokessels.

4.7.9 Oberspannungswicklung Tz 326

Wie auf den folgenden Abbildungen zu erkennen, sind an dem OS 1 in den Scheiben 86-87 und 88-89 Zerstörungen festzustellen. Die Windungen hatten sich verformt und zum Teil gelöst.

Stellenweise war die Isolierung zerstört. Metallische Ablagerungen waren im Bereich der Schadstelle auf der Scheibe 88 zu finden.



Abbildung 16: Kurzschlussstrommarken OS 1¹⁰

¹⁰ DB Systemtechnik GmbH bearbeitet durch BEU



Abbildung 17: Verformung Windung Scheibe 87¹¹



Abbildung 18: Metallpartikel im Bereich der Schädstelle Scheibe 88¹²

¹¹ DB Systemtechnik GmbH

¹² DB Systemtechnik GmbH



Abbildung 19: deformierte OS 1¹³

Die räumliche Lage der Windungskurzschlüsse im Trafokessel zeigte sich im Bereich entlang der Abstandshalter zwischen den Scheiben 86-87 und 88-89. Es befanden sich Metallpartikel auf und zwischen den einzelnen Windungen. Weitere Spuren waren im Bereich der erdpotentialführenden Abschirmplatte sowie im Bereich der gebrochenen Zugstange zu erkennen.

4.7.10 Oberspannungswicklung OS 1 des Referenztrafos

Wegen der besseren Zuordnung der Bauteile und deren Position wurde zum Vergleich ein Haupttransformator als Referenzobjekt bereitgestellt. Bei diesem Haupttransformator, der aus dem Tz 313 stammte, hatten sich ebenfalls Metallpartikel auf den Wicklungspaketen abgelagert und waren in die Zwischenräume der einzelnen Windungen eingedrungen. Weitere Ablagerungen wurden auch im Bereich der Abstandshalter gefunden (siehe folgende Abbildung).

¹³ DB Systemtechnik GmbH



Abbildung 20: Ablagerungen auf den Windungen¹⁴

Feststellung zum Zustand der Windungen

Lfd. Nr. 9
Auf den Windungen an der Schadstelle des OS 1 wurden Strommarken und Deformationen der Ausleitungen festgestellt. Es wurden Metallablagerungen auf einzelnen Windungen des Schadtrafos sowie des Referenztrafos gefunden.

4.7.11 Transformatorenöl

Bei dem verwendeten Trafoöl mit dem Produktnamen Shell Diala S4 ZX-I handelte es sich um handelsübliches Isolieröl auf synthetischer Basis mit Zusatzstoffen.

Aufgaben des Transformatorenöls sind unter anderem:

- spannungsführende Teile der Wicklungen und Ausleitungen gegeneinander und gegen Erde zu isolieren,
- eventuelle Lichtbögen bei Überschlägen zu löschen,
- Verlustwärme aufzunehmen und zu übertragen.

Entsprechend der vorgelegten Unterlagen wurden die vorgeschriebenen Ölproben durchgeführt.

¹⁴ DB Systemtechnik GmbH

Die folgenden Untersuchungen werden innerhalb unterschiedlicher Instandhaltungsstufen per Ölprobe überprüft:

- Reinheit und Farbe
- Neutralisationszahl
- Verseifungszahl
- Inhibitorgehalt
- Dielektrischer Verlustfaktor bei 90°C, 50Hz
- Durchschlagsspannung

Die letzte Überprüfung des Trafoöls erfolgte im Rahmen der IS 700 am 14.03.2016. Dabei wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

4.7.12 Metallpartikel im Öl der Haupttransformatoren

Zur Prüfung des Trafoöls von Tz 326 wurden im Rahmen der Untersuchungen im DB Instandsetzungswerk Krefeld Proben entnommen. Hierbei wurden u. a Metallpartikel gefunden. Wegen der starken Verschmutzung durch Brandentwicklung waren diese Ergebnisse jedoch nicht aussagekräftig. Im Zuge weiterer Untersuchungen im DB Instandsetzungswerk Dessau wurden im Referenztransformator ebenfalls Metallpartikel in den Vertiefungen des Trafokessels gefunden (Abbildung unten), deren Herkunft zum Zeitpunkt der Berichtserstellung unklar und durch den Halter weiterhin in Klärung ist.

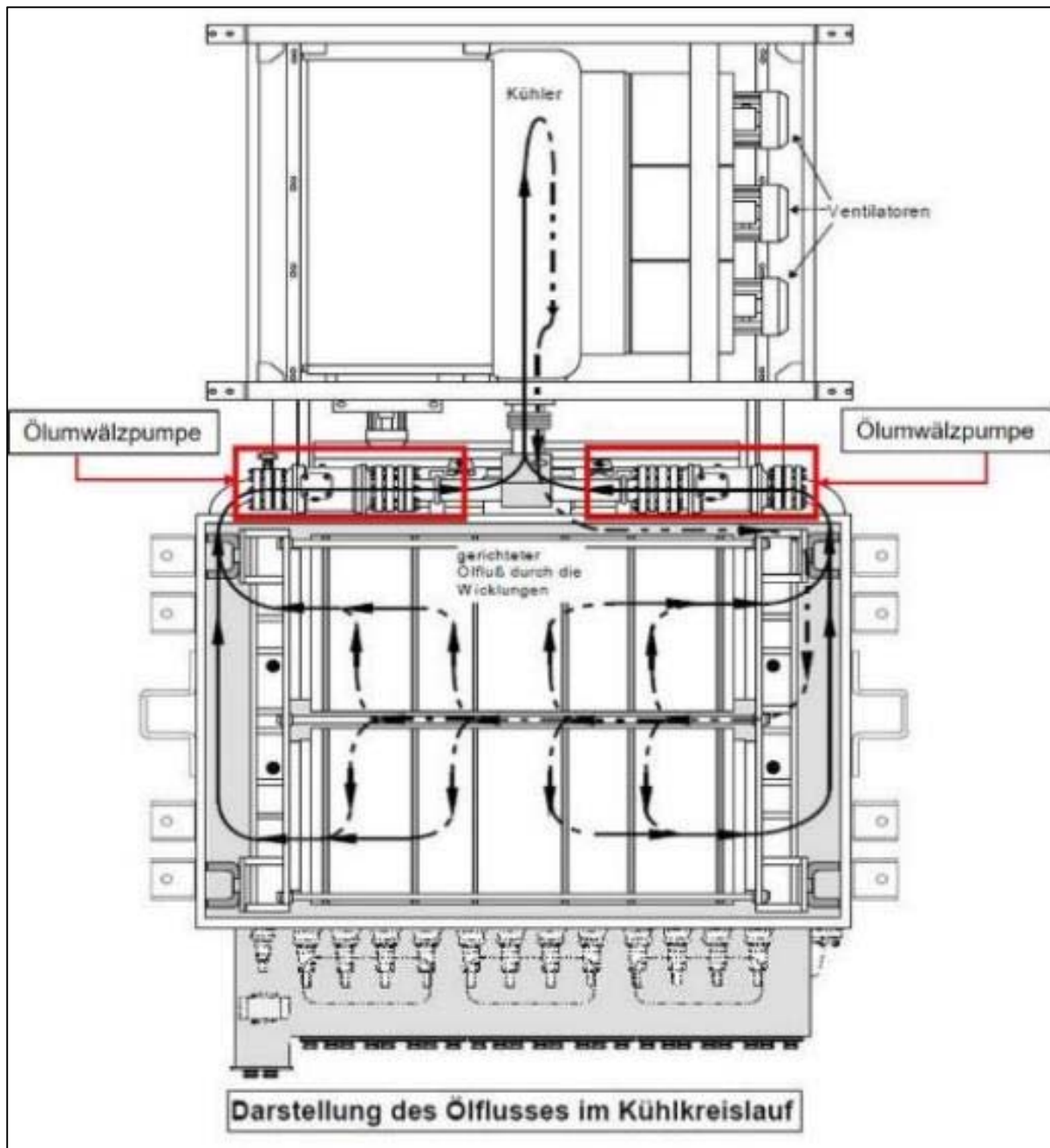


Abbildung 21: Metallpartikel im Referenztrafo¹⁵

4.7.13 Ölkühleranlage

Der Hauptanteil des Transformatorenöls befindet sich im Kessel des Haupttransformators. Von dort aus wird das erwärmte Öl mittels zweier Umwälzpumpen in einen Kühler gepumpt. Die folgende Abbildung veranschaulicht den Ölkühlkreislauf.

¹⁵ DB Systemtechnik GmbH bearbeitet durch BEU

Abbildung 22: schematische Darstellung Ölkühlkreislauf¹⁶

Das abgekühlte Öl fließt von dem Kühler durch eine zweite Rohrleitung in den Kessel zurück. Im Kessel strömt es durch im Boden eingebaute Kanäle, welche das Öl in eine Fließrichtung durch die Wicklungen leiten und somit eine gute Abführung der Wicklungswärme gewährleisten. Die Ölumwälzpumpen des Tz 326 wurden zuletzt am 21.03.2016 während der IS 700 (3.300.000 km) aufgrund der Weisung IW-P63/2015 getauscht. Grund für die Weisung

¹⁶ Beschreibung Haupttransformator Doku-Nr.: 6204-3-VX Version 2.0 bearbeitet durch BEU

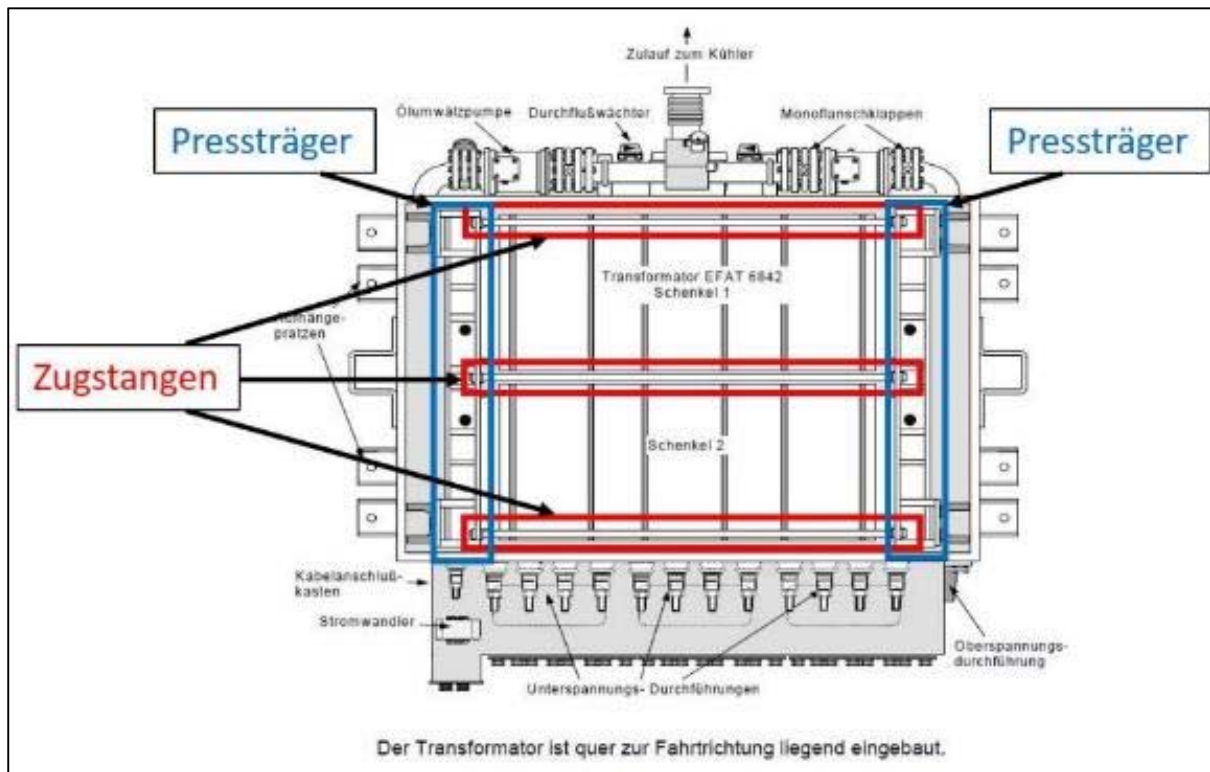
IW P 63/2015 war der vermehrte Ausfall von Ölumwälzpumpen. Die ausgewechselten Pumpen wurden aufgearbeitet und wieder zum Tausch zur Verfügung gestellt. Es war nicht mehr zu ermitteln, ob es sich bei den verbauten Ölumwälzpumpen um „fabrikneue“ oder um „aufgearbeitete“ Pumpen handelte.

Feststellung zum Trafoöl und der Ölkühleranlage

Lfd. Nr. 10
Sowohl im Schadtrafo als auch im Referenztrafo waren Metallpartikel vorhanden. Die Herkunft der Metallpartikel im Schadtrafo konnte u. a. wegen der massiven Zerstörung des Trafos sowie der Anbauteile nicht geklärt werden. Ölproben des Schadtrafo waren wegen des Brandes stark kontaminiert und daher nicht aussagekräftig. Die Herkunft der Metallpartikel im Referenztrafo wird auf Veranlassung des Halters weiter untersucht.

4.7.14 Zugstangen

Zur Stabilisierung der einzelnen Trafokomponenten werden die Leistungsschenkel zwischen einem oberen und einem unteren Pressträger mit einer Kraft von 720 kN eingepresst. Gehalten wird die Presskraft durch insgesamt sechs Zugstangen (X8 Cr Mn Ni 18.8), die an beiden Enden jeweils oberhalb bzw. innerhalb der Pressträger mit Muttern verschraubt sind.

Abbildung 23: Einbausituation Zugstangen und Pressträger¹⁷

Die Muttern der äußeren Zugstangen ($\varnothing 18$ mm) werden mit einem Drehmoment von 240 Nm angezogen, um die Verspannung der Pressträger zu gewährleisten. Die Muttern der mittleren Zugstangen ($\varnothing 24$ mm) werden mit einem Drehmoment von 560 Nm angezogen. Die oberhalb der Pressträger befindlichen Muttern aller Zugstangen benötigen wegen der nach außen wirkenden Presskraft kein zusätzliches Anzugsmoment und werden „handfest“ angezogen.

Die Untersuchungen zeigten, dass die mittlere, zum Trafoboden hin angeordnete Zugstange gebrochen war. Die Anordnung der Zugstangen und die Auffindeposition der gebrochenen Zugstange (rot gekennzeichnet) können der folgenden Abbildung entnommen werden.

¹⁷ Beschreibung Haupttransformator Doku-Nr. 6204-3-VX

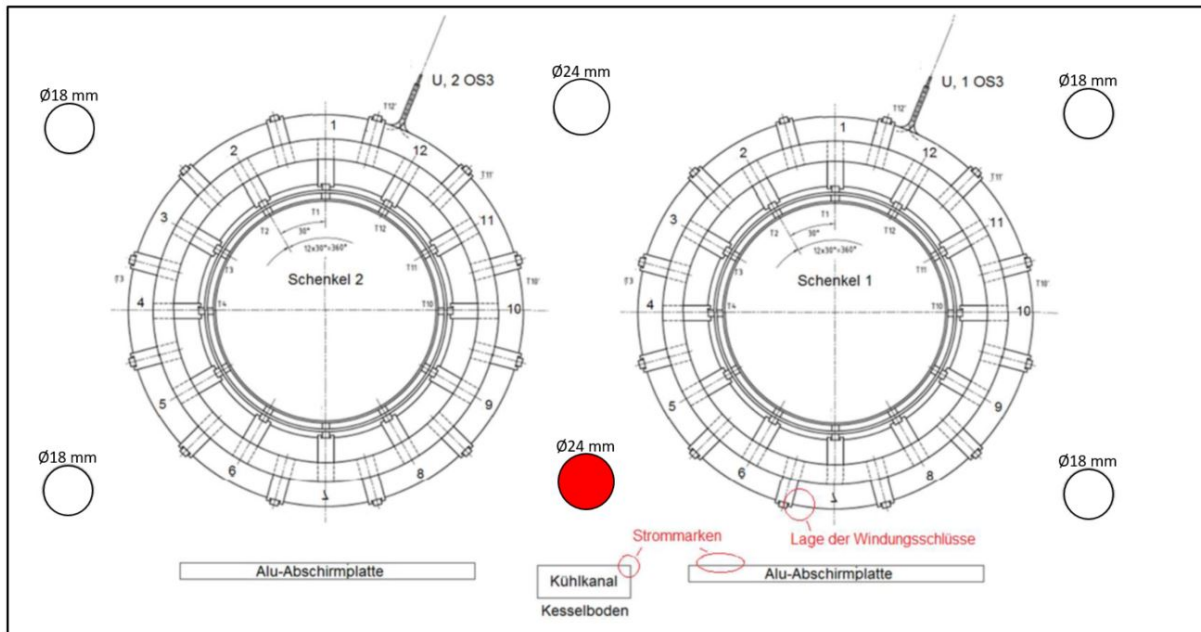


Abbildung 24: Position Zugstangen ¹⁸

Wie der folgenden Abbildung zu entnehmen ist, war der Bruch unmittelbar hinter der inneren Verschraubung entstanden.



Abbildung 25: Bruchstelle der Zugstange ¹⁹

¹⁸ DB Systemtechnik GmbH

¹⁹ DB Systemtechnik GmbH

Die durch den Bruch hervorgerufenen Setzungserscheinungen im Aktivteil des Trafos führten zu einer Herabsetzung der Einspannkraft, wodurch Relativbewegungen innerhalb des Aktivteils ermöglicht wurden. Das Gewinde der betroffenen und bauartgleichen oberhalb angeordneten Zugstange, waren entgegen den Vorgaben, nicht gewalzt, sondern geschnitten.

Feststellung zum Zustand der Zugstange

Lfd. Nr. 11
Die mittlere, zum Trafoboden zeigende Zugstange auf Höhe des Schenkel 1 war gebrochen. Die Zugstange zeigte deutliche Anzeichen eines anfänglichen Ermüdungsbruchs und eines abschließenden Gewaltbruchs. Die Bruchstelle befand sich im Gewindegrund am Ort des ersten Gewindegangs der inneren Sicherungsmutter in unmittelbarer Nähe zur defekten OS 1. Es wurde festgestellt, dass das Gewinde an der Bruchstelle nicht gewalzt, sondern entgegen den Vorgaben mit einem Schneidwerkzeug hergestellt wurde.

4.7.15 Überspannungsableiter

Zur weiteren Sachverhaltsermittlung gehörte die Untersuchung des Überspannungsableiters. Wie auf der folgenden Abbildung zu erkennen, ist der Überspannungsableiter als Anbauteil am Haupttransformator angeflanscht und hat die Funktion, bei einer auftretenden Überspannung an der Hochspannungsseite des Haupttransformators, die Überspannung zu begrenzen und gegen Masse abzuleiten.

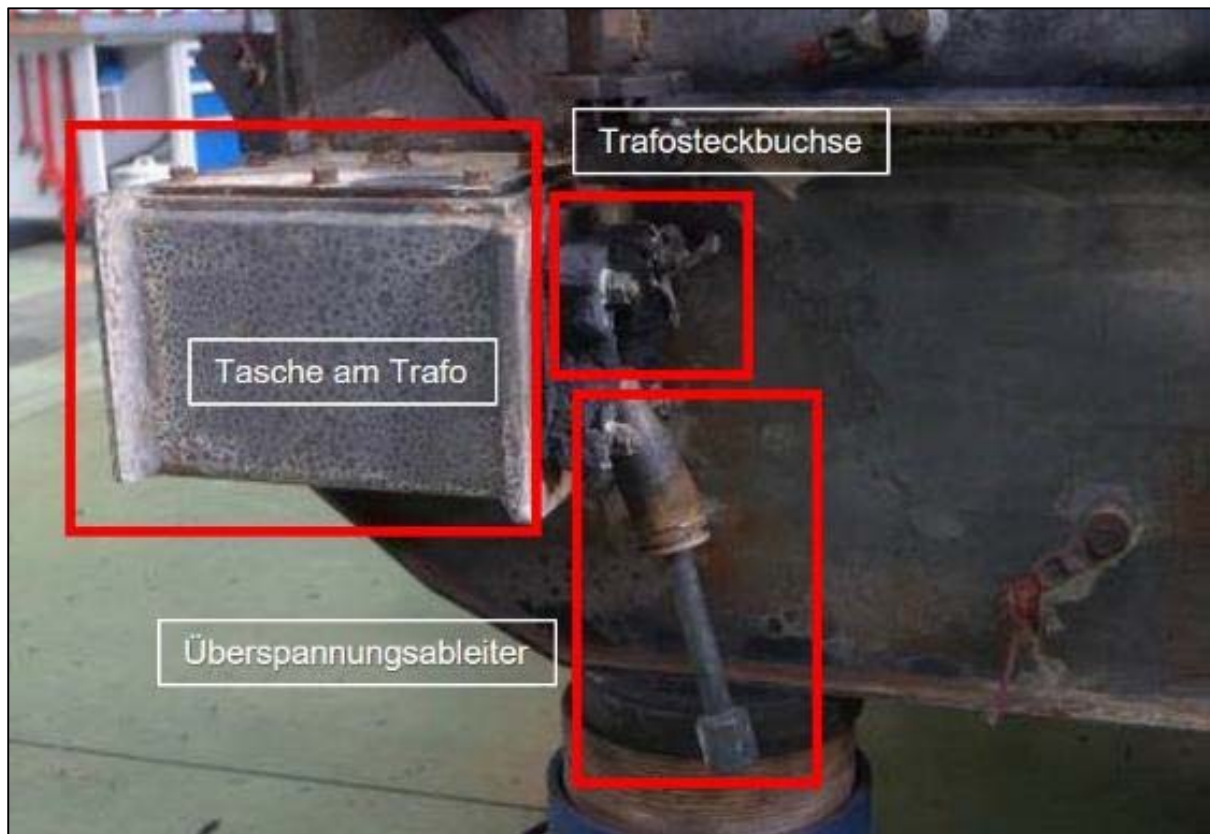


Abbildung 26: zerstörter Überspannungsableiter und Trafosteckbuchse

Abbildung 27: zerstörte Durchführungsbuchse²⁰

Die Abbildung 27 zeigt die geborstene Trafosteckbuchse / Durchführungsbuchse an der Innenseite der Tasche, die sich an der Außenseite des Haupttransformators befindet. Ausgelöst durch den Kurzschluss innerhalb des Trafokessels kam es zu einer schlagartigen Gasbildung im Trafoöl. Der daraus resultierende Druckanstieg führte zur Zerstörung der Durchführungsbuchse woraufhin das Trafoöl über diese Leckage ins Freie ausströmen konnte.

Feststellung zum Überspannungsableiter

Lfd. Nr. 12

Der Überspannungsableiter war nach dem Ereignis in Folge eines Druckstoßes weitestgehend zerstört. Teile der geborstenen Durchführungsbuchse, die aus einem Gießharz hergestellt wird, zeigten scharfkantige Ränder, die auf einen Gewaltbruch hindeuteten. Es waren Strommarken an der Befestigungsschraube sowie am metallischen Durchführungsbuchseninnenteil erkennbar.

²⁰ DB Systemtechnik GmbH bearbeitet durch BEU

4.7.16 Buchholzrelais

Das normgerechte Zwei-Schwimmer-Buchholzrelais des ICE 3 besitzt keine technischen Besonderheiten und wird baugleich beispielsweise auch in den BR 401, 402, 411 oder 415 verwendet. Die vorliegenden Nachweise über durchgeführte Funktionsprüfungen, letztmalig am 02.03.2018, lassen jedoch den Schluss zu, dass das Buchholzrelais intakt war.

Das Buchholzrelais wurde in der Rohrleitung zwischen Trafokessel und Ausdehnungsgefäß unterhalb des Fahrzeugbodens verbaut.

Die Aufgabe des Buchholzrelais besteht insbesondere darin, den Transformator,

- bei langsamer Entstehung von Trafogasen (verursacht durch energieschwache Teilentladungen, Kriechströme und örtliche Überhitzungen),
- bei Verlust von Transformatorenöl (infolge einer Undichtigkeit) und
- bei einem Druckstoß (verursacht durch energiestarke Lichtbogenentladungen und sich dabei rasch in großer Menge entwickelndem Zersetzungsgas)

vor inneren Schäden zu schützen. Hierzu wird eine Buchholzwarnung/Buchholzalarm ausgelöst.

Nach der zum Zeitpunkt der Produktion des ICE 3 gültigen DIN 42566:1989 wird für die Auslösung einer Buchholzwarnung (Stufe 1) eine langsame Gasbildung mit einer Gasmenge von mindestens 180 cm³ benötigt. Ein Buchholzalarm (Stufe 2) wird ausgelöst, wenn ein schlagartiger Druckschwall das Trafoöl für mindestens 0,5 s auf eine Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 1 m/s beschleunigt. Dem Tf wird auf dem MTD des Führerraumes angezeigt, welche Stufe angesprochen hat. Handelt es sich um die Stufe 2 wird der Hs ausgeschaltet und gegen Wiedereinschalten gesperrt.

Aufzeichnungen des Unterwerks belegen, dass die Dauer des Ereignisses im Trafokessel ca. 10 ms betrug. Damit lag die Dauer weit unter der für das Auslösen notwendigen Mindestzeit. Zudem wurde die Durchsteckbuchse des Überspannungsableiters zerstört was zu einem Druckabfall im Trafokessel und zum Ausströmen und Entzünden des Trafoöls führte. Bei den folgenden Kurzschlüssen, die durch einen herausgerissenen Leitungsdraht entstanden, lagen die notwendigen konstruktionsbedingten Voraussetzungen nicht mehr vor, die für ein Ansprechen des Buchholzrelais notwendig gewesen wären. Durch den sich in der Folge ausbreitenden Brand wurde das Buchholzrelais völlig zerstört und weitergehende Untersuchungen nicht mehr möglich.

Erst durch die Fahrzeugdiagnoseeinrichtung wurde etwa 2 Minuten nach dem ersten Kurzschluss eine Nullspannung der Steuerleitung zum Buchholzrelais festgestellt. Dies führte zu einem Buchholzalarm (Stufe 2), der dem Tf auf dem MTD angezeigt wurde. Der zugehörige Hs wurde ausgeschaltet und gegen Wiedereinschalten gesperrt.

Feststellung zum Buchholzrelais

Lfd. Nr. 13
Die Auswertungen ergaben, dass die Wiedereinschaltsperrung des Hs durch einen Buchholzalarm (Stufe 2) ausgelöst wurde. Obwohl das eigentliche Buchholzrelais nicht mehr in Takt war, wurde über die Fahrzeugdiagnoseeinrichtung ca. zwei Minuten nach dem ersten Kurzschluss ein „Buchholzalarm“ ausgegeben.

4.8 Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3

In Kapitel 4.3 Unterflurkomponenten des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3 wird auf eine sogenannte realistische schutzzielorientierte Einschätzung eines möglichen Brandentstehungsrisikos eingegangen. Daraus geht hervor, dass die schutzzielorientierte Betrachtung über die Anforderungen der DIN 5510 hinaus durchgeführt wurde.

Die schutzzielorientierte Betrachtung führte zu folgenden Fragestellungen, die durch eine Arbeitsgemeinschaft ICE 3 untersucht wurden:

- Möglichkeiten der Brandentstehung in der Komponente
- konstruktive Maßnahmen zur Brandverhütung
- Überwachungs- und Abschaltmaßnahmen zur Brandverhütung
- bekannte Brandfälle
- Bewertung des Brandrisikos der Komponente

Die Arbeitsgemeinschaft ICE 3 prüfte auch die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Brandes am Haupttransformator und der Kühlanlage, die vom Fahrzeughersteller als „äußerst gering“ und nach Einschätzung der DB AG als „gering“ eingestuft wurde.

4.8.1 Schutzziele des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3

Auszug aus dem Kapitel 3.5 Schutzziele des Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3:

„Das Schutzziel des vorliegenden Brandschutzkonzepts ist entsprechend den Vorgaben der DIN 5510-1 [1] der Personenschutz. Der Sachschutz gehört nicht zum beabsichtigten Schutzziel, obwohl einzelne Maßnahmen auch dem Sachschutz dienen.“²¹

Übergeordnetes Schutzziel: „Personenschutz“		
Teilschutzziel 1	Teilschutzziel 2	Teilschutzziel 3
Verhinderung eines durch Brandstiftung im Fahrgastraum entstehenden Brandes.	Verhinderung eines durch technische Defekte entstehenden Brandes.	Verzögerung und Begrenzung der Brandausbreitung für diejenigen Fälle, in denen Teilschutzziele 1 und 2 nicht erreicht werden.

Tabelle 5: Schutzziele des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3

4.8.2 Brandmeldeeinrichtungen 12-18069 ICE 3

Aus dem genannten Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3 wird folgende Passage zitiert:

„Im ICE 3 sind keine Brandmeldeeinrichtungen vorhanden. Indirekt ist jedoch beispielsweise durch Temperaturüberwachung einiger Komponenten (z. B. Klima, Stromrichter ...) auch die Erfassung eines Brandes möglich. Dabei werden schon vor Erreichen brandtypischer Temperaturen oder bei Sensorenausfall geeignete Schutzmaßnahmen eingeleitet. Explizite Brandmeldungen an Tf oder Zugbegleitpersonal (Zub) infolge überhöhter Temperatur sind nicht vorgesehen.“²²

Nähere Angaben zu o. g. Schutzmaßnahmen sind nicht aufgeführt.

4.8.3 Kommunikation

Gemäß Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3 Kapitel 7.2.1 sind bei der Konstruktion Maßnahmen ergriffen worden, die dazu dienen sollen, die Möglichkeit von Durchsagen jederzeit zu gewährleisten. Werkstattdokumentationen belegen, dass die Beschallungsanlage im betroffenen Wagen mindestens seit dem 06.10.2018 defekt war. Auch bei der Überprüfung am 12.10.2018 wurde der Fehler nicht behoben, so dass die Beschallungsanlage im betroffenen

²¹ Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3

²² Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3

Wagen zum Ereigniszeitpunkt nicht funktionierte. Eine Kommunikation zwischen Tf, Zugführerin und Servicechefin hat zu jeder Zeit stattgefunden.

4.8.4 Evakuierung

Wie den Aussagen des Zub zu entnehmen, forderten diese den Tf auf, den Zug aufgrund des Brandes anzuhalten und leiteten die Evakuierung des Zuges ein. Die Räumung der beiden letzten Wagen erfolgte zunächst in Eigeninitiative der Reisenden.

In den Halbzügen der BR 403 sind zwei Hilfsleitern vorgesehen, die in der Deckenverkleidung des jeweiligen Endwagens untergebracht sind. Im Bereich der Bistrowagen finden sich hinter einer Wandverkleidung zwei Evakuierungsstege, die sowohl als Hilfsleitern wie auch als Übergangsstege zu einem auf dem Nachbargleis stehenden Zug benutzt werden können. Die Position ist durch Piktogramme kenntlich gemacht. Detaillierte Beschreibungen über Ort und Anzahl von Notausstiegen und Notausstiegsfenstern sind vorhanden.

Feststellung zum Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3

Lfd. Nr. 14

Die im Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3 aufgeführten Teilschutzziele 1 und 2 sind auf die Verhinderung eines Brandes des Zuges ausgerichtet. Wie beschrieben sollen diese Teilschutzziele durch die Bauweise des Zuges sowie der Verarbeitung brandhemmender Materialien erreicht werden. Brandmeldeanlagen und Brandmeldungen an Tf und Zub aufgrund erhöhter Temperaturen wurden nicht vorgesehen.

Weiterhin wurde festgestellt, dass trotz wiederholtem Werkstattaufenthalt die defekte Beschallungsanlage im betroffenen Wagen TW 93 80 5403 626-5 nicht in Stand gesetzt werden konnte. Als mögliche Rückfallebene war ein Megafon vorhanden.

Die vorhandenen Hilfsmittel waren im vorliegenden Fall geeignet das Selbstrettungskonzept umzusetzen und die Evakuierung des Zuges erfolgreich durchzuführen.

4.9 Bisherige Ereignisse ähnlicher Art

Am 30.06.2005 während der Abstellung im Werk Frankfurt-Griesheim und am 15.08.2009 auf der Strecke Leverkusen/Mitte - Köln-Mülheim, kam es zu Brandereignissen in Folge von Kurzschlüssen im Haupttransformator. Vorausgegangen war in beiden Fällen eine Leckage am Überspannungsableiter wodurch Trafoöl ausfließen konnte.

5 Auswertung

Das Kapitel 5 Auswertung befasst sich mit der Ereignisrekonstruktion. Anhand der oben genannten Feststellungen wird ein plausibler Ablauf des gefährlichen Ereignisses zusammengetragen. Relevante Erkenntnisse werden anschließend bewertet und führen ggf. zu entsprechenden Schlussfolgerungen.

5.1 Ereignisrekonstruktion

Der Halbzug ICE 3 mit der DB internen Bezeichnung Tz 326 wurde am Tag des Ereignisses mit einem weiteren Halbzug ICE 3 Tz 351 gekuppelt und befand sich auf der Fahrt von Köln Hbf nach München Hbf. Bis zum Ereigniseintritt waren keine Unregelmäßigkeiten zu verzeichnen. Um ca. 06:21 Uhr zwischen ca. km 62,0 und 62,5 kam es zu einer ersten Hauptschalterauslösung und Ausschaltung der Oberleitung. Die Rekonstruktion des Ereignisses ergab, dass es zeitgleich mit dieser Hauptschalterauslösung zu einer massiven Hitzeentwicklung im Bereich des in Fahrtrichtung hinteren Haupttransformators des Tz 326 gekommen war. Die Aufzeichnungen der Zes wie auch die Datenauswertungen des Zuges belegen ein viermaliges Abschalten der Oberleitung und dreimaliges Wiedereinschalten der Hs im Zug. Grund für das wiederholte Auslösen waren Kurzschlüsse im Haupttransformator und im Bereich des Überspannungsableiters am Haupttransformator des Wagens TW 93 80 5403 626-5. Der Tf erhielt über das MTD die Meldung Netzüberstrom als Begründung für die erstmalige Ausschaltung. Zeitgleich sorgten automatisierte Schaltvorgänge der Zes dafür, dass die Oberleitung wieder eingeschaltet wurde. Der Tf konnte an der Fahrdrahtspannungsanzeige erkennen, dass die Oberleitung wieder mit Spannung versorgt wurde. Die Meldung Netzüberstrom wurde weiterhin im MTD angezeigt. Die Hs ließen sich wieder einschalten. Laut EFR-Daten leitete der Tf während dieser Ereignisse bereits eine Betriebsbremsung ein. Nach dem dritten Wiedereinschaltversuch wurde der betroffene Hs durch die Wiedereinschaltsperre des Buchholzschutzes gesperrt. Dies war auf die Nullspannung der Steuerleitung zum Buchholzrelais, bedingt durch die Brandeinwirkung im Unterflurbereich zurückzuführen. Zeitgleich wurde dem Tf Buchholzalarm im MTD angezeigt und er erhielt durch die Zugbegleiterin die Information vom Brand im hinteren Zugteil. Daraufhin brachte er den Zug mit einer Schnellbremsung zum Halten. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte der Zug seit der ersten Auslösung der Hs eine Strecke von ca. 10 km zurückgelegt.

5.2 Bewertung und Schlussfolgerung

Die Feststellungen der lfd. Nr. 1 bis 6 zeigen, dass weder Wetterbedingungen, Notfallmanagement, die bautechnische Infrastruktur, Leit- und Sicherungstechnik noch betriebliche Handlungen von EVU und EIU als begünstigend oder ursächlich für den Ereigniseintritt einzustufen waren.

Zu der Feststellung lfd. Nr. 7

Nach Auswertung der Diagnoseeinrichtungen zeigte sich, dass es zu mehrmaligen Wiedereinschaltungen der Hs und der Fahrdrachtspannung gekommen war. Trotz des Brandes am Haupttransformator war es möglich, dass der Tf die Hs wiederholt einschalten konnte. Das sofortige Abschalten nach Wiedereinschaltung von Hs und Fahrdrachtspannung belegt, dass ein Kurzschluss anstand.

Zu den Feststellungen lfd. Nr. 8 bis 10

Als sekundäre Ursache für den Fahrzeugbrand am TW 93 80 5403 626-5 des Tz 326 wird eine Schädigung der Leiterisolierung zwischen den äußeren Windungen der Scheiben 87 oder 88 der OS 1 angenommen. Diese Schädigung führte zu einem zeitweisen Windungskurzschluss. In der Folge kam es zu einer Verformung der kurzgeschlossenen Windung die dazu führte, dass diese Windung aus der betroffenen Scheibe herausgerissen wurde, ohne dass dabei der Leitungsdraht abbriss. Der lokale Lichtbogen der bei diesem Windungskurzschluss entstand, zerstörte die Isolierung der Scheiben 86 und 89. Dadurch kam es zum Überschlag im Bereich der Scheiben 86-87 und 88-89 und in der Folge zu einer sehr starken Überhitzung des Trafoöls mit einer erheblichen Gasentwicklung. Ein weiterer Windungsdraht, der sich aus dem Bereich des Windungskurzschlusses gelöst hatte, kam wiederholt in Kontakt mit dem Trafokessel. Dadurch konnten auf dem bisherigen Kurzschlusspfad weitere Lichtbögen entstehen und sich die Gasdruckwelle weiter verstärken.

Trotz des Kurzschlusses im Haupttransformator, der zu erheblichen Deformationen am Trafokessel und Deckel führte, konnten keine Undichtigkeiten am eigentlichen Trafokessel festgestellt werden. Es gab keine Hinweise auf offene Flambildung innerhalb des Haupttransformators.

Weitere Untersuchungen ergaben, dass sich Metallpartikel wie sie bereits im Referenztrafo vorgefunden wurden, auch im Schadrafo abgelagert hatten. Es wurden Metallpartikel auf der

Windungsisolierung festgestellt. Weitere Untersuchungen des Herstellers sowie der DB Systemtechnik GmbH ergaben, dass es durch Metallpartikel zu Teilentladungen gekommen sein könnte. Teilentladungseffekte beschreiben den Vorgang unvollständiger Durchschläge, d. h. es versagt nicht die gesamte Isolierung, sondern nur Teilbereiche. Wie bedeutend die Schädigung der Leiterisolierung aufgrund von Teilentladungseffekten war, konnte nicht festgestellt werden. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigten aber, dass die Metallpartikel auf der Windungsisolierung als alleinige Ursache für den Windungskurzschluss als eher unwahrscheinlich anzusehen waren.

Zu der Feststellung lfd. Nr. 11

Der Bruch der Zugstange war wahrscheinlich primär ursächlich für die Ereignisentwicklung. Durch die gebrochene Zugstange und den damit möglichen Relativbewegungen innerhalb des Trafos entwickelten sich Reibflächen an der Windungsisolierung. In der Folge kam es zum Windungskurzschluss.

Der Bruch war aufgrund der Charakteristik zweifelsfrei einem Ermüdungsbruch zuzuordnen. Der Beginn des Ermüdungsrissses entstand im Gewinde der Zugstange und befand sich an der Unterseite der unteren Zugstange. Die Untersuchungen der DB Systemtechnik GmbH zeigten, dass es sich um einen langsam entstehenden Ermüdungsriß handelte, wobei der weitere Fortschritt des Ermüdungsrissses und möglicherweise auch der finale Gewaltbruch schon vor dem Brandereignis gelegen haben könnten. Mechanische oder werkstoffbedingte Defekte im Bereich des Rissausgangs konnten ausgeschlossen werden. Abweichend von den Zugstangen mit $\varnothing 18$ mm waren die Gewinde der Zugstangen mit $\varnothing 24$ mm nicht zeichnungsgerecht gewalzt, sondern geschnitten. Dadurch fehlte die beim Gewindewalzen bedingte Kaltverfestigung, die sich anrisshemmend auswirkt. Möglicherweise hat sich dieser Umstand begünstigend auf den Anriss im Gewindegang ausgewirkt.

Zu der Feststellung lfd. Nr. 12

Wegen des Kurzschlusses und dem damit verbundenen, schlagartig ansteigenden Gasdruck im Trafokessel war es zu einem Bruch der aus Gießharz bestehenden Durchführungsbuchse in der seitlich vom Trafo angebrachten Tasche des Überspannungsableiters gekommen. Durch die entstandene Undichtigkeit konnte der Gasdruckanstieg abgebaut werden und Trafoöl austreten. Der bisherige durch den Windungskurzschluss entstandene Kurzschlusspfad wurde unterbrochen, als der Windungsdraht aufgrund von dynamischen Bewegungen keinen Kontakt

mehr zum Trafokessel hatte. Wegen der gebrochenen Steckbuchse war die Isolierstrecke nun nicht mehr ausreichend, was zu einem Erdschluss am Überspannungsableiter und damit zu einem neuen Kurzschlusspfad führte. Am Lichtbogen bzw. der in Folge heißen Bauteile im Bereich der zerstörten Durchführungsbuchse des Überspannungsableiters konnte sich weiter austretendes Öl entzünden. Im weiteren Verlauf kam es bei jedem Zuschalten des Hauptschalters zu einem harten Kurzschluss des Netzes im Bereich des Überspannungsableiters. Dass es zu einer Leckage an der Tasche des Überspannungsableiters kam, ist auch auf die Materialbeschaffenheit der Durchführungsbuchse zurückzuführen. Außerdem ist der Einbauort des Überspannungsableiters, als ein am Trafokessel angeflanshtes Bauteil, abweichend von der Positionierung bei anderen BR. Im Gegensatz zum ICE 3 befinden sich die Überspannungsableiter beispielsweise der BR 401, 402, 407,411/415 auf dem Fahrzeugdach. Durch die Anordnung auf dem Fahrzeugdach wird eine potentielle Gefahrenquelle, wie Sie die Position des Überspannungsableiters beim ICE 3 darstellt, ausgeschlossen.

Zu der Feststellung lfd. Nr. 13

Zur Überwachung innerer Fehler oder dem Verlust von Trafoöl ist in der Rohrleitung zwischen Trafokessel und Ausdehnungsgefäß ein Zwei-Schwimmer-Buchholzrelais installiert. Das Buchholzrelais reagiert bei langsamer Gasbildung mit einer Warnmeldung. Eine Alarmmeldung wird bei einem schlagartigen Druckschwall ausgelöst. Dieser muss über eine definierte Zeit und mit einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit anstehen.

Der schlagartige Druckanstieg, hervorgerufen durch einen Kurzschluss im Trafokessel, war wegen seiner Entstehung und Dauer nicht geeignet eine Buchholzwarnung oder einen Buchholzalarm auszulösen. Weder die notwendige Strömungsgeschwindigkeit noch die notwendige Zeit zur Auslösung, die das Buchholzrelais zum Ansprechen benötigt, wurden offensichtlich erreicht. Durch den zeitgleichen Kurzschluss und die Zerstörung der Durchführungsbuchse des Überspannungsableiters konnten die notwendigen Voraussetzungen für ein Ansprechen des Buchholzrelais auch nach weiteren Kurzschlüssen nicht erreicht werden. In der Folge wurde das Buchholzrelais, das in der Rohrleitung zwischen Trafokessel und Ausdehnungsgefäß im Fahrzeugboden angebracht ist, durch die zunehmende Hitzeentwicklung zerstört.

Zu der Feststellung lfd. Nr. 14

Laut Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3 ist das übergeordnete Schutzziel der „Personenschutz“. Folgerichtig werden die Ausrichtungen der Teilschutzziele und die dafür notwendigen

Maßnahmen beschrieben. Auf die Einbeziehung der Möglichkeit eines Brandes im Bereich des Haupttransformators wurde verzichtet. Nach Darstellung einer Arbeitsgemeinschaft ICE 3, die mit der Einstufung des Brandrisikos im Unterflurbereich beauftragt war, wurde dieses Risiko seitens des Herstellers als „äußerst gering“ seitens der DB AG als „gering“ eingestuft.

Der Brandschutz im ICE 3 wird in erster Linie durch den Einsatz brandhemmender Materialien realisiert. Durch Feuerlöscher, Brandschutztüren etc. werden Vorkehrungen zum Brandschutz vornehmlich im Fahrgastraum getroffen. Indirekt sollen durch Temperaturmeldeeinrichtungen einiger Komponenten, noch vor dem Erreichen „brandtypischer“ Temperaturen, geeignete Schutzmaßnahmen eingeleitet werden. Welche Schutzmaßnahmen damit gemeint sind, wird nicht näher erläutert. Brandmeldeeinrichtungen sind laut Brandschutzkonzept 12-18069 ICE 3 ausdrücklich nicht vorgesehen.

Bedingt durch die defekte Durchführungsbuchse konnte Trafoöl ungehindert austreten und sich im Bereich des Überspannungsableiters entzünden. Das Teilschutzziel 2 des Brandschutzkonzeptes 12-18069 ICE 3, wonach die Ausbreitung von Bränden durch technische Defekte verhindert werden sollen, wurde nicht erreicht.

6 Bisher getroffene Maßnahmen

Während der laufenden Untersuchungen wurden durch DB Fernverkehr AG erste Maßnahmen zur zukünftigen Vermeidung gleichartiger Ereignisse getroffen:

- mit der Instandhaltungstechnischen Weisung IW-P(S) 685/2018 wurden ad hoc Maßnahmen zur Kontrolle und Bewertung des Trafoöls festgelegt. Um mögliche Verunreinigungen im Trafoöl zu beseitigen und um einen einheitlichen Istzustand herzustellen wurde eine einmalige Ölfiltration aller Haupttransformatoren der BR 403 angewiesen
- im Rahmen der IS 200 (Nachschau alle 24.000 km) werden Ölproben entnommen und labortechnisch untersucht. Zeigen sich Auffälligkeiten wird, gemessen am Verunreinigungsgrad, das Trafoöl filtriert, ausgetauscht oder der komplette Haupttransformator gewechselt,
- ein sukzessiver Wechsel des Trafoöls hin zu Esteröl mit einem höheren Flammpunkt wurde eingeleitet,
- um die Ölumwälzpumpen am Haupttransformator als mögliche Verursacher einer Verschmutzung des Trafoöls auszuschließen, werden durch Hörprüfung auffällige Pumpen

unverzüglich getauscht. Grundsätzlich werden zukünftig alle Ölumwälzpumpen ab IS 600 getauscht,

- es wurden Maßnahmen zum sukzessiven zeichnungsgerechten Austausch der Zugstangen im Rahmen einer Haupttransformatorrollkur eingeleitet,
- zur einmaligen Überprüfung aller Überspannungsableiter unter Beachtung der neuen Kriterien bei Nachschau- und Fristarbeiten hat die DB Fernverkehr AG die Weisung IW-P (S) 686/2018 präzisiert.

Es wurden Abstimmungsgespräche mit dem Hersteller geführt, um konstruktive Lösungsmöglichkeiten zur Verlegung des Überspannungsableiters am Haupttransformator auf das Fahrzeugdach zu ermitteln und zu bewerten.

7 Sicherheitsempfehlungen

Gemäß § 6 EUV und Art. 26 Abs. 2 der Richtlinie (EU) 2016/798 ergeben nachfolgende Sicherheitsempfehlungen:

lfd. Nr.	Sicherheitsempfehlung	betrifft Unternehmen
2/2020	Durch die Bruchanfälligkeit der aus Gießharz bestehenden Durchführungsbuchse an der Tasche des Überspannungsableiters entsteht eine potentielle Gefahrenquelle bei einem Kurzschluss im Haupttransformator. Es wird empfohlen die aus Gießharz bestehende Durchführungsbuchse durch ein widerstandsfähigeres Material zu substituieren.	DB Fernverkehr AG
3/2020	Abweichend von anderen ICE-Baureihen befindet sich der Einbauort für den Überspannungsableiter unmittelbar unterflur am Haupttransformator. Es wird daher empfohlen, den Einbauort zu überprüfen und entsprechend zu modifizieren.	DB Fernverkehr AG

4/2020	Im derzeitigen Brandschutzkonzept des ICE 3 ist ein Notfallszenario im Falle eines Brandes im Bereich des Haupttransformators nicht vorgesehen. Es wird empfohlen, das Brandschutzkonzept um mögliche Brandszenarien im Unterflurbereich zu erweitern.	DB Fernverkehr AG
--------	--	-------------------