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 Entgleisung eines Bauzugs

vom 22. Juni 2022

in Heimberg (BE)

Reg.-Nr. 2022062201

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
3003 Bern
Tel. +41 58 466 33 00, Fax +41 58 466 33 01
info@sust.admin.ch
www.sust.admin.ch

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Der alleinige Zweck der Untersuchung eines Unfalls oder eines schweren Vorfalls ist die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen[1]. 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.

[1] Artikel 15 des Eisenbahngesetzes vom 20. Dezember 1957 (EBG), Stand am 1. Januar 2022 (SR *742.101*)

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung 5
1.1 Kurzdarstellung 5
1.2 Überblick 5
1.3 Ursachen 5
1.4 Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise 5
2 Sachverhalt 6
2.1 Ort des Ereignisses 6
2.2 Untersuchung 7
2.3 Ablauf des Ereignisses 7
2.4 Schäden 8
2.4.1 Personen 8
2.4.2 Infrastruktur 8
2.4.3 Fahrzeuge 8
2.4.4 Umwelt 8
2.5 Beteiligte und betroffene Personen 9
2.5.1 Lokführer Zuglok (Lf1) 9
2.5.2 Lokführer Schiebelok (Lf2) 9
2.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen 9
2.6.1 Infrastrukturbetreiberin 9
2.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen 9
2.6.3 Fahrzeughalter 10
2.7 Infrastruktur 10
2.7.1 Bahnanlage 10
2.7.2 Stellwerk 12
2.7.3 Leittechnik 12
2.8 Fahrzeuge 13
2.8.1 Übersicht 13
2.8.2 Entgleiste Verdicht- und Planiermaschine 13
2.9 Kommunikation 14
2.10 Auswertung der Datenaufzeichnung 14
2.10.1 Fahrdaten 14
2.10.2 Iltis-Film 14
2.10.3 Gesprächsaufzeichnung 14
2.10.4 Video 15
2.11 Besondere Untersuchungen 15
2.11.1 Wetter, Sichtverhältnisse, Schienenzustand 15
2.11.2 Ölanalyse 15

2.11.3 Untersuchung des entgleisten Fahrzeugs 15
2.11.4 Untersuchung Trennung des hydrostatischen Motors vom Getriebe 21
3 Analyse 24
3.1 Technische Aspekte 24
3.1.1 Ablauf der Entgleisung 24
3.1.2 Ölproben 24
3.1.3 Trennung hydrostatischer Motor vom Getriebe 24
3.2 Organisatorische Aspekte 25
3.3 Betriebliche Aspekte 25
3.4 Menschliche Aspekte 25
4 Schlussfolgerungen 26
4.1 Befunde 26
4.1.1 Technische Aspekte 26
4.1.2 Organisatorische Aspekte 26
4.1.3 Betriebliche Aspekte 26
4.1.4 Menschliche Aspekte 26
4.2 Ursachen 26
5 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen 27
5.1 Sicherheitsempfehlungen 27
5.2 Sicherheitshinweise 27
5.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen 27

1 Zusammenfassung

1.1 Kurzdarstellung

Am 22. Juni 2022 um 10:03 Uhr entgleiste bei der Einfahrt in Heimberg (BE) eine, in einem Bauzug eingereihte Verdicht- und Planiermaschine. Die Entgleisung wurde erst auf der Ausfahrseite festgestellt und der Zug wurde sofort angehalten.

1.2 Überblick

Verkehrsmittel	Eisenbahn
Beteiligte Unternehmen	
Eisenbahnverkehrs-unternehmen	BLS Netz AG (BLSN), Bern
Infrastrukturbetreiberin	BLS Netz AG (BLSN), Bern
Weitere Unternehmen	Scheuchzer SA (SCHEU), Bussigny
Beteiligte Fahrzeuge	Baudiensttraktor Tm 235 213, BLSN (Zugspitze) Verdicht- und Planiermaschine Dp 953, SCHEU Stopf- und Niveliermaschine Bna 662, SCHEU Baudiensttraktor Tm 234 381, BLSN (Zugschluss)

1.3 Ursachen

Die Entgleisung einer Verdicht- und Planiermaschine am 22. Juni 2022 in Heimberg ist darauf zurückzuführen, dass sich während der Fahrt ein hydrostatischer Motor vom Getriebe der Maschine löste, in das Gleis hinunterhing und bei einer Weiche eine Achse zum Entgleisen brachte.

Zum Unfall haben beigetragen:

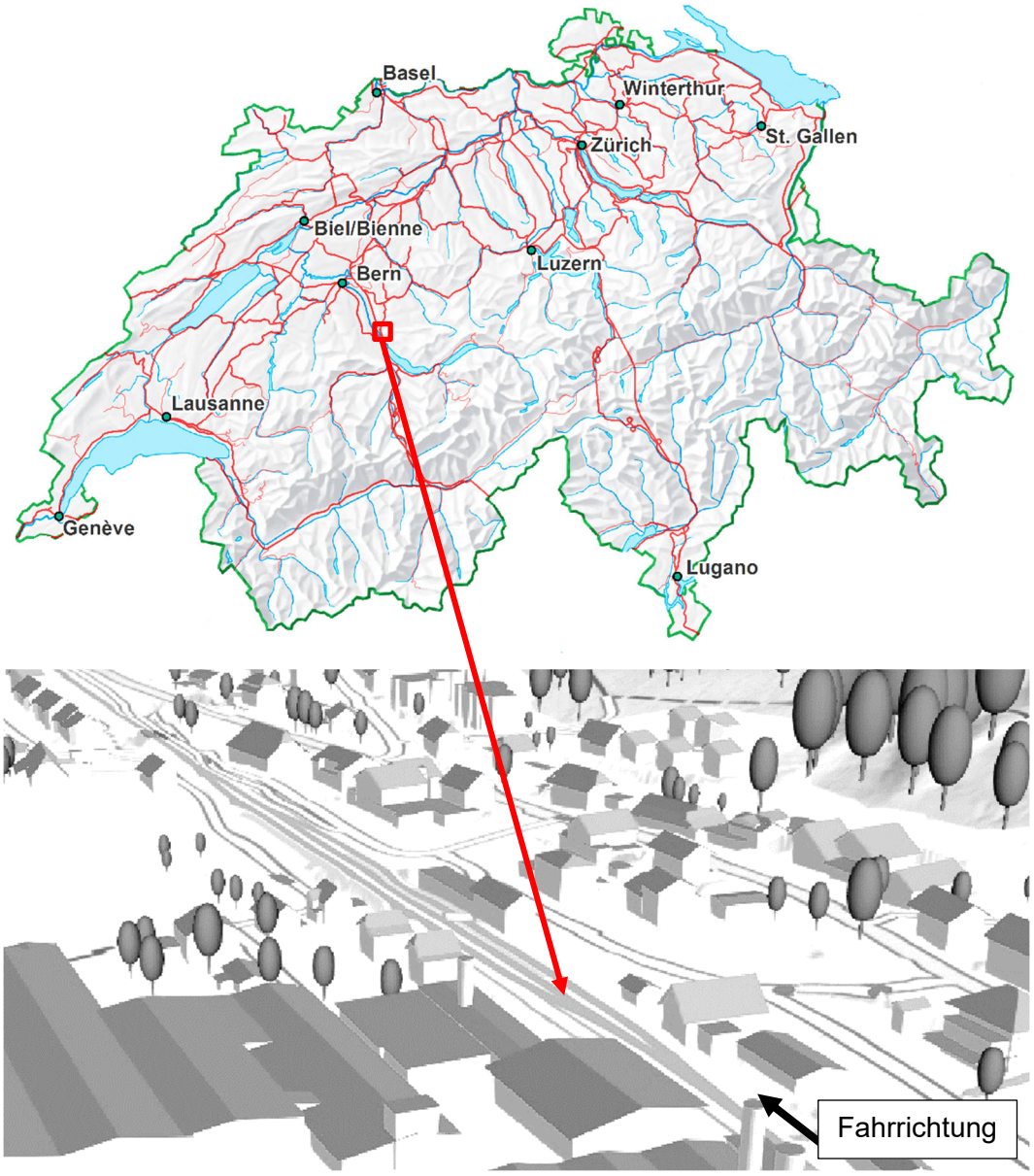
- Schwingungsbrüche der Befestigungsschrauben zwischen dem hydrostatischen Motor und dem Getriebe führten letztlich zum Verlust deren Verbindung.
- Die Kontrolle der Schraubverbindung ist in den Instandhaltungsvorgaben nicht vorgesehen. Zudem sind die Schrauben verdeckt verbaut und schwer zugänglich.

1.4 Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Bericht werden weder Sicherheitsempfehlungen noch Sicherheitshinweise ausgesprochen.

2 Sachverhalt

2.1 Ort des Ereignisses



Abbildungen 1 und 2: Übersichtskarten zum Ort der Entgleisung. Quelle: Bundesamt für Landestopografie

2.2 Untersuchung

Die Meldung über die Entgleisung in Heimberg traf am 22. Juni 2022 um 11:04 Uhr ein.

Für die Untersuchung standen zur Verfügung:

- Bestandsaufnahme auf der Unfallstelle;
- Fotos;
- Gutachten;
- Fahrdaten des Zuges;
- Kartenmaterial;
- Gleispläne;
- Befragungen der Beteiligten und Betroffenen.

2.3 Ablauf des Ereignisses

Am Morgen des 22. Juni 2022 begannen um 06:50 Uhr zwei Lokführer in Hasle (BE) ihre Arbeit. Sie sollten mit zwei Baudiensttraktoren, einer vom Typ Tm 234 und einer vom Typ Tm 235, in Thun (BE) zwei Sonderfahrzeuge für den Baudienst (eine Verdicht- und Planiermaschine und eine Stopf- und Nivelliermaschine – nachfolgend als Sonderfahrzeuge benannt) abholen und zur nächsten Arbeitsstelle überführen.

Der Lokführer 1 (Lf1) fuhr zunächst mit einem Dienstauto nach Konolfingen (BE). Der Lokführer 2 (Lf2) fuhr derweil mit den beiden zusammengekuppelten Baudiensttraktoren nach Konolfingen. Dort stieg der Lf1 zu und die Fahrt ging bis nach Thun weiter.

In Thun erfuhren die Lf, dass die Sonderfahrzeuge noch gewendet werden mussten. Das konnte mit einer Dreiecksfahrt über Langnau (BE) nach Hasle erfolgen. Die Lf trennten die beiden Tm. Der Lf2 fuhr mit dem Tm 234 in deren Abstellgleis an die Sonderfahrzeuge an. Der Lf1 übernahm die Funktion als Rangierleiter und führte die Bremsprobe sowie die Zuguntersuchung durch. Alle Sperren und Verriegelungen an den Fahrzeugen waren in der richtigen Stellung. Die Sonderfahrzeuge waren gekennzeichnet mit dem Muster T[2].

Der Lf2 fuhr danach für die Abfahrt mit dem Tm 234 und den Sonderfahrzeugen in das Gleis 18. Während dieser Fahrt fiel dem Lf2 nichts Ungewöhnliches auf. Der Lf1 fuhr mit dem Tm 235 auf der anderen Seite an die Komposition an (war danach für den Zug das zugführende Triebfahrzeug). Der Lf2 kuppelte den Tm 235 an, der Lf1 führte die Bremsprobe durch.

Wie bereits für die Rangierfahrten waren die beiden Lokführer für die Zugfahrt über Funk verbunden. Der Lf1 führte den Zug. Bei der Abfahrt schob der Lf2 etwas an und reduzierte dann noch vor Verlassen des Bahnhofs Thun die Zugkraft auf Null.

Bei der Durchfahrt in Steffisburg (BE) verlangsamte der Lf1 die Fahrt wegen eines Kreuzungszuges, musste aber nicht anhalten. Er beschleunigte den Zug wieder, ohne dass der Lf2 anschob.

[2] Das Muster T ist ein Formular, mit dem der Maschinist bestätigt, dass das Sonderfahrzeug korrekt für die Überführung in einem Zug eingerichtet wurde. Das Muster T muss gut sichtbar am Fahrzeug angebracht sein. Fehlt das Muster T, darf das Fahrzeug nicht in einen Zug eingereiht werden.

Bei der Einfahrt in Heimberg (BE) bzw. im Bereich der ersten Weichen begann der Lf2 mit geringer Zugkraft erneut zu schieben. Dadurch wollte er die Fahrzeuge zusammenschieben, da nach dem Bahnhof Heimberg eine Steigung folgt, die ein stärkeres Schieben erforderlich machte. Der Lf1 verspürte in eben diesem Bereich einen kleinen Ruck, den er als üblich empfand, wenn ein Anschieben erfolgt. Auf Höhe des ausfahrseitig stehenden Gleisabschnittsignals bemerkte der Lf2 die Entgleisung und forderte den Lf1 zum sofortigen Anhalten auf. Der Zug kam kurz nach dem Ausfahrsignal zum Stehen.

Die beiden Lokführer stellten fest, dass das vordere Sonderfahrzeug mit zwei von den drei Achsen entgleist war (Achse 1 und Achse 3).

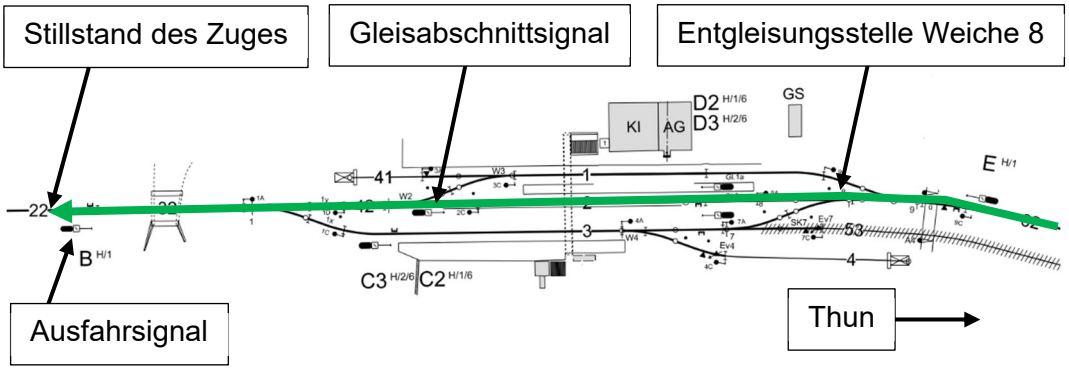


Abbildung 3: Gleisplan des Bahnhofs Heimberg (nicht massstäblich). Grün: Fahrt des Zuges bis zum Stillstand.

2.4 Schäden

2.4.1 Personen

Es gab keine Personenschäden.

2.4.2 Infrastruktur

Über eine Länge von rund 400 m entstanden grosse Schäden an Gleis und Komponenten der Sicherungsanlage.

2.4.3 Fahrzeuge

An der entgleisten Verdicht- und Planiermaschine entstanden diverse Beschädigungen an Laufwerk und Hydraulik.

2.4.4 Umwelt

Durch die Beschädigungen an der Verdicht- und Planiermaschine liefen Betriebsflüssigkeiten aus. Grössere Gefahr für die Umwelt entstand dabei nicht.

2.5 Beteiligte und betroffene Personen

2.5.1 Lokführer Zuglok (Lf1)

Person	Jahrgang 1966, Anstellung bei BLS Netz AG Dienstort Hasle
Berechtigung	BAV[3]-Ausweis der Kategorie B80 zum Ausführen aller Rangierbewegungen und Führen von Zügen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, wobei die Anhängelast auf den Normalspurstrecken höchstens 1200 t, auf den Neigungsstrecken höchstens 600 t betragen darf, vorhanden und gültig bis 2023. Bescheinigung vorhanden über die Berechtigung zum Führen des Triebfahrzeugs vom Typ Tm 235 sowie zum Befahren der Infrastruktur in Heimberg, gültig bis 2026, ausgestellt durch das, die Zugfahrt durchführende Eisenbahnverkehrsunternehmen.

2.5.2 Lokführer Schiebelok (Lf2)

Person	Jahrgang 1977, Anstellung bei BLS Netz AG Dienstort Hasle
Berechtigung	BAV-Ausweis der Kategorie B80 zum Ausführen aller Rangierbewegungen und Führen von Zügen mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, wobei die Anhängelast auf den Normalspurstrecken höchstens 1200 t, auf den Neigungsstrecken höchstens 600 t betragen darf, vorhanden und gültig bis 2024. Bescheinigung vorhanden über die Berechtigung zum Führen des Triebfahrzeugs vom Typ Tm 234 sowie zum Befahren der Infrastruktur in Heimberg, gültig bis 2024, ausgestellt durch das, die Zugfahrt durchführende Eisenbahnverkehrsunternehmen.

2.6 Beteiligte und betroffene Unternehmen

2.6.1 Infrastrukturbetreiberin

BLS Netz AG, Bern

2.6.2 Eisenbahnverkehrsunternehmen

BLS Netz AG, Bern

[3] BAV: Bundesamt für Verkehr

2.6.3 Fahrzeughalter

BLS Netz AG, Bern (Triebfahrzeuge)

Scheuchzer SA, Bussigny (Sonderfahrzeuge)

2.7 Infrastruktur

2.7.1 Bahnanlage

2.7.1.1 Beschreibung

Der Bahnhof Heimberg liegt an der Strecke zwischen Thun und Konolfingen. Die Zubringerstrecken werden beidseits einspurig geführt. Der Bahnhof verfügt über drei Durchfahrtsgleise, die über Perrons für den Publikumsverkehr zugänglich sind. Beidseits des Bahnhofs zweigt das Streckengleis über jeweils zwei Weichen in das Gleis 1 oder in das Gleis 3 ab (Abbildung 3). Durchfahrende Züge benutzen i. d. R. das Gleis 2, wobei alle Weichen in gerader Stellung befahren werden.

Von der ersten bis zur letzten Weiche beträgt die Distanz rund 305 m. Vom Herzstück der Weiche 8 bis zum Gleisabschnittsignal Seite Konolfingen sind es rund 175 m, vom Gleisabschnittsignal bis zur stillstehenden Zugspitze rund 220 m.

2.7.1.2 Feststellung

Bei der Weiche 8 – der zweiten Weiche bei Einfahrt des Zuges in Heimberg – waren erste Entgleisungspuren festzustellen. Etwa ab Mitte der ablenkenden Weichenzunge war diese ölverschmiert. Die Ölspur zog sich präzis der gebogenen Schiene entlang bis zum Herzstück (Abbildung 4). Die Ölspur zog sich danach, im in Fahrrichtung rechten Bereich zwischen den Schienen hin, bis zum Ort, an dem der Zug zum Stillstand kam.

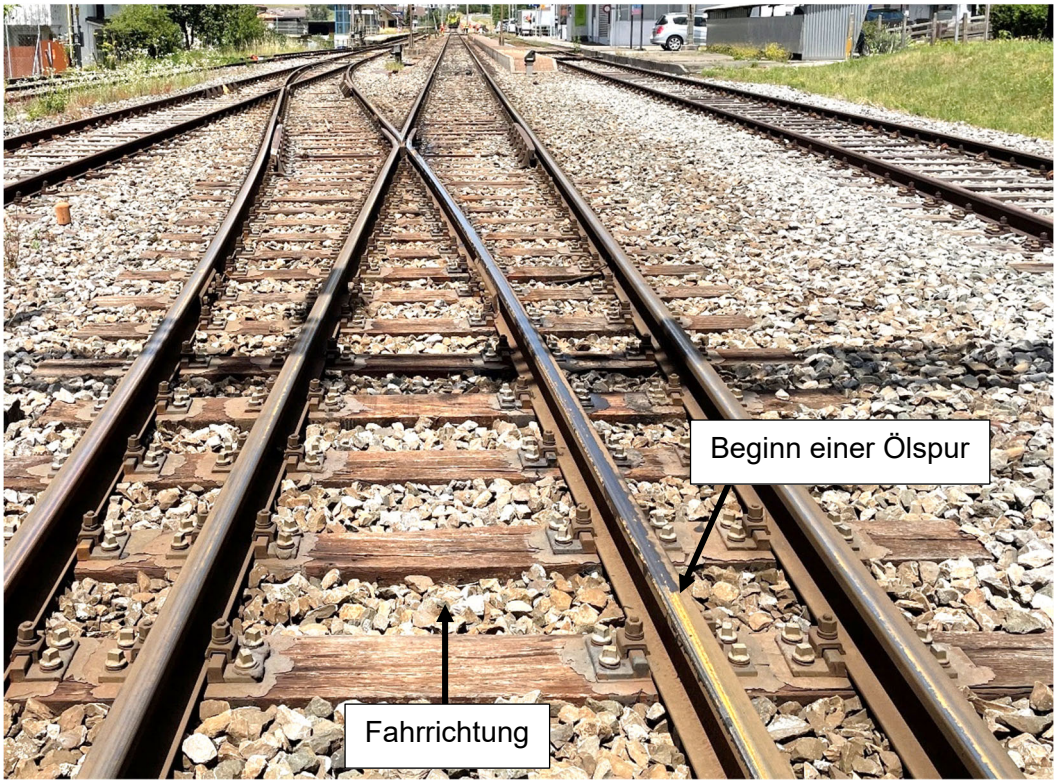


Abbildung 4: Beginn einer Ölspur bei der Weiche 8.

Das Herzstück der Weiche 8 war stark ölverschmiert (Abbildung 5). Ansonsten wies sie keine weiteren, aussergewöhnlichen Spuren auf.

Abbildung 5: Herzstück der Weiche 8.

Rund 2 m nach dem Herzstück der Weiche 8 waren erste Entgleisungsspuren auf den Holzschwellen und auf der rechten Schiene des linken Weichenstranges festzustellen (Abbildung 6).

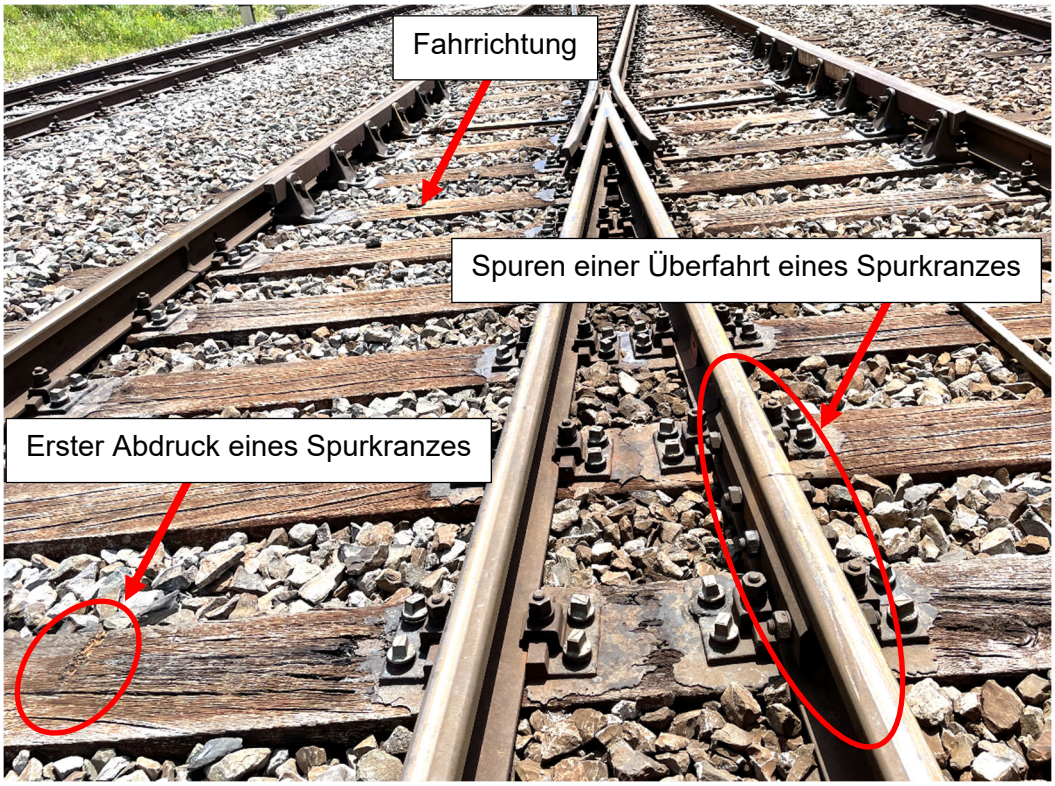


Abbildung 6: Erste Entgleisungsspuren nach dem Herzstück der Weiche 8.

Auf Höhe des ausfahrseitigen Gleisabschnittsignals waren erhebliche Schäden entstanden (Abbildung 7). Zwischen der Weiche 8 und dem Gleisabschnittsignal waren Entgleisungsspuren einer Achse erkennbar. Zwischen dem Gleisabschnittsignal und dem Ort, an dem der Zug zum Stillstand kam, waren Spuren von zwei entgleisten Achsen sichtbar.

Abbildung 7: Schäden an der Infrastruktur auf Höhe des Gleisabschnittsignals.

2.7.2 Stellwerk

2.7.2.1 Beschreibung

Die Gleisanlage in Heimberg ist mit einem Stellwerk vom Typ Domino 69 mit Zwergsignalen ausgerüstet.

2.7.2.2 Feststellung

Das Stellwerk stand störungsfrei in Betrieb.

2.7.3 Leittechnik

2.7.3.1 Beschreibung

Die Bedienung der Stellwerkanlage von Heimberg erfolgt ferngesteuert über die Leittechnik Iltis von der Betriebszentrale in Spiez (BE) aus.

2.7.3.2 Feststellung

Die Leittechnik stand störungsfrei in Betrieb.

2.8 Fahrzeuge

2.8.1 Übersicht

Der Zug wurde von einem Baudiensttraktor vom Typ Tm 235 gezogen. Danach folgte die entgleiste Verdicht- und Planiermaschine mit der Bezeichnung Dp 953. Ihr angekuppelt war eine Stopf- und Niveliermaschine mit der Bezeichnung Bna 662. Am Zugschluss war ein Baudiensttraktor vom Typ Tm 234 eingereiht.

Der Zug war 65 m lang und 198 t schwer. Er verkehrte nach der Zug- und Bremsreihe A 75% mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.

Abbildung 8: Zugspitze am Halteort nach der Entgleisung.

2.8.2 Entgleiste Verdicht- und Planiermaschine

2.8.2.1 Beschreibung

Die Verdicht- und Planiermaschine mit der Bezeichnung Dp 953 wurde von der Firma Plasser & Theurer, Wien (Zentrale, AT) hergestellt und im Jahr 1987 in Dienst genommen.

Die kontinuierlich arbeitende Verdicht- und Planiermaschine stellt das Schotterprofil her, planiert den Schotter und verdichtet die Schwellenfächer sowie Schotterflanken eines Gleisbettes. Die Arbeitsleistung liegt bei bis zu 800 m/h. Die Arbeiten erfolgen in einer bestimmten Arbeitsrichtung.

Die Maschine ist 40 t schwer, wobei die maximale Achslast 14 t beträgt. Sie ist selbstfahrend mit einer Geschwindigkeit bis zu 80 km/h. Geschleppt liegt die Höchstgeschwindigkeit bei 100 km/h.

Mittels eines Dieselmotors wird hydraulische und pneumatische Energie erzeugt, womit die Arbeitsgeräte der Maschine betrieben und der Fahrbetrieb ermöglicht werden. Die Maschine verfügt über drei Achsen. Die Achsen 1 und 3 werden mittels eines hydrostatischen Motors über ein schaltbares Getriebe angetrieben. Die mittlere Achse 2 trägt Arbeitsgeräte und verfügt über die Fähigkeit, grössere seitliche Bewegungen aufzufangen.

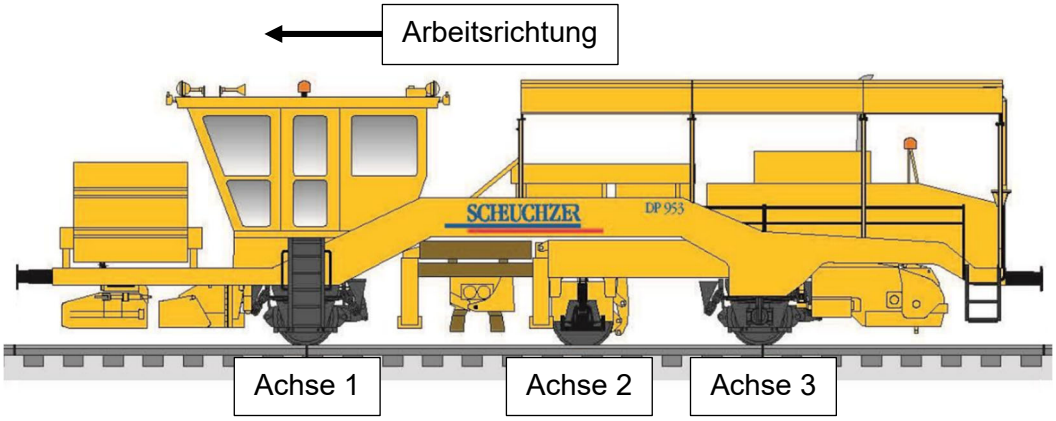


Abbildung 9: Darstellung Verdicht- und Planiermaschine Dp 953 (Quelle: Scheuchzer SA).

2.8.2.2 Feststellung

Die Fahrrichtung des Zuges war entgegengesetzt der Arbeitsrichtung der Verdicht- und Planiermaschine. Sie war mit den Achsen 1 und 3 entgleist. Der hydrostatische Motor der Achse 1 war vom Getriebe getrennt und hing an einem der beiden am Motor befestigten Hydraulikschläuche zwischen den Schienen neben der in Fahrrichtung rechten Schiene. Zwischen den beiden Sonderfahrzeugen war die Schraubenkupplung nicht mehr vorhanden und es gab eine Pufferübergreifung. Die Hauptleitung wurde nicht unterbrochen.

2.9 Kommunikation

Die beiden Lokführer kommunizierten während der Fahrt mittels Funkgeräte miteinander.

2.10 Auswertung der Datenaufzeichnung

2.10.1 Fahrdaten

Die Fahrdaten beider Fahrzeuge zeigen bei der Einfahrt in Heimberg eine Geschwindigkeitsspitze von 62 km/h, die danach kontinuierlich abnimmt. 128 m vor dem Stillstand wird beim zugführenden Baudiensttraktor bei einer Geschwindigkeit von 52 km/h eine Betriebsbremsung eingeleitet, die bei etwa 35 km/h gelöst und kurz darauf erneut ausgeführt wird.

2.10.2 Iltis-Film

Die Aufzeichnung der Leittechnik (Iltis-Film) zeigt um 10:01:55 Uhr das Einstellen der Durchfahrt für den Zug über das Gleis 2 in Heimberg. Um 10:03:35 Uhr wird auf der Einfahrseite die Weiche 8 belegt (Abbildung 3). Um 10:03:53 Uhr erfolgt die Belegung der ausfahrseitigen Weichen, wobei gleichzeitig auch die jeweils abzweigenden Stränge als belegt angezeigt werden. Sekunden darauf werden Störungsmeldungen der beschädigten Anlagenkomponenten angezeigt.

2.10.3 Gesprächsaufzeichnung

Die Gespräche zwischen den beiden Lokführern wurden nicht aufgezeichnet. Die Gespräche mit der Betriebszentrale wurden aufgezeichnet, stehen jedoch nicht unmittelbar im Zusammenhang mit der Entgleisungsursache.

2.10.4 Video

Es gab keine Videoaufzeichnungen.

2.11 Besondere Untersuchungen

2.11.1 Wetter, Sichtverhältnisse, Schienenzustand

Es war ein sonniger, trockener, warmer Sommertag. Entsprechend gut waren die Schienenverhältnisse.

2.11.2 Ölanalyse

An der Entgleisungsstelle bei der Weiche 8 in Heimberg wurde eine Probe des ausgelaufenen Öls genommen (Abbildung 4). Bei einem Augenschein des Abstellorts und des Abfahrgleises in Thun wurden ebenfalls Spuren ausgelaufenen Öls festgestellt. Auch von diesem wurde eine Probe genommen.

Bei der Untersuchung des entgleisten Fahrzeugs wurde eine Referenzprobe des Getriebeöls des Getriebes, von welchem sich der hydrostatische Motor trennte, genommen. Ebenso wurde Hydrauliköl der Maschine entnommen.

Die Analysen der Ölproben ergaben eine weitgehende Übereinstimmung des in Thun festgestellten Öls mit dem Getriebeöl des entgleisten Fahrzeugs. Die Analyse der Ölprobe an der Entgleisungsstelle in Heimberg ergab kein eindeutiges Resultat. Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann auf eine Mischung aus Getriebeöl und Hydrauliköl sowie auf eine unbekannte Verunreinigung mit Kohlenwasserstoffen, die von Weichenschmierfett bzw. Spurkranzschmierfett stammen könnte, geschlossen werden.

2.11.3 Untersuchung des entgleisten Fahrzeugs

Die entgleiste Verdicht- und Planiermaschine wurde nach der Überführung in die Werkstätte der Firma Scheuchzer näher untersucht.

Die Vermessung der Achsen zeigte keine Auffälligkeiten. Die Achse 1 zeigte in Fahrrichtung rechts, auf der Seite des abgetrennten hydrostatischen Motors, mehrere deutliche Anschlagspuren eines grösseren Gegenstandes (Abbildung 10).

Abbildung 10: Anschlagspuren an der Achse 1 der Verdicht- und Planiermaschine.

An der rechten Unterkante des Getriebes der Achse 1 (in Fahrrichtung betrachtet) fanden sich erhebliche Anschlagspuren (Abbildung 11).

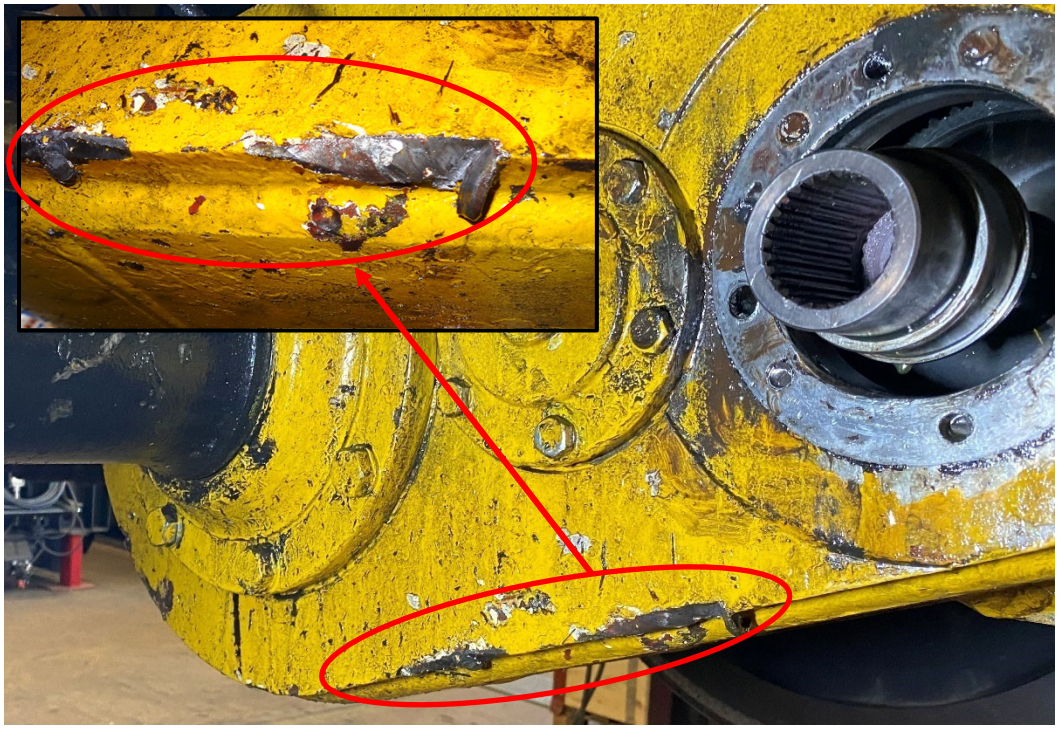


Abbildung 11: Anschlagspuren am Getriebe der Achse 1 der Verdicht- und Planiermaschine.

Der hydrostatische Motor war über einen Zwischenflansch mit dem Getriebe der Achse 1 verbunden. Der Zwischenflansch wird mit sechs Schrauben am Getriebe befestigt. Der hydrostatische Motor selbst wird mit vier Schrauben am Zwischenflansch befestigt. Die Befestigungseinheit des hydrostatischen Motors verdeckt alle sechs Schrauben vom Zwischenflansch zum Getriebe. Bei befestigtem Motor sind diese nicht einsehbar und nur schwer zugänglich (Abbildung 12).

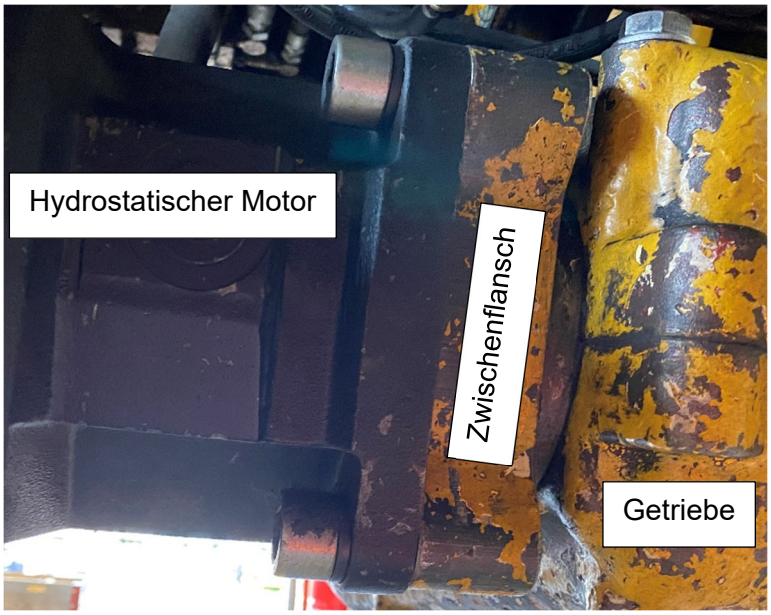


Abbildung 12: Bild einer bauähnlichen Verdicht- und Planiermaschine mit über einen Zwischenflansch am Getriebe montiertem hydrostatischen Motor.

Im Flansch des Getriebes steckten Fragmente abgetrennter Schrauben (Abbildung 13). In einem der Gewinde war kein Fragment vorhanden. Der hydrostatische Motor wurde zusammen mit dem Zwischenflansch vom Getriebe getrennt.

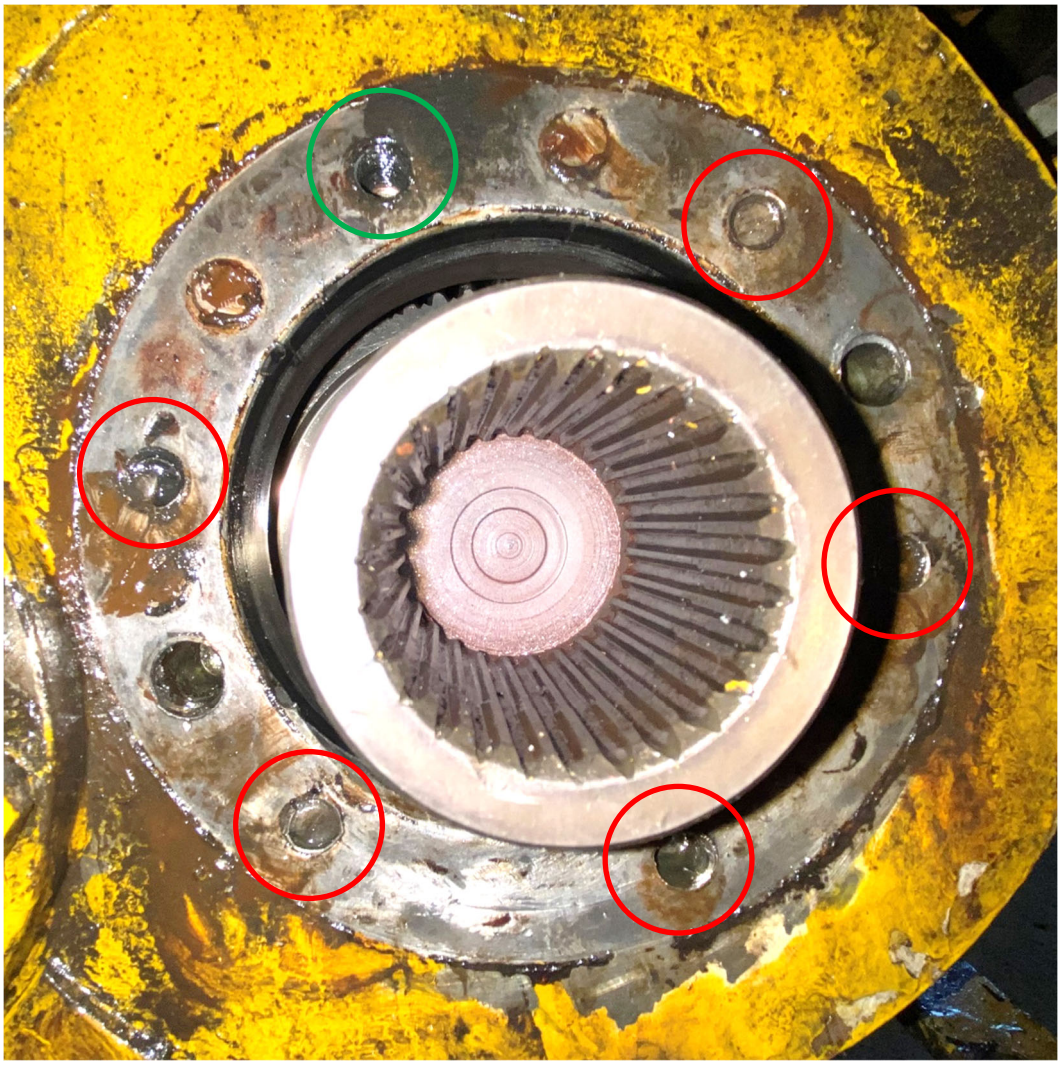


Abbildung 13: Befestigungsflansch am Getriebe für den Zwischenflansch zum hydrostatischen Motor der Achse 1. Rot eingekreist sind jeweils die noch im Getriebe steckenden Schraubenfragmente. Grün eingekreist das Gewinde ohne Fragment.

Der Zwischenflansch war noch am hydrostatischen Motor der Achse 1 befestigt. Die Schrauben für die Verbindung zum Getriebe bzw. deren Fragmente waren gefangen zwischen Zwischenflansch und hydrostatischem Motor. Eine der sechs Schrauben war noch vollständig vorhanden (Abbildung 14).

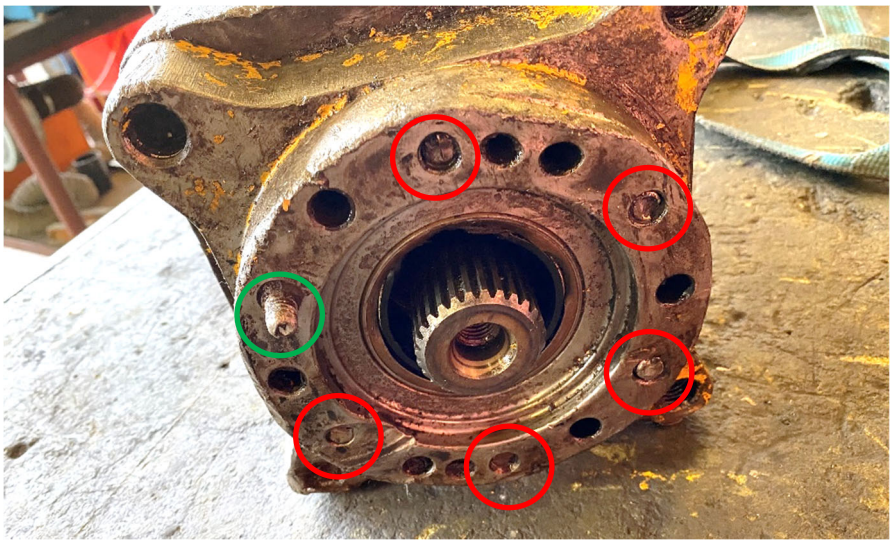


Abbildung 14: Zwischenflansch vom hydrostatischen Motor zum Getriebe der Achse 1 mit gefangenen Schraubenfragmenten (rote Kreise) und der intakten Schraube (grüner Kreis).

Der vom Getriebe der Achse 1 getrennte Motor wies auf der Unterseite einen Anschlussflansch für eine Hydraulikleitung zum Antrieb des Motors auf, bei dem Fragmente der Schraubenbefestigung festzustellen waren (Abbildung 15).

Abbildung 15: Unterseite des hydrostatischen Motors der Achse 1. Rot eingekreist der untere Anschlussflansch für den hydraulischen Antrieb des Motors mit verbliebenen Fragmenten der Schraubverbindung.

Der Anschlussflansch auf der Seite des Hydraulikanschlusses zur Unterseite des hydrostatischen Motors der Achse 1 zeigte eine deutliche Anschlagspur in Form eines Spurkranzprofils (Abbildung 16).

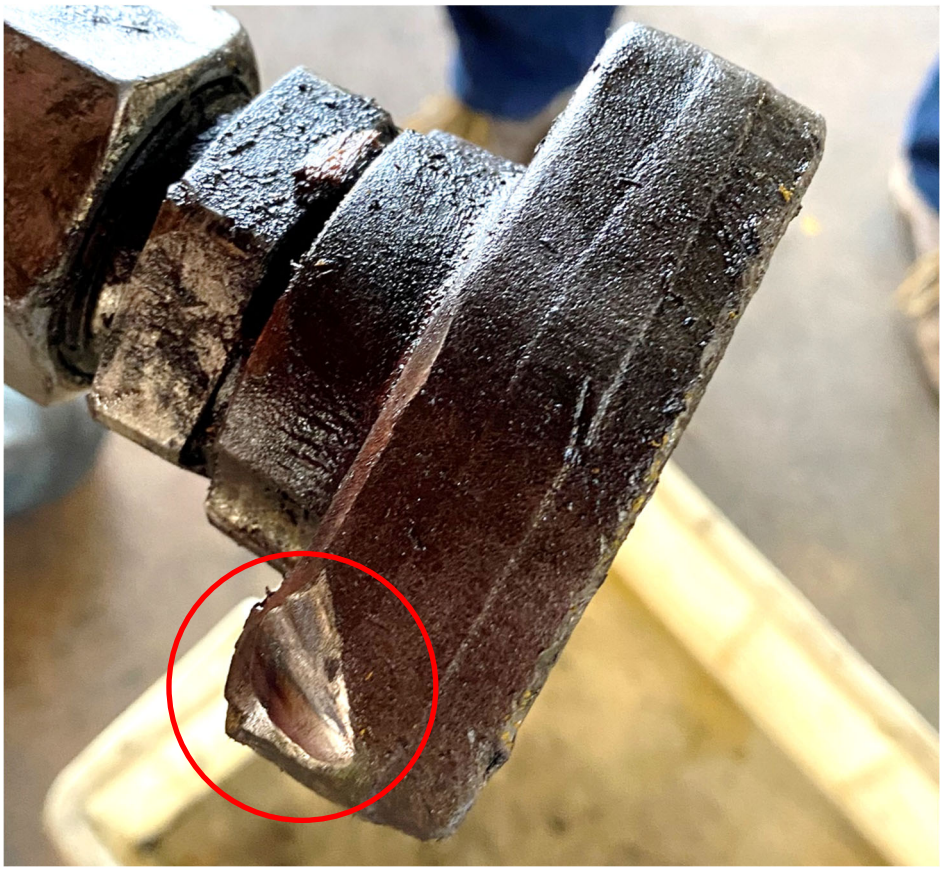


Abbildung 16: Unterer Anschlussflansch des Hydraulikschlauchs zum hydrostatischen Motor der Achse 1 mit deutlicher Anschlagspur in Form eines Spurkranzprofils (roter Kreis).

Ebenso wies der hydrostatische Motor der Achse 1 Spuren eines kräftigen Anschlags auf. Dessen Form ist vergleichbar zur Rundung eines Spurkranzprofils. Die Spur ab Mitte des hydrostatischen Motors verläuft gegen den unteren Anschlussflansch und passt zu der dort festgestellten Anschlagspur (Abbildung 17).

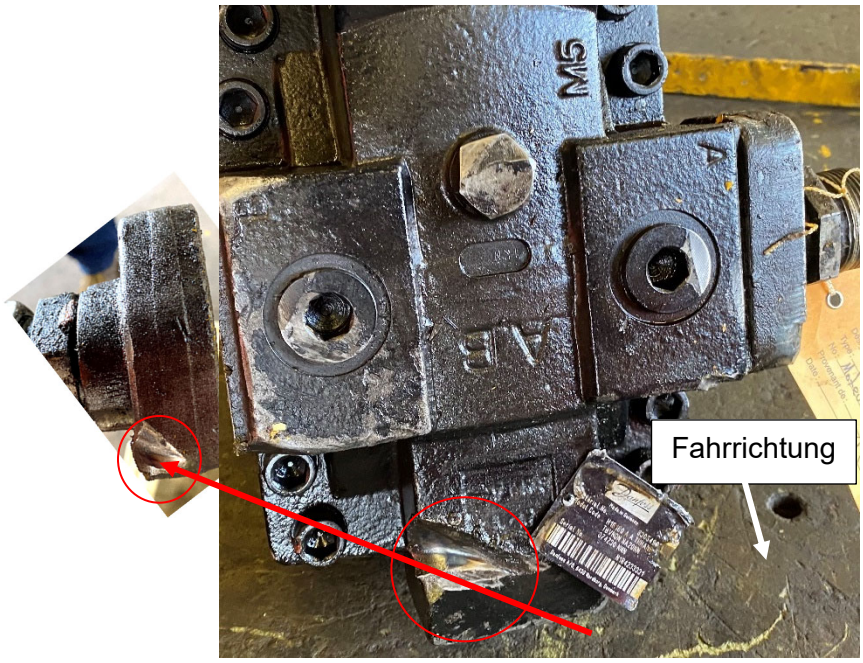


Abbildung 17: Fotomontage des hydrostatischen Motors der Achse 1 mit unterem Anschlussflansch der Hydraulikleitung: Anschlagspuren in Fahrrichtung seitlich vorne am hydrostatischen Motor. Die Spuren zeigen einen passenden Verlauf gegen den Anschluss der Hydraulikleitung (Kreise und Pfeil).

2.11.4 Untersuchung Trennung des hydrostatischen Motors vom Getriebe

Die Trennstelle zwischen Getriebe und hydrostatischem Motor wurde einer näheren Untersuchung unterzogen.

2.11.4.1 Schraubverbindung zwischen Getriebe und hydrostatischem Motor

Die Gewindelöcher im Getriebe mit der Dimension M10 sind in der Abbildung 18 der Reihe nach von 12 Uhr im Uhrzeigersinn mit den Buchstaben A bis F gekennzeichnet. In Position A ist das Gewindeloch komplett leer und der Grund des Sacklochs ist in der Tiefe sichtbar. Im gereinigten Zustand zeigte sich, dass das Gewinde in dieser Position praktisch unversehrt ist. In Position D ist das Gewinde partiell gefüllt mit einem Bruchstück der Schraube. In den übrigen vier Positionen (B, C, E und F) zeigen sich etwa in der Ebene der Flanschfläche relativ flache Bruchflächen der vier jeweiligen M10 Schrauben.

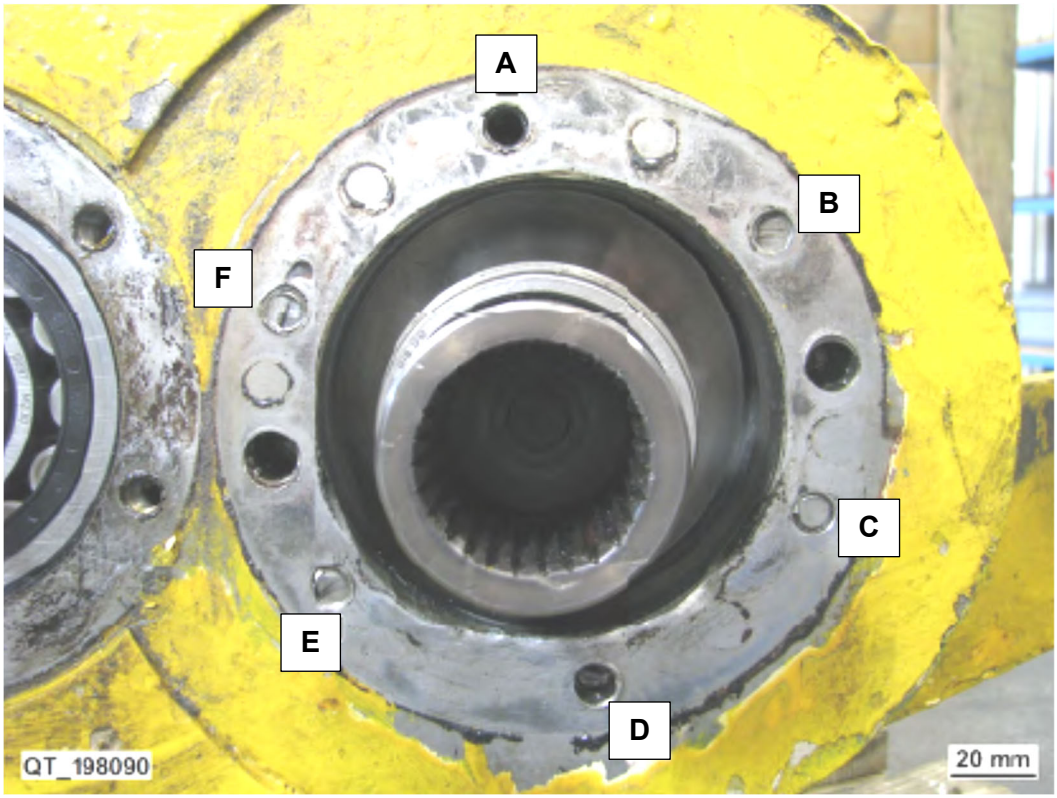


Abbildung 18: Anschlussflansch zum hydrostatischen Motor, Bezeichnung der Schrauben von A – F.

Die zuvor an das Getriebe angeflanschte Fläche ist in Abbildung 19 gezeigt und die Schraubenpositionen sind entsprechend der Anordnung am Getriebe in Abbildung 18 mit den Buchstaben A bis F gekennzeichnet.

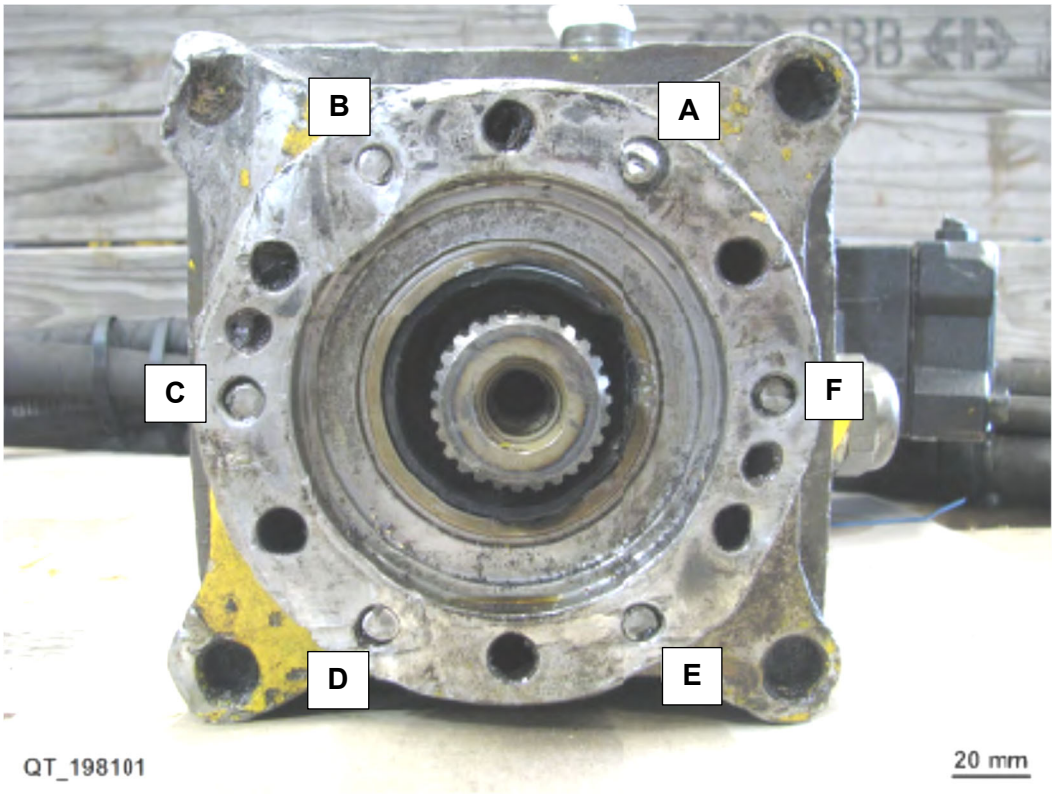


Abbildung 19: Anschlussfläche des hydrostatischen Motors an das Getriebe, Bezeichnung der Schrauben von A – F.

In den Positionen A und D stehen die Schraubenbruchstücke etwas vor und weisen starke plastische Verformungen auf. Der vorstehende Bereich der Schraube D scheint zumindest teilweise abgeschert worden zu sein. Bei der Schraube in Position A ist die ursprüngliche Stirnfläche der Schraubenspitze teilweise noch erkennbar und zeigt, dass diese Schraube als einzige der sechs M10 Schrauben noch in voller Länge am Stück vorhanden ist. In den übrigen vier Positionen (B, C, E und F) zeigen sich passend zu den analogen Positionen am Getriebe, relativ flache Bruchflächen der vier jeweiligen M10 Schrauben. Der Flansch und die exponierte Sitzfläche weisen starke plastische Verformungen auf. Der Motor (mit dem Flansch) wurde nach dem Lösen des Motors vom Getriebe an den Hydraulikleitungen unkontrolliert unter dem Fahrzeug mitgeschleift und es liegt nahe, dass die sichtbaren Schäden während dieser Phase des Unfallhergangs entstanden sind.

Nach der Demontage des Zwischenflansches vom hydraulischen Motor, konnten die motorseitig liegenden sechs Schraubenköpfe untersucht werden. Auf jedem Schraubenkopf ist die Prägung «8.8» sichtbar, welche die Festigkeitsklasse angibt. Die silbrige und seidenmatte Färbung der Schrauben deutet darauf hin, dass diese mit Zink beschichtet wurden. Drei der sechs Schrauben (C, E und F) konnten ohne Kraftaufwand aus ihren Löchern entfernt werden. Mit etwas Kraftaufwand konnte Schraube A vom Flansch entfernt werden. Das Gewinde ist beschädigt, aber es ist in seiner ursprünglichen Länge vorhanden. Bei allen vier gelösten Schrauben war ein Sicherungsring vorhanden.

2.11.4.2 Bruchflächen der Schrauben

Alle Erscheinungsbilder der vier Bruchflächenpaare B, D, E und F weisen auf einen transkristallinen Schwingbruch hin.

Die Bruchflächen in den Positionen B, E und F zeigen ausdrucksreiche Rastlinienstrukturen und teilweise zerklüftete Brüche. Die Topografie der Bruchfläche C hingegen scheint im Vergleich dazu wesentlich feiner strukturiert zu sein. Dies deutet darauf hin, dass der Schwingbruch der Schraube C im Vergleich zu den anderen Schrauben langsamer fortgeschritten ist und dass mit grosser Wahrscheinlichkeit die Schraube C als erste durch Ermüdung versagt hat. Mit dem Verlust der Verbindungsfunktion dieser Schraube wurde die Last auf den übrigen Schrauben erhöht und die darin gebildeten Ermüdungsrisse haben sich entsprechend schneller ausgebreitet, was eine etwas gröbere Bruchmorphologie zur Folge hatte.

Der Bruchausgangsbereich der Schraube C befindet sich im Gewindegrund und zeigt mehrere individuelle Bruchausgänge entlang der Bruchkante. Der primäre Bruchausgang lässt sich gut lokalisieren und zeigt sich als ein mit «Fremdmaterial» gefüllter Oberflächenfehler. Die Analyse hat ergeben, dass der Füllstoff im Wesentlichen aus Zink besteht. Somit handelt es sich um einen Oberflächenfehler, der vor der Beschichtung der Schraube mit der Korrosionsschutzschicht entstanden ist. Ein weiterer ähnlicher Fehler konnte in der Nähe des primären Bruchausganges beobachtet werden.

2.11.4.3 Schraubenqualität

Die Schrauben erfüllen die Normvorgaben zu den geprüften Themen:

- Der geforderte Mindestradius im Gewindegrund wird eingehalten (bei der Schraube C nahe am Minimalwert);
- Vorwiegend martensitische Gefügeausbildung im Gewindebereich;
- Entkohlungstiefe unterhalb des erlaubten Maximums;
- Kernhärte im geforderten Bereich;
- Abgeleitete / umgewertete Zugfestigkeit über dem Minimalwert;
- Chemische Zusammensetzung innerhalb der Vorgaben;
- Erlaubte Oberflächenfehlertiefe unterschritten;
- Zink-basierte galvanische abgeschiedene Korrosionsschutzschicht in erforderlicher Stärke vorhanden.

Zudem zeigen die Bruchbereiche, dass das Schraubengrundmaterial grundsätzlich ein duktiles Bruchverhalten aufweist, wie es von einem Stahl der Güteklasse 8.8 zu erwarten ist.

3 Analyse

3.1 Technische Aspekte

3.1.1 Ablauf der Entgleisung

Die Ölspur, die exakt entlang der Weichenzunge der Weiche 8 verlief, lässt den Schluss zu, dass ein Bauteil mit markantem Ölverlust durch die Zunge gegen das Herzstück der Weiche geführt worden ist. Aus der Feststellung vor Ort in Heimberg und den festgestellten Spuren anlässlich der Untersuchung der entgleisten Verdicht- und Planiermaschine kann geschlossen werden, dass sich der hydrostatische Motor der Achse 1 während der Einfahrt in Heimberg vollständig vom Getriebe gelöst haben musste und folglich an seinen Hydraulikleitungen bis in das Gleis hinunterhing. Durch die Weichenzunge wurde er gegen das Herzstück geführt, was die Verdicht- und Planiermaschine zum Entgleisen brachte. Im weiteren Verlauf der Fahrt stiess das bei der ersten ausfahrseitigen Weiche signifikant nach links ausgebrochene Fahrzeug heftig mit dem Abschnittsignal zusammen, was auch die Achse 3 zum Entgleisen brachte.

3.1.2 Ölproben

Die Untersuchungen der Ölproben zeigen deutlich, dass die Verdicht- und Planiermaschine schon am Abstellort in Thun sowie während der dortigen Rangierfahrten Getriebeöl verlor. Das lässt darauf schliessen, dass der Zwischenflansch bereits dort teilweise vom Getriebe gelöst war.

3.1.3 Trennung hydrostatischer Motor vom Getriebe

Der hydrostatische Motor löste sich vom Getriebe durch Versagen der mit sechs M10 Befestigungsschrauben versehenen Verbindung zwischen dem Getriebe und dem Flansch des Motoranbaus. Von diesen Schrauben sind vier durch Materialermüdung gebrochen, eine hat sich vollständig durch Drehen aus dem Gewinde im Getriebe gelöst und eine wurde aus dem Getriebe herausgerissen. Basierend auf den vorliegenden Ergebnissen wird der folgende Schadensablauf angenommen:

- Im Gewindegrund der ersten gebrochenen Schraube (Schraube C) bildete sich ein Riss:
  - Das Gewinde stellt eine vorgegebene und unweigerlich vorhandene umlaufende Kerbe, bzw. Spannungskonzentration dar, welche das Material lokal belastet und die Rissbildung fördert.
  - Die rissfördernde Kerbwirkung im Gewindegrund wurde lokal stark erhöht aufgrund eines herstellungsbedingten, noch zulässigen Oberflächenfehlers.
- Ausgehend vom besagten Oberflächenfehler breitete sich unter zyklischer und einseitiger Biegebelastung in Betrieb langsam ein transkristalliner Ermüdungsriss über den Gewindequerschnitt aus und durchtrennte die Schraube komplett.
- Durch den Verlust der Tragfähigkeit der Schraube C wurden die Gewinde der verbleibenden Schrauben zusätzlich belastet, sodass sich evtl. mit einer gewissen zeitlichen Überschneidung transkristalline Schwingrisse in drei weiteren Schrauben (Schrauben B, E, F) gebildet haben.

- Bei allen vier durch Schwingbrüche gebrochenen Schrauben ist die Gewaltrestbruchzone im Vergleich zur Schwingbruchfläche sehr klein. Dies zeigt, dass die Schrauben einer sehr niedrigen Nennspannung ausgesetzt waren (statische Vorlast durch Anziehen und zyklische Betriebsbelastung) und somit nicht grundsätzlich mechanisch überlastet waren.
- Durch den Verlust der Pressung in der verschraubten Verbindung konnte sich eine Schraube lösen (Schraube A) und, aktiviert durch die Betriebsvibrationen, mit der Zeit freidrehen.
  - Im verschraubten Zustand haben die Schrauben motorenseitig nur ca. 3 mm Kopffreiheit bei ca. 13 mm Gewindeeindringtiefe im Getriebe. Dies bedeutet, dass sich die Schraube nur mit wachsendem Abstand zwischen Flansch und Getriebe freidrehen konnte. Durch die entstandene Öffnung zwischen Motor und Getriebe entstand der in Thun festgestellte, deutliche Getriebeölverlust.
  - Die Ausbildung der Bruchflächen von zwei weiteren Schrauben deutet darauf hin, dass auch diese beiden Schrauben sich während der Entwicklung des Schadens gedreht haben.
- Durch den Verlust von fünf Schrauben wurde die verbliebene Schraube (Schraube D) bzw. ihr Gewinde mechanisch überlastet, sodass die Schraube aus dem Gewinde herausgerissen wurde.

3.2 Organisatorische Aspekte

Die Schraubverbindung zwischen dem hydrostatischen Motor und dem Getriebe erlaubt wegen ihrer Konstruktion mit einem Zwischenflansch keine einfache Kontrolle der Schrauben. Diese sind verdeckt und nur schwer zugänglich.

Die Instandhaltungsvorgaben sehen eine Kontrolle der Schraubverbindung nicht vor. Konstruktiv ist sie genügend dimensioniert.

3.3 Betriebliche Aspekte

Die Zusammenstellung des Zuges, die Betriebsform des Zuges mit einer Schiebelok, die Fahrgeschwindigkeit und die Wahl der Fahrstrasse waren zulässig. Es gab keine betrieblichen Einflüsse, die die Entgleisung herbeiführten.

3.4 Menschliche Aspekte

Die beiden Lokführer konnten die vom losen hydrostatischen Motor ausgehende Gefahr nicht erkennen. Bei der Zuguntersuchung wird die Lauf- und Bremsfähigkeit des Zuges geprüft. Eine eingehende technische Kontrolle kann im Gleisfeld nicht durchgeführt werden – und ist nicht Aufgabe der beiden Lokführer.

Die Handlungen beim Rangieren in Thun und während der Fahrt nach Heimberg führten nicht zur Entgleisung.

4 Schlussfolgerungen

4.1 Befunde

4.1.1 Technische Aspekte

- Die Spuren im Gleis und am entgleisten Fahrzeug sowie die Ölanalysen lassen den Schluss zu, dass sich der hydrostatische Motor über einen längeren Zeitraum vom Getriebe löste, sich schliesslich bei der Einfahrt in Heimberg vollständig trennte und sich in der Weiche verkeilte.
- Die Verbindung zwischen Flansch und Getriebe versagte auf Grund von Schwingbrüchen in vier von sechs M10 Maschinenschrauben.
- Der primäre Schwingbruch entstand auf Grund eines herstellungsbedingten, noch zulässigen Oberflächenfehlers im Gewindegrund einer der Schrauben.
- Nach dem Versagen der ersten Schraube entstanden aufgrund der erhöhten Belastung auf die übriggebliebenen Schrauben in diesen weitere Schwingrisse, gefördert durch die unweigerlich vorhandene umlaufende spannungskonzentrierende Kerbe des jeweiligen Gewindes.
- Bei allen vier durch Schwingbruch gebrochenen Schrauben ist die Gewaltrestbruchzone im Vergleich zur Schwingbruchfläche sehr klein. Dies zeigt, dass die Schrauben einer sehr niedrigen zyklischen Nennspannung ausgesetzt waren und somit nicht grundsätzlich mechanisch überlastet waren.
- Die Schrauben erfüllen die Normvorgaben bezüglich Materialqualität (Gewinderadius, Gefügeentwicklung, Entkohlungstiefe, Kernhärte / Zugfestigkeit, chemische Zusammensetzung, Korrosionsschutzschutzbeschichtung).

4.1.2 Organisatorische Aspekte

Die sechs Befestigungsschrauben vom hydrostatischen Motor zum Getriebe werden konstruktiv verdeckt und sind für eine allfällige Kontrolle nur schwer zugänglich.

4.1.3 Betriebliche Aspekte

Es gibt keine Anhaltspunkte, dass betriebliche Aspekte zur Entgleisung führten.

4.1.4 Menschliche Aspekte

Es gibt keine Anhaltspunkte, dass menschliche Aspekte zur Entgleisung führten.

4.2 Ursachen

Die Entgleisung einer Verdicht- und Planiermaschine am 22. Juni 2022 in Heimberg ist darauf zurückzuführen, dass sich während der Fahrt ein hydrostatischer Motor vom Getriebe der Maschine löste, in das Gleis hinunterhing und bei einer Weiche eine Achse zum Entgleisen brachte.

Zum Unfall haben beigetragen:

- Schwingungsbrüche der Befestigungsschrauben zwischen dem hydrostatischen Motor und dem Getriebe führten letztlich zum Verlust deren Verbindung.
- Die Kontrolle der Schraubverbindung ist in den Instandhaltungsvorgaben nicht vorgesehen. Zudem sind die Schrauben verdeckt verbaut und schwer zugänglich.

5 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

5.1 Sicherheitsempfehlungen

Die SUST stuft die Entgleisungsursache nicht als systemisch ein. Die Halterin der entgleisten Verdicht- und Planiermaschine hat die Instandhaltungsvorgaben angepasst. Die SUST verzichtet deshalb auf das Aussprechen von Sicherheitsempfehlungen.

5.2 Sicherheitshinweise

Keine

5.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Die Halterin der entgleisten Verdicht- und Planiermaschine hat in der Zwischenzeit

- alle vergleichbaren Konstruktionen ihrer Maschinen identifiziert;
- die Befestigungsschrauben dieser Konstruktionen ausgetauscht;
- einen systematischen Austausch der Befestigungsschrauben alle sechs Jahre eingeführt.

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, 2. Mai 2023 Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle