



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST
Service d'enquête suisse sur les accidents SESA
Servizio d'inchiesta svizzero sugli infortuni SISI
Swiss Accident Investigation Board SAIB

Bereich Bahnen und Schiffe

Schlussbericht der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST

über die Entgleisung eines S-Bahn-
Zuges

vom Samstag, 16. Februar 2013

zwischen Schwerzenbach und
Nänikon-Greifensee (ZH)

Reg.-Nr.: 2013021601

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht wurde ausschliesslich zum Zweck der Verhütung von Unfällen beim Betrieb von Eisenbahnen, Seilbahnen und Schiffen erstellt. Gemäss Artikel 15 des Eisenbahngesetzes (EGB, SR 721.101) sind Schuld und Haftung nicht Gegenstand der Untersuchung.

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

0 Zusammenfassung

Am Samstag, 16. Februar 2013, um ca. 01:18 Uhr entgleiste eine mit ca. 130 Reisenden besetzte S-Bahn-Doppelstockkomposition zwischen Schwerzenbach und Nänikon-Greifensee. Verletzt wurde niemand. An den Infrastrukturanlagen sowie am Rollmaterial entstand grosser Sachschaden.

0.2 Untersuchung

Die Meldung traf um 02:00 Uhr ein. Die Untersuchung wurde am gleichen Tag durch die Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST in Zusammenarbeit mit der Kantonspolizei Zürich eröffnet.

0.3 Ursachen

Die Entgleisung des Zugs 20051 ist darauf zurückzuführen, dass der Zug das durch den Gegenzug beschädigte Streckengleis 486 zwischen Schwerzenbach und Nänikon-Greifensee (Schienenbruch bei Bahn-km 86.200) mit unverminderter Geschwindigkeit befahren hat.

0.4 Sicherheitsempfehlungen

Die SUST spricht gegenüber dem BAV die folgenden Sicherheitsempfehlungen aus:

Sicherheitsempfehlung Nr. 45

Die Zeitspanne zwischen den Ultraschallmessungen auf stark belasteten Strecken sollte überprüft werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 46

Die für das Schleifen der Schienen erforderlichen Intervalle sollten in Abhängigkeit der Streckenbelastung sowie der zugelassenen Geschwindigkeit überprüft werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 47

Die Fahrdienstleiter sollten in internen Schulungen hinsichtlich des grossen Stellenwerts der Lokführermeldungen in Bezug auf Schäden/Vorfälle im Gleisbereich sensibilisiert werden.

1 Festgestellte Tatsachen

1.1 Vorgeschichte

Der Dienstzug 28980 (Überführung von zwei Doppelstockzügen von SBB Personenverkehr Wetzikon-Zürich Herdern) verkehrte am Samstag, 16. Februar 2013, um ca. 01:02 Uhr zwischen Nänikon-Greifensee und Schwerzenbach über das Streckengleis 400. Auf der Höhe des „Jowa-Fabrikationsbetriebs“ verspürte der Lokführer einen heftigen Schlag. Er meldete dieses Vorkommnis dem Fahrdienstleiter in Wetzikon und empfahl ihm, nach eigener Aussage, dem nächsten Zug „Fahrt auf Sicht“¹ vorzuschreiben. Nach Ankunft in Zürich Herdern kontrollierte der Lokführer die Frontseite und den Schienenräumer des an der Zugspitze verkehrenden Steuerwagens, konnte aber keinen Schaden feststellen. Die beiden Zugs-einheiten wurden anschliessend am selben Tag auf der S3 (nach Aarau) und auf der S9 (nach Affoltern am Albis) eingesetzt, bis sie dann, auf Anordnung der SUST, für weitere Untersuchungen ins Depot G in Zürich überführt worden sind.

Der Fahrdienstleiter in Wetzikon sagte aus, dass er vom Lokführer des Zugs 28980 um ca. 01:02 Uhr über Funk die Meldung erhalten habe, dass es auf der Höhe „Jowa-Fabrikationsbetrieb“ „getätscht“ habe. Als er nachgefragt habe, was genau passiert sei, habe ihm der Lokführer zur Antwort gegeben, es habe einfach „getätscht“. Der Lokführer habe ihm zusätzlich gesagt, man könne ja dem nächsten Zug „Fahrt auf Sicht“ vorschreiben. Aufgrund der Info sei er der Ansicht gewesen, dass kein Schaden am Gleis vorliege, sondern dass ein Gegenstand gegen Zug 28980 geflogen sei.

1.2 Ablauf des Ereignisses

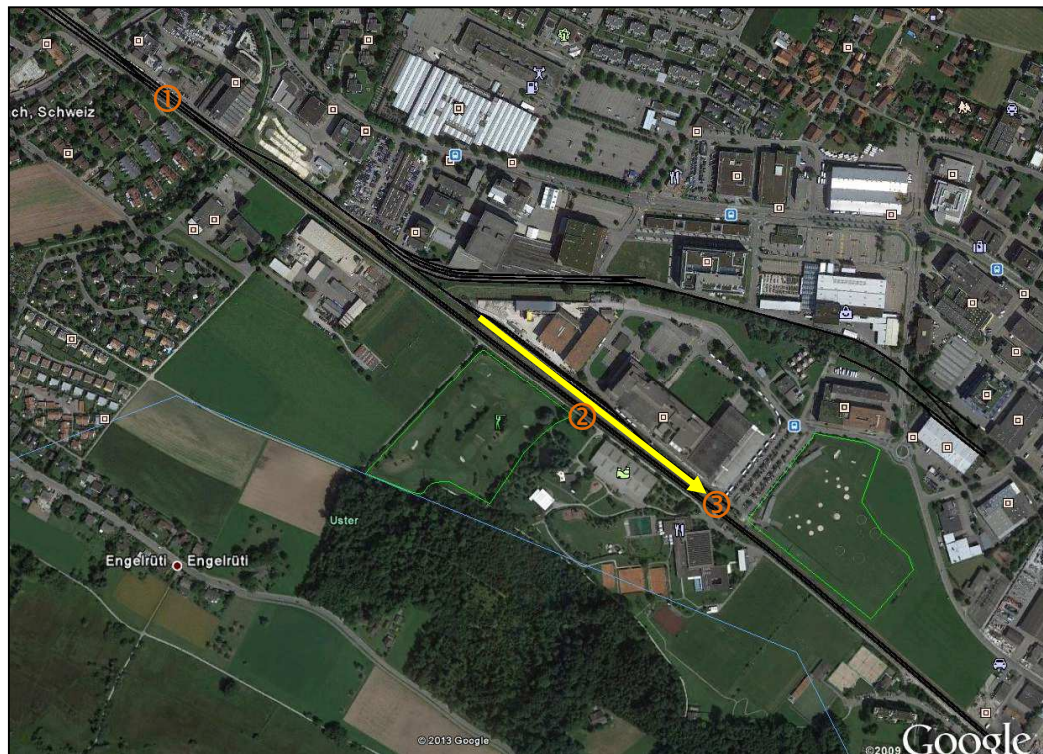
Die Nacht-S-Bahn 20051 verkehrte rechtzeitig von Zürich HB bis Schwerzenbach. Nach erfolgtem Passagierwechsel fuhr der Zug Richtung Nänikon-Greifensee ab. Der Lokführer beschleunigte den Zug auf 104 km/h. Auf der Höhe des „Jowa-Fabrikationsbetriebs“ (ca. Bahn-km 86.200) verspürte er einen Schlag und ein starkes Rumpeln.

Nach Angabe des Lokführers fing der Zug ohne Einleiten einer entsprechenden Handlung stark zu bremsen an. Er habe seinerseits eine Bremsung durch das Drehen des Handrades nach links (Bremsstellung) eingeleitet. Da die Verzögerung ohnehin über den normalen Werten lag, konnte er die Bremsung nicht verstärken.

Der Lokführer sagte gegenüber der SUST aus, dass er nach dem Stillstand des Zuges ca. 50 m vor dem Block-Vorsignal R*486 sofort den Fahrdienstleiter in Wetzikon verständigt und an der Lokspitze das Warnsignal (3-mal rot) eingeschaltet habe. Er habe festgestellt, dass das Profil des Nachbargleises belegt war, und habe dieses Gleis sperren lassen. Da er Rauch- bzw. Staubwolken festgestellt habe, habe er die Türen links freigegeben. Da alle Anzeigen im Führerstand dunkel gewesen seien, habe es keine Rückmeldung über die Stellung der Türen gegeben.

Er habe sich daraufhin nach hinten begeben, um sich ein Bild über die Situation zu machen. Einzelne Reisende seien bereits ausgestiegen. Die Reisenden, die ihre Weiterreise nicht individuell organisiert hätten, seien auf Anweisung der Betriebszentrale durch die auf dem Zug anwesenden Mitarbeiter der Securitrans zu Fuss zum Bahnhof Nänikon-Greifensee geführt worden. Kurz nach dem Ereignis seien zudem Polizei, Sanität und Feuerwehr beim Zug eingetroffen.

¹ Massnahmen und Vorgehen siehe Anlage 5

**Abbildung 1:** Unfallsituation

(Quelle: Google maps)

Legende:

- ① Bahnhof Schwerzenbach
- ② Ereignisstelle
- ③ Endlage Spitze Zug 20051

**Abbildungen 2 und 3:** Zug 20051 nach der Entgleisung (Quelle: SUST).

1.3 Personenschäden

Personen kamen beim Ereignis keine zu Schaden.

1.4 Sachschaden an der Infrastruktur

Die rechte Schiene des Gleises 486 Schwerzenbach–Nänikon-Greifensee, in Fahrtrichtung von Zug 20051 gesehen, wurde zwischen Bahn-km 86.184 und 86.200 vollständig zerstört (Abbildungen 4 + 5). Von Bahn-km 85.950 bis Bahn-km 86.184 waren weitere, teils massive, Schäden speziell an den Betonschwellen erkennbar.



Abbildungen 4 + 5: Massive Schäden an der Schiene rechts (Quelle: SUST).

1.5 Sachschäden am Rollmaterial

1.5.1 Doppelstockkomposition von Zug 20051 (Spitze–Schluss): Re 450 - B - AB - Bt)

Re 450 042-7: Schäden am hinteren Drehgestell (entgleist) und am Unterboden.

B 5085 26-33031-3: Laufflächen 4R und 3R leichte Eindrücke. Grosse Schäden am Unterboden (Abbildung 7). An zwei Stellen sind Anhebungen des Wagenbodens im Fahrgastraum erkennbar (Abbildung 6).

AB 5085 36-33042-8: Lauffläche 4R Eindrücke erkennbar. Schäden an den Drehgestellen und am Unterboden.

Bt 5085 26-33947-0: Laufflächen 2R und 3R Eindrücke sichtbar. Schäden an den Drehgestellen und am Unterboden.

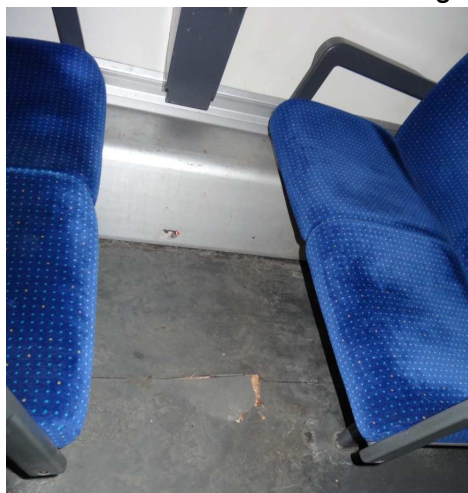


Abbildung 6: Schäden im Wagen (Quelle: SUST).



Abbildung 7: Schäden am Unterboden

1.5.2 Komposition von Zug 28980 (2 Doppelstockkompositionen Bt-AB-B-Re 450). Spitzeneinheit: keine Schäden festgestellt.

2. Einheit:

Bt 5085 26-33982-7: Lauffläche 1L und 2L: Eindrücke sichtbar.

AB 5085 36-33077-4: Laufflächen links: Eindrücke sichtbar.

B 5085 26-33067-7: Laufflächen links: Eindrücke sichtbar. Massive Schäden am Unterboden (Abbildung 7).

Re 450 051-8: Schäden am Unterboden. Getriebekasten weist Löcher (mit Ölverlust) auf (Abbildung 8).

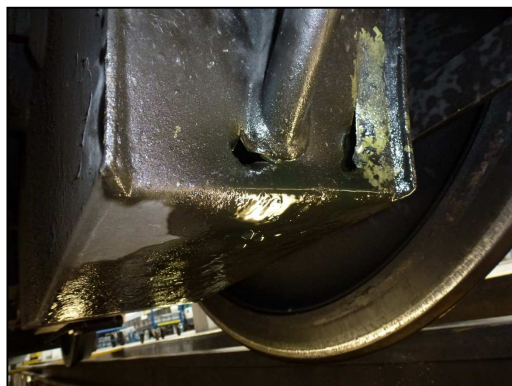


Abbildung 8: Schäden am Getriebekasten der Lok (Quelle: SUST).

1.6 Sachschäden Dritter

Dritte kamen beim Ereignis keine zu Schaden.

1.7 Ökologische Schäden

Durch die Entgleisung entstanden an der Umwelt keine grösseren Schäden. Das aus dem Getriebekasten der Lok Re 450 051-8 ausgelaufene Öl hat sich auf der Strecke Schwerzenbach–Zürich Herdern verteilt.

1.8 Feuer

Es trat kein Feuer auf.

1.9 Beteiligte Personen

1.9.1 Bahnpersonal

Bei den Mitarbeitern der Verkehrs- und Infrastrukturunternehmen sind keine Verstösse gegen arbeitsrechtliche Bestimmungen festgestellt worden.

1.9.1.1 Lokführer Zug 28980

Lokführer SBB Division Personenverkehr, Jahrgang 1955, BAV-Ausweis vorhanden.

1.9.1.2 Lokführer Zug 20051:

Lokführer SBB Division Personenverkehr, Jahrgang 1958, BAV-Ausweis vorhanden.

1.9.1.3 Fahrdienstleiter SBB Division Infrastruktur (Betriebsführung)

Jahrgang 1979.

1.9.2 Reisende

In Zug 20051 befanden sich ca. 130 Reisende.

1.10 Medizinische Feststellungen

Es gibt keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Störungen des Bahnpersonals, die das Unfallgeschehen hätten beeinflussen können.

1.11 Schienenfahrzeuge

Zug 28980 (Leerzug Wetzikon – Zürich Herdern), Spitze – Schluss:

Steuerwagen 2. Klasse Bt 5085 26-33924-9 – Erst-/Zweitklasswagen AB 5085 36-33005-5 – Zweitklass-Niederflurwagen B NDW 5085 26-73035-5 – Lok Re 450

109-4 – Steuerwagen 2. Klasse Bt 5085 26-33982-7 – Erst-/Zweitklasswagen AB 5085 36-33077-4 – Zweitklasswagen B 5085 26-33067-7 – Lok Re 450 051-8.
Zug 20051 (Nacht-S-Bahn Zürich HB–Wetzikon–Rapperswil). Spitze – Schluss:
Lok Re 450 042-7 – Zweitklasswagen B 5085 26 33031-3 – Erst/Zweitklasswagen AB 5085 36-33042-8 – Steuerwagen (2. Klasse) Bt 5085 26-33947-0.

1.12 Feststellung an den Schienenfahrzeugen

Die visuelle Überprüfung der am Ereignis beteiligten Schienenfahrzeuge durch die SUST ergab keine Hinweise auf vorbestandene Schäden.

Alle erkennbaren Beschädigungen waren auf die Entgleisung des Zuges 20051 bzw. das Überfahren der Stelle mit dem Schienenbruch durch den Dienstzug 28980 zurückzuführen.

1.13 Wetter, Schienenzustand

Gemäss Bericht von Meteo Schweiz herrschten bei der nächsten repräsentativen Messstation Kloten Flughafen (ca. 14 Km von der Entgleisungsstelle entfernt) zum Zeitpunkt der nachstehenden Arbeiten von SBB Infrastruktur (SBB I) bzw. vor und in der Entgleisungszeit folgende Wetterverhältnisse:

- 17.09.2012: Arbeit:
Ultraschallmessungen mit Handgerät.
Meteo: Am Vormittag teilweise Nebelfelder, ab Mittag einige hohe Wolkenfelder.
Temperaturen am frühen Morgen um 8 °C, am Nachmittag bis 22.9 °C.
- Nacht 17./18.10.2012: Arbeit:
Auswechseln von Schienenteilen vor und nach der Ereignisstelle inkl. Schweissarbeiten.
Meteo:
Wechselnde, hohe Bewölkung, kein Niederschlag. Nebelbänke in der zweiten Nachhälfte.
Temperaturen: Um 18:00 Uhr 14.8 °C, langsam sinkend auf 8,2 °C um Mitternacht und 4,3 °C um 04:00 Uhr morgens.
- Nacht 14./15.02.2013: Meteo:
Schneefall, Zuwachs ca. 5 cm auf eine totale Schneehöhe von ca. 18 cm. Temperaturen um -4 °C.
15. Februar 2013: Meteo:
Temperaturanstieg auf ca. +2 °C, am Nachmittag etwas Regen.
- Nacht 15./16.02.2013: Meteo in der Ereignisnacht.
Bedeckt (Hochnebel), kein Niederschlag.
Temperatur um 01:00 Uhr ca. +1 °C. Totale Schneehöhe ca. 10 cm.
Sicht eingeschränkt (Nacht). Schienen trocken.

Zwei Tage vor dem Ereignis waren Temperaturen von bis zu -10 °C zu verzeichnen.

1.14 Bahnanlagen und Sicherungssysteme

1.14.1 Bahnanlagen

Die Strecke Schwerzenbach – Nänikon-Greifensee besteht aus einer Doppelspur, die wechselseitig befahren werden kann.

Die Schienen wurden letztmals 1984 im Zuge der Fahrbahnerneuerung gewechselt. Eingebaut wurden das Schienenprofil 54 (sog. SBB IV) und Betonschwellen B70.

Ausgeführte Gleisarbeiten seit Einbau 1984 gemäss Angaben aus der „Datenbank feste Anlagen“:

- 1985 Stopfung nach Neulage
- 1992 Unterhaltsstopfung
- 1993 Schleifen des Gleises
- 2001 Schleifen des Gleises
- 2009 Mechanischer Kleinunterhalt (Einzelfehlerstopfung)
- 2012 Entscheid: Fahrbahnerneuerung, die für 2014 vorgesehen war, wird aus Kapazitätsgründen auf 2013 (Mai–Juni) vorgezogen. Aus diesem Grund wurde auf das vorgesehene Schleifen der Schienen in diesem Jahr verzichtet.

Gemäss den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB EBV: AB 13.3.9 und AB 17 8.6.2) und dem Reglement über Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen (R I 22070) müssen die Schienen regelmässig mittels Ultraschallprüfung überwacht werden.

Bei einer täglichen Belastung von 25000 – 65000 GBRT²/Tag und einer Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h sind jährliche Kontrollen (alle 12 Monate) vorgeschrieben.

Das Gleis 486 ist täglich durch 51000 GBRT belastet.

Das Gleis 486 Schwerzenbach – Nänikon-Greifensee wurde in der Nacht vom 11./12. September 2012 durch den Schienenprüfzug des Typs UST02 der Firma Eurailscout (NL) mittels Ultraschall überprüft. Dabei wurden unter anderem für den Abschnitt Bahn-km 85.933–92.300 Fehler in der Schiene links (beschädigte Schiene in Bahnkilometrierung gesehen) aufgezeichnet.

Aufgrund der am 14. September 2012 ausgelieferten Prüfergebnisse wurde das Gleis durch die SBB mittels eines Handprüfgeräts des Typs SPG 2 (mit Ultraschallgerät USM 25/35) nachgeprüft. Dabei wurden folgende Fehler lokalisiert:

Resultate Nachkontrolle (linke Schiene)						
Bericht Nr.	Position [km]	Schiene L / R	Fehler	UIC Nr.	Fehlergruppe	Stelle
ZH 103-12, Nr. 5	85.951	L	1 Querriss	421	U1	A.1
ZH 103-12, Nr. 4	85.972	L	Div. Squats, Länge 7.2m	227	U1	A.2
ZH 103-12, Nr. 3	86.229	L	Div. Squats, Länge 3.3m	227	U1	B.1
ZH 103-12, Nr. 7	86.263	L	Div. Squats, Länge 31.8m	227	U1	B.2

Abbildung 9: Auszug aus den Aufzeichnungen SBB³ (Quelle: SBB).

Diese Schäden wurden in der Nacht vom 18./19. Oktober durch das Auswechseln der entsprechenden Schienenteile behoben. Das Gleis wurde anschliessend wieder verschweisst (Prüfprotokoll ZH-103-12 einer Ultraschallprüfung als Beispiel, siehe Anlage 4).

² Gesamtbruttoregistertonnen

³ Squats sind horizontale Risse ca. 3–6 mm unterhalb des Schienenkopfs (siehe Abbildungen 11, 12 und 13).

Im Gleisabschnitt Bahn-km 85.184–85.200 wurden nur vereinzelte, geringe Schäden gemessen, die nach Beurteilung der Messspezialisten zu diesem Zeitpunkt keine Sofortmassnahmen erforderten.

Am 14. November 2012 wurde eine Messfahrt mit dem Diagnosefahrzeug (DFZ) durchgeführt (visuelle Prüfung des Gleises sowie Diagramme Gleislage- und Schienenprofil). Die gemessenen Daten lagen innerhalb der Toleranzen.

Die letzte Streckenkontrolle (visuelle Prüfung durch einen Streckenwärter) fand am Dienstag, 5. Februar 2013, statt. Der Streckenwärter stellte keine Besonderheiten fest.

Im Nachgang der Entgleisung wurden der SUST von Dritten mehrere Mails übermittelt, die auf folgende Auffälligkeiten beim Befahren des Streckenabschnitts Schwerzenbach–Nänikon hinwiesen:

- Auffallend laute Fahrgeräusche ab Schwerzenbach Richtung Nänikon auf ca. 500 m Länge seit ca. 3 Jahren, bei allen Fahrzeugtypen und bei allen Geschwindigkeiten hörbar;
- Klopf- und Schlaggeräusche während mehrerer Sekunden im Bereich des „Fabrikationsbetriebs Jowa“.

1.14.2 Sicherungssysteme Infrastruktur

Die Bahnsicherungssysteme haben normal funktioniert. Sie sind für den Ablauf des Ereignisses nicht relevant.

1.14.3 Sicherungssysteme Fahrzeuge

Die S-Bahn-Kompositionen sind mit der elektronischen Sicherheitssteuerung, mit der automatischen Zugsicherung mit Magnetfeldsonde sowie mit der Zugbeeinflussung ZUB 121 (SBB/BLS) ausgerüstet.

Die Sicherungssysteme haben richtig funktioniert. Sie sind für den Ablauf des Ereignisses nicht relevant.

1.15 Fahrdatenschreiber

1.15.1 Geschwindigkeitsmessanlage

Die Lok Re 450 Nr. 042-7 von Zug 20051 wie auch die Lok Re 450 Nr. 109-4 von Zug 28980 sind mit einer elektronischen Geschwindigkeitsmessanlage ausgerüstet. Die Fahrdaten werden elektronisch aufgezeichnet. Sie wurden durch die Verkehrsunternehmung ausgelesen und durch die SUST ausgewertet.

1.15.2 Fahrdaten Zug 20051

Die Auswertung der Fahrdaten ergab, dass der Zug unmittelbar vor dem Ereignis mit einer Geschwindigkeit von 104 km/h gefahren war und somit die für diesen Streckenabschnitt vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit (V_{max}) von 125 km/h nicht überschritten hatte (Anlage 2).

1.15.3 Fahrdaten Zug 28980

Der Zug 28980 ist zwischen Nänikon-Greifensee und Schwerzenbach mit einer Geschwindigkeit zwischen 117 km/h und 105 km/h gefahren. Die für diesen Streckenabschnitt vorgeschriebene v_{max} wurde nicht überschritten. Die Fahrdaten weisen in diesem Bereich eine markante Schwankung auf.

1.16 Übermittlung

Die Loks bzw. Steuerwagen der Doppelstockzüge sind mit dem Zugfunk GSM-R ausgerüstet. Die Funkgespräche werden nicht aufgezeichnet.

1.17 Resultate aus den besonderen Untersuchungen**1.17.1 Untersuchung durch die SUST im Beisein von Fachleuten SBB I:**

Die von der SUST am Ereignistag sichergestellten Schienenstücke waren durch SBB Infrastruktur nach Rapperswil verbracht und in einem geschlossenen trockenen Raum zwischengelagert worden.

Bei der ersten Untersuchung dieser Schienenstücke durch die SUST und durch Mitarbeiter des Forensischen Instituts Zürich (FOR) im Beisein von Fachleuten der SBB konnte die wahrscheinliche erste Schienenbruchstelle gefunden werden (Abbildungen 11 und 12). Weitere Untersuchungen wiesen auf eine Materialablösung aufgrund Rollkontaktermüdung hin. Aufgrund dieser ersten Erkenntnisse wurde eine vertiefte Materialprüfung der Schienenstücke durch ein spezialisiertes Institut angeordnet.



Abbildung 10: Sichergestellten Schienenstücke in Rapperswil (Quelle: SUST).



Abbildungen 11 + 12: Fotos des vermuteten ersten Schienenbruches (Quelle: SUST).



Abbildung 13: Materialablösung aufgrund von Rollkontaktermüdung 2-4 mm unter der Oberfläche (Quelle SUST).

- 1.17.2 Untersuchung durch das Institut für Werkstofftechnologie Wallisellen
- Zur Klärung der Schadensursache wurde dem Institut für Werkstofftechnologie in Wallisellen (IWT) am 25. Februar 2013 der Auftrag erteilt, die Bruchursache zu ergründen und eine Schadensanalyse durchzuführen. Zu diesem Zweck wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:
- Fraktographische Untersuchungen:
 - Makroskopische Untersuchung
 - Rekonstruktion der Schiene und makroskopische Begutachtung
 - Stereomikroskopische Untersuchung der primären Bruchfläche
 - Ultraschallprüfungen und Untersuchung von Vorschädigungen
 - Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung
 - Metallographische Untersuchungen:
 - Untersuchung der Querschliffe
 - Untersuchung am Längsschliff
 - Chemische Analyse
 - Mechanisch-technologische Prüfungen
 - Zugversuche
 - Kerbschlagbiegeversuche
 - Härtemessungen
 - Eigenspannungsanalyse
- 1.17.3 Auszug aus dem Bericht IWT Kapitel 7
- Gegenstand der Untersuchung war ein zertrümmertes Schienenstück. Fotos der Schienenfragmente finden sich in Beilage 1.
- Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen (Auszug aus dem Bericht):
- *Die Rekonstruktion des gesamten Schienenabschnitts zeigt einen über 16 m langen Trümmerbruch. Es lagen 74 Fragmente vor, die von Seite Schwerzenbach her (in Fahrrichtung Zug 20051) aufsteigend nummeriert wurden.*
 - *Das Rissystem zeigt primär zwei Orientierungen in horizontaler und vertikaler Richtung. Die Bruchflächen mit horizontaler Orientierung sind zerklüftet mit typischen Gewaltbruchmerkmalen. Die Bruchflächen mit vertikaler Ausbreitung haben ihren Bruchausgang im Schienenkopf. Deren Bruchausgangsbe- reich ist fein ausgebildet mit typischen Merkmalen eines Schwingbruchs.*
 - *Die Rissinitiierung der vertikalen Brüche erfolgt fast ausschliesslich an Roller- müdungserscheinungen wie „Squats“⁴ und „Head checks“⁵ (Abbildungen 13 und 14).*
 - *Der vermutete primäre Bruchausgang befindet sich im Bereich eines „Squats“ bei Position 5.6 m (Fragment 28/29). An dieser Stelle konnte der grösste Schwingbruchanteil im Schienenkopf nachgewiesen werden. Dementspre- chend lag dort die grösste Vorschädigung vor (Abbildung 14).*

⁴ „Squats“ Horizontale Risse ca. 3 – 6 mm unterhalb des Schienenkopfs.

⁵ „Head checks“ Vertikal verlaufende Risse an der Innenseite des Schienenkopfs.

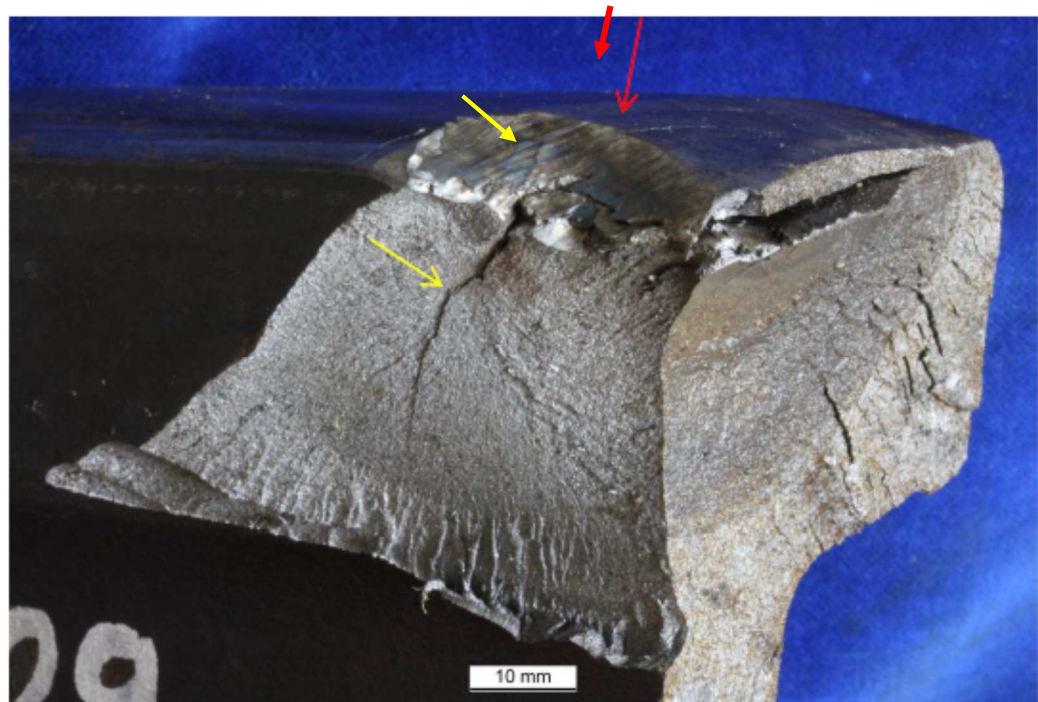


Abbildung 14: Squat“ (roter Pfeil) und vertikaler Riss (gelber Pfeil) im Fragment 29 bei der primären Bruchstelle (Quelle: IWT).

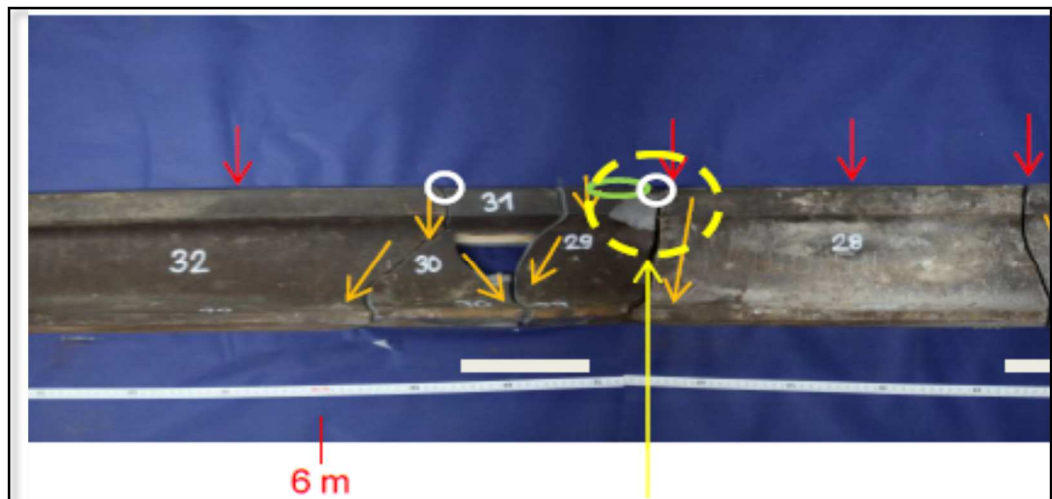


Abbildung 15: Gelber Pfeil = Primärer Bruchausgang (Quelle IWT)

- Mittels Ultraschall konnten beim primären Bruchausgang (Fragment 28/29) grössere Fehler unterhalb der Fahrfläche detektiert werden (Abbildungen 11, 12 und 15). Weitere Ultraschall-Messungen aller Schienenfragmente zeigten zahlreiche innere Fehler im Schienenkopfbereich. Eine Anhäufung der Fehleranzeigen im Schienenkopfbereich ist zwischen 1 m und 6 m ersichtlich.
- Einzelne freigelegte Ultraschall-Anzeigen weisen auf „Squats“ hin.
- Mit Ausnahme des Aluminiumgehalts entspricht der Schienenstahl dem Typ R260Mn nach EN 13674-1.
- Die Zugfestigkeit des Schienenstahls beträgt im Mittel 975 MPa (min. 880 MPa nach EN 13674-1).
- Die Härte auf der Fahrfläche beträgt im Mittel 297 HBW und im Kopf 282 HBW (260 – 300 HBW nach EN 13674-1).
- Die Kerbschlagarbeit beträgt bei Raumtemperatur im Mittel 4J.
- Die maximal gemessene Zug-Eigenspannung liegt bei 225 MPa und liegt unterhalb der erlaubten 250 MPa gemäss EN 13674-1.

- *Auf der Fahrfläche konnten Druck-Eigenstressungen bis zu 150 MPa gemessen werden. Aus Gleichgewichtsgründen sind wenige Millimeter unterhalb der Fahrfläche Zug-Eigenstressungen zu erwarten. In diesem Bereich konnten „Squats“ nachgewiesen werden.*

Aufgrund der Ergebnisse kann ausgesagt werden, dass die Schiene durch verschiedene Formen der Rollermüdung bereits vor der Entgleisung vorge-schädigt war.

1.17.4 Untersuchungen durch die Firma Mat-Tec Winterthur

Als Ergänzung zur Untersuchung des IWT wurde bei der Firma Mat-Tec Winterthur eine Eigenspannungsmessung an den relevanten Bruchstücken der Schiene in Auftrag gegeben.

Auszug aus dem Bericht:

- *An der Unterseite des Schienenfusses liegen offenbar grössere Zug-Eigenstressungen vor. Über die gemessene Tiefe übersteigen sie aber nirgends die 250 MPa, die gemäss EN 13674-1 als Zulässigkeitsgrenze im Schienenfuss gelten. An der Oberseite des Fusses sind überraschenderweise praktisch keine Eigenspannungen vorhanden. Es ist deshalb anzunehmen, dass die Spannungen im Fuss nirgends über 250 MPa liegen.*
- *Am Schienenkopf liegen in der von der Messung erfassten Schicht ($x < 2.5$ mm) vorwiegend Druckspannungen vor. Diese variieren relativ stark zwischen den drei Messstellen. Das deutet darauf hin, dass diese Spannungen nicht aus der Herstellung stammen, sondern auf die lokale plastische Dehnung infolge der Pressung des Herz'schen Radkontakts zurückzuführen sind.*

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Schienenfahrzeuge

Die visuelle Kontrolle der am Ereignis beteiligten Schienenfahrzeuge durch die SUST ergab keine Beanstandungen. Die festgestellten Schäden waren auf den Schienenbruch (Dienstzug 28980) bzw. auf die Entgleisung (Zug 20051) zurückzuführen.

2.1.2 Gleisanlage

- Eine erste visuelle Überprüfung der sichergestellten Schienenstücke durch die SUST und durch Mitarbeiter des FOR im Beisein von Fachleuten der SBB ergab Hinweise auf eine Schienenoberflächenermüdung (Rollkontaktermüdungen wie Squats) im Bereich der grössten Spannung. In diesen Bereichen löst sich 2 – 4 mm unter der Schienenoberfläche das sich unter der Radlast plastifizierende Material ab. In dieser Zone der Materialtrennung wachsen Risse in vertikaler Richtung. Bei der visuellen Prüfung der Schienenoberfläche sind diese Risse nicht erkennbar. Beim Überfahren entstehen Klopfgeräusche, die durch Passagiere und Anwohner wahrgenommen werden können.
- Gemäss den Erkenntnissen der „Herz'schen Pressung“ entsteht der grösste Druck in der Schiene nicht auf der Schienenoberfläche sondern 2–4 mm tiefer im Schienenkopf. Die Untersuchungen zeigen, dass sich die Schwingbrüche unterhalb der von aussen erkennbaren „Squats“ in diesem Bereich befinden. Im weiteren Verlauf führten die grösseren „Squats“ zu Fretting-Prozessen⁶ und zu tiefer gegen den Schienenfuss reichenden Risse.

⁶ Fretting u.a. Abnützungsprozesse

- Mit einem regelmässigen Schleifen der Schienen werden allfällige Riffel auf der Schienenoberfläche beseitigt. Durch den Materialabtrag auf der Schiene beim Schleifen verlagert sich die grösste Pressung beim Befahren nach unten, was die Bildung von Squats verzögert.
- Aufgrund der Erkenntnisse der Ultraschallmessungen wurden in der Nacht vom 17./18. Oktober 2012 vor und nach der Entgleisungsstelle einzelne Schienenstücke ausgewechselt und neu verschweisst. Diese Arbeiten wurden bei einer Aussentemperatur von 8,2 °C (um Mitternacht) sinkend auf 4,3 °C (um 04:00 Uhr morgens) durchgeführt. Ob die Schweissarbeiten vor und nach der Schadenstelle bei den relativ tiefen Temperaturen einen Einfluss auf das Gefüge des beschädigten Gleisstücks gehabt haben, konnte nicht abschliessend geklärt werden.

2.1.3 Interpretation der Ergebnisse aus dem Prüfbericht IWT

Auszüge aus Ziffer 8 des Berichtes IWT vom 12.06.2013:

- *Aufgrund der Rekonstruktion der Schiene und der makroskopischen Ermittlung der Rissausbreitungen konnte der primäre Bruchbereich bei Position 5.6 m von Seite Schwerzenbach bestimmt werden. In diesem Bereich wurden neben den Brüchen mittels Ultraschallprüfung zahlreiche Anzeigen gefunden. Visuell sind in diesem Bereich auch mehrere Stellen mit Verdacht auf „Squats“ zu erkennen.*
- *Die Häufigkeit der Ultraschallanzeigen sowie auch von visuell vermuteten „Squats“ nimmt weiter Richtung Nänikon-Greifensee ab. Dafür nimmt die Häufigkeit von seitlich an den Schienenköpfen vorhandenen, schräg verlaufenden Oberflächenrissen (sogenannten „Head checks“) zu.*
- *Die Kerbschlagversuche mit Proben aus dem Schienenkopf zeigten, dass der Werkstoff im Kopfbereich bereits bei Raumtemperatur in einem spröden Zustand ist und sich somit auch bei den zu dieser Zeit herrschenden Minustemperaturen spröde verhalten hat. Die zahlreichen Vorschädigungen in Form von Rollermüdungserscheinungen wie „Squats“ und „Head checks“ wirkten als Sollbruchstellen und führten zusammen mit dem spröden Werkstoffverhalten zu dem vorliegenden Trümmerbruch. Der Begriff „spröder Zustand“ bezieht sich dabei auf das Bruchverhalten und hat nichts mit einer Versprödung als Materialfehler zu tun.*
- *Generell kann ausgesagt werden, dass die mechanischen Eigenschaften nach Norm erfüllt sind.*
- *Die durch das IWT durchgeführte Ultraschallprüfung an den Schienenköpfen zeigte diverse innere Fehler. Gemäss Aussage der SBB wurde die Schiene im Herbst 2012 mit Ultraschall geprüft.*

2.1.4 Schadenshypothese

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen kann folgender Schadenshergang abgeleitet werden:

- Im Streckenabschnitt Schwerzenbach – Nänikon bildeten sich über die Zeit zahlreiche Rollermüdungserscheinungen aus, wie „Squats“ und „Head checks“.
- Bei der Position 5.6 m (Fragment 28/29) bildete sich das grösste Rissystem („Squat“) aus mit maximaler vertikaler Orientierung von ca. 40 mm.
- Bei der ersten Überfahrt in Richtung Schwerzenbach (Dienstzug 28980) wurde die kritische Belastung für diese grösste Vorschädigung (Fragment 28/29) erreicht, was zum Bruch an dieser Stelle führte.
- In der Folge brachen mehrere Fragmente in Richtung Schwerzenbach zwischen Position 5.6 m und 0 m aus. Hinweise dafür liefern die Orientierung der Bruchausbreitung der horizontalen Risse Richtung Schwerzenbach und die Tatsache, dass Fragment 2 (Position 0.5 m) und Fragment 26 (Pos. 4.5 m)

gemäss Aussagen der SBB abseits des Trümmerbruchs in Richtung Schwerzenbach gefunden wurden.

- Bei der zweiten Überfahrt in Richtung Nänikon-Greifensee (Zug 20051) fehlte ein grösserer Schienenabschnitt von ca. 5.6 m, was zur Entgleisung führte.
- Der weitere Schienenbruch von Position 5.6 m bis 16 m ist als Folge dieser Entgleisung entstanden. Der Trümmerbruch erklärt sich auch hier infolge der starken Vorschädigung durch Rollermüdung im Schienenkopfbereich. Die Fragmente in diesem Bereich sind grösser und mehrheitlich durch eine Biegebeanspruchung im Schienensteg entstanden.

2.2 Betriebliche Aspekte

- Zug 20051 ist mit einer Geschwindigkeit von 104 km/h, Zug 28980 mit einer solchen zwischen 105 km/h und 114 km/h gefahren. Beide Züge haben die für diesen Streckenabschnitt vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit von 125 km/h nicht überschritten.

Die in den Fahrdaten von Zug 28980 ersichtliche Geschwindigkeitsschwankung könnte auf den Schienenbruch hinweisen.

- Gemäss Aussage des Lokführers von Zug 28980 hat er den Fahrdienstleiter am Funk darüber verständigt, dass er Höhe „Jowa“ ein starkes Geräusch (es hat ‚getätscht‘) gehört habe. Er sagte dem Fahrdienstleiter zudem, dass er dem nächsten Zug „Fahrt auf Sicht“ vorschreiben solle.

Der Fahrdienstleiter hat diese Aussage dahingehend interpretiert, dass ein Gegenstand gegen Zug 28980 geflogen ist und keine Unregelmässigkeit an der Fahrbahn vorliegt. Entgegen den Bestimmungen im Schweizerischen Fahrdienstreglement FDV (SR 742.173.001) R300.9, Absatz 8 verzichtete er darauf, den Lokführer des Gegenzuges entsprechend zu verständigen, diesem zwischen Schwerzenbach und Nänikon-Greifensee „Fahrt auf Sicht“ (vmax. 10 km/h über die entsprechende Stelle) vorzuschreiben und die technischen Dienste zu verständigen (Anlage 5).

- Die Funkgespräche wurden nicht aufgezeichnet. Eine Aufzeichnung hätte die Möglichkeit gegeben, den genauen Wortlaut bezüglich Handlungsbedarf zu analysieren

3. Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

- Die Bahnsicherungsanlagen haben richtig funktioniert.
- Die visuelle Kontrolle der Schienenfahrzeuge durch die SUST ergaben keine Hinweise auf allfällige vorbestehende Schäden. Die an den Fahrzeugen vorgefundenen Schäden waren auf den Schienenbruch (Zug 28980) bzw. die Entgleisung (Zug 20051) zurückzuführen.
- Beide Züge haben die vorgeschriebene Fahrgeschwindigkeit für diesen Streckenabschnitt nicht überschritten.
- Der Lokführer von Zug 28980 hat den Fahrdienstleiter vorschriftsgemäss über die von ihm bemerkte Unregelmässigkeit („Es hat getätscht“) gemeldet.
- Der Fahrdienstleiter hat die Meldung des Lokführers von Zug 28980 nicht richtig interpretiert, keine Fachdienste aufgeboten, den Lokführer des nächsten Zuges (Zug 20051) nicht informiert und diesem nicht „Fahrt auf Sicht“ (max. 10 km/h über die entsprechende Stelle) vorgeschrieben.

- Die Schienen der Streckengleise Schwerzenbach – Nänikon-Greifensee wurden letztmals in der Nacht vom 11./12. September 2012 mit dem Ultraschallmesswagen überprüft. Die händischen Nachmessungen vom 17. September 2012 ergaben Schäden vor und nach der Ereignisstelle, die in der Nacht vom 17./18. Oktober 2012 durch das Auswechseln von Schienen behoben wurden. Auf dem Gleisstück zwischen Bahnkm 86.184 und 86.200 wurden nur geringfügige Schäden festgestellt, die nicht unverzüglich behoben werden mussten. Die Schienen waren im Jahr 2001 letztmals geschliffen worden.
- Weder die Messfahrt mit dem Diagnosefahrzeug SBB vom 14. November 2012 noch die letzte visuelle Kontrolle durch den Streckenwärter am 5. Februar 2013 gaben Hinweise auf Schädigungen auf dem entsprechenden Schienenabschnitt.
- Die Ergebnisse der Untersuchung der Schienenfragmente durch das IWT ergaben, dass die Schiene durch verschiedene Formen der Rollermüdung bereits vor der Entgleisung vorgeschädigt war.
- Der primäre Schienenbruch ist bei der Durchfahrt von Dienstzug 28980 entstanden. Dabei wurde ein Schienenstück von ca. 5.6 m Länge weggerissen.

3.2 Ursache

Die Entgleisung von Zug 20051 ist darauf zurückzuführen, dass der Zug das durch den Gegenzug beschädigte Streckengleis 486 zwischen Schwerzenbach und Nänikon-Greifensee (Schienenbruch bei Bahn-km 86.200) mit unverminderter Geschwindigkeit befahren hat.

Zum Ereignis beigetragen haben

- Das nicht vorschriftsgemässe Vorgehen des Fahrdienstleiters, nachdem dieser die Information über die festgestellte Unregelmässigkeit vom Lokführer des Zuges 28980 am Funk erhalten hatte;
- Die rechte Schiene (in Fahrtrichtung Zug 20051 gesehen) von Bahn-km 86.200 bis 86.184 war stark vorgeschädigt („Squats“ und „Head checks“). Dadurch verursachte der Dienstzug 28980 bei Bahn-km 86.200 einen Schienenbruch von ca. 6 m Länge.

3.3 Risikoabschätzung

Das Befahren von beschädigten Gleisen mit hohen Geschwindigkeiten kann zu Entgleisungen mit hohem Gefährdungs- und grossem Schadenpotenzial führen.

4 Sicherheitsempfehlungen

4.1 Sicherheitsdefizit

- Das Intervall von 12 Monaten zwischen zwei Ultraschallprüfungen auf stark belasteten Strecken ist eventuell zu lang.
- Riffelbildung begünstigt die Bildung von „Quats“, welche wiederum zu Schienenbrüchen führen können.
- Fehlinterpretation von Lokführermeldungen über Unregelmässigkeiten im Bahnwesen können zu Unfällen führen.

4.2 Getroffene Massnahme

Um die Qualität der Ultraschallprüfung zu steigern, hat die SBB bereits Anfang 2012 entschieden, den Schienenprüfzug neu zu evaluieren, um den Stand der Technik weiter zu gewährleisten. 2012 wurden daher Vergleichsfahrten mit mehreren Anbietern auf dem Netz der SBB durchgeführt. Dabei wurden die Resultate des bisherigen Auftragnehmers „Eurailscout“ als ungenügend bewertet. Das Ultraschallprüfsystem der Firma „Sperry Rail“ schnitt in diesen Vergleichsmessungen am besten ab. Dementsprechend wurden die Ultraschallprüfungen für die Jahre 2013 und 2014 an die Firma „Sperry Rail“ vergeben. Die mit dem neuen Ultraschallmesswagen (Typ SRS 241 der Firma „Sperry Rail“, UK) gefundenen Fehlerindikationen wurden bei den Handnachprüfungen zu rund 90% bestätigt (deutlich höhere Bestätigungsquote als bei „Eurailscout“).

4.3 Sicherheitsempfehlungen

Die SUST spricht gegenüber dem BAV die folgenden Sicherheitsempfehlungen aus:

Sicherheitsempfehlung Nr. 45

Die Zeitspanne zwischen den Ultraschallmessungen auf stark belasteten Strecken sollte überprüft werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 46

Die für das Schleifen der Schienen erforderlichen Intervalle sollten in Abhängigkeit der Streckenbelastung sowie der zugelassenen Geschwindigkeit überprüft werden.

Sicherheitsempfehlung Nr. 47

Die Fahrdienstleiter sollten in internen Schulungen hinsichtlich des grossen Stellenwerts der Lokführermeldungen in Bezug auf Schäden/Vorfälle im Gleisbereich sensibilisiert werden.

Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST
Bereich Bahnen und Schiffe

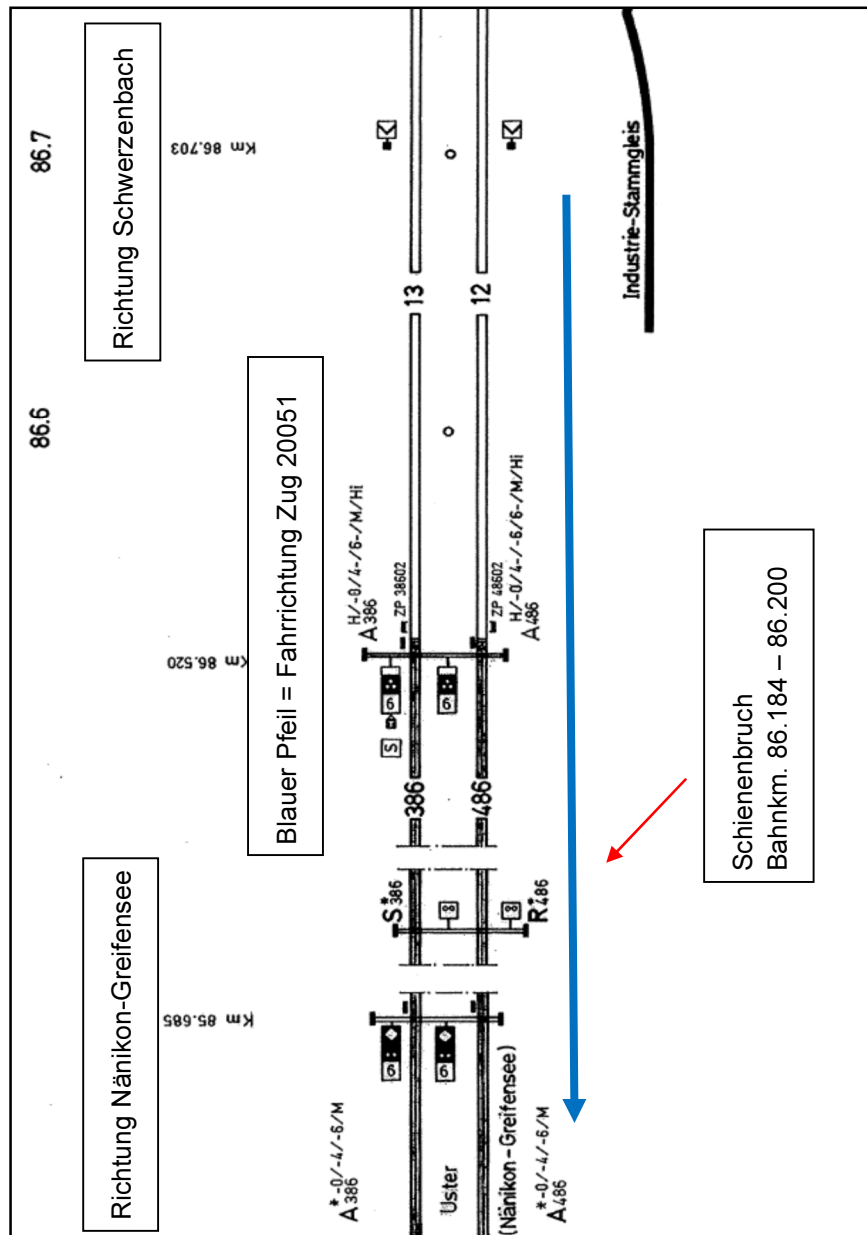
Bern, 5. Dezember 2013

Dieser Schlussbericht wurde von der Geschäftsleitung der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 3 Abs.4g der Verordnung über die Organisation der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle vom 23. März 2011).

Bern, 9. Dezember 2014

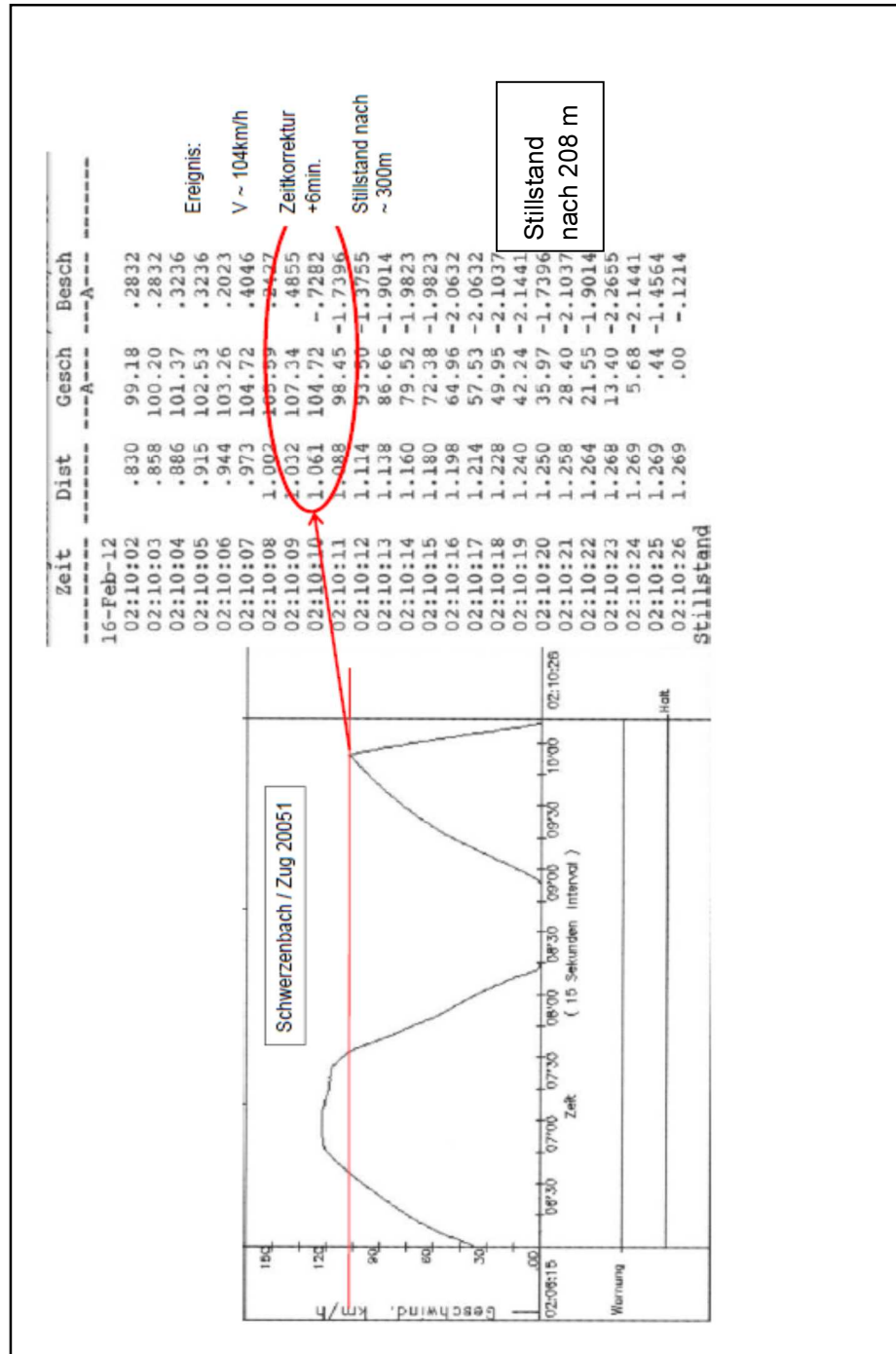
Anlage 1

Gleisplan Schwerzenbach – Nänikon-Greifensee



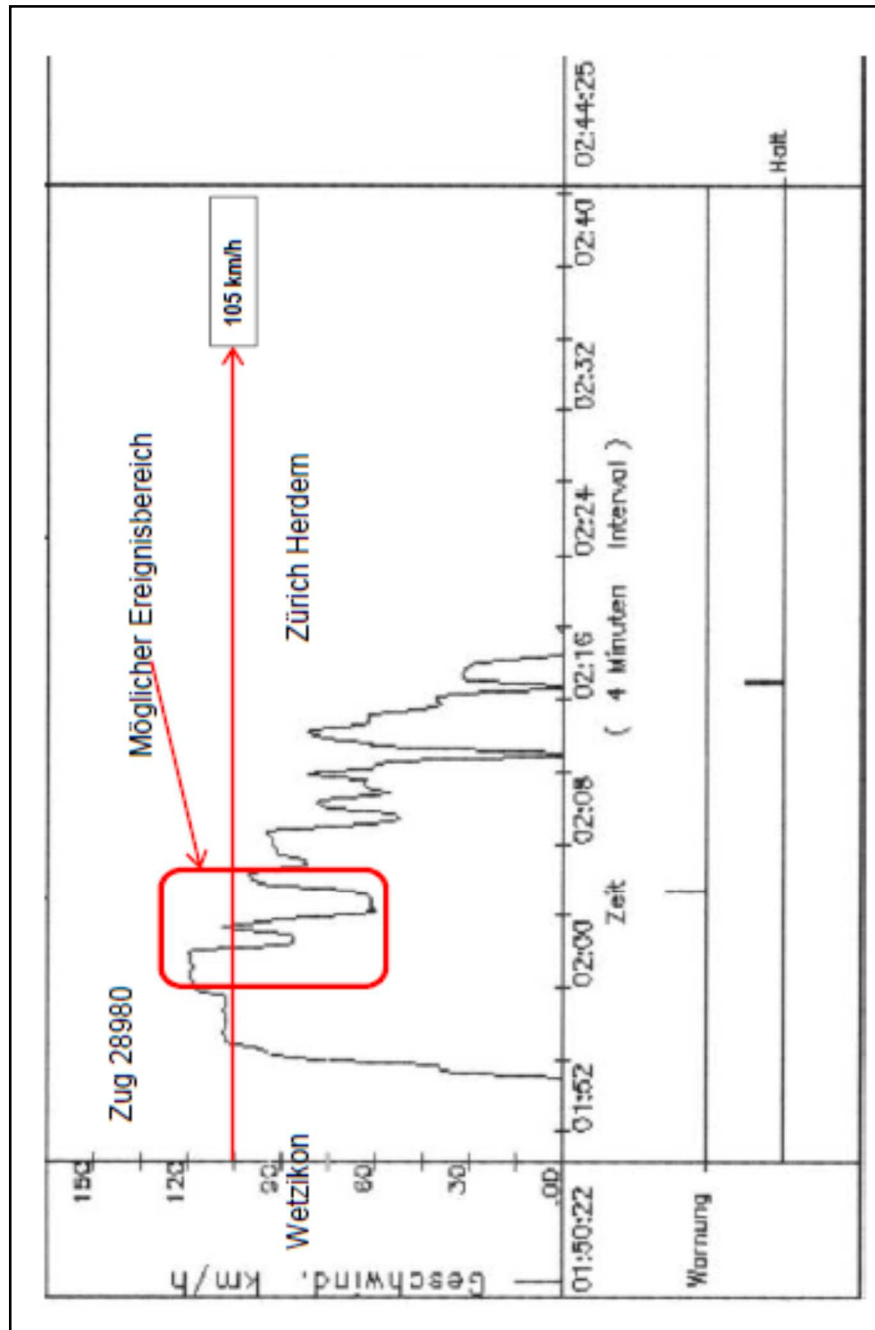
Anlage 2

Fahrdaten Zug 20051



Anlage 3

Fahrdaten Zug 28980



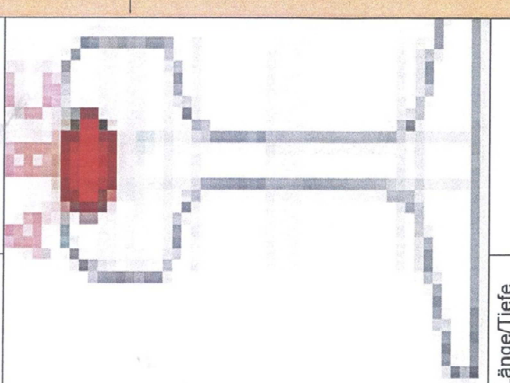
Zeitkorrektur -60 Minuten (Winterzeit, Uhr nicht umgestellt)

Anlage 4

Protokoll Ultraschallprüfung ZH-103-12

Bahn-km 85.461

SBB CFF FFS Infrastruktur		Ultraschallprüfung in Gleisen			Bericht-Nr. ZH-103-12	
Jahr 2012	I-AT-UEW-UST Zürich	UEW-N Zürich	UEW-FB-AV Rapperswil	Verantwortlicher Region Ost		
Strecke/Station Gleis	Uster - Zürich Schwerzenbach 486/482	Prüfart Gleiskategorie	A Messzug HG2		Ausgeführt am 17.09.2012	
Verlegeart		Messzugfahrt			Letzte Prüfung 23.03.2011	

Schiene				Schweissung	
Typ IV	Walzdaten Do 83 III	Qualität R260 (VQ)	In Garantie Nein	Situation ausseen rechts	Typ Auftrag Nein
Fehlergruppe Bemerkungen	UIC-Katalognummer 227				
U 1	1 Squat				
Km von Km bis	85.461	Massnahmen Notverlaschen Beheben bis 19.10.2012 Behoben am 18.10.2012			
		Länge/Tiefe			

Anlage 5

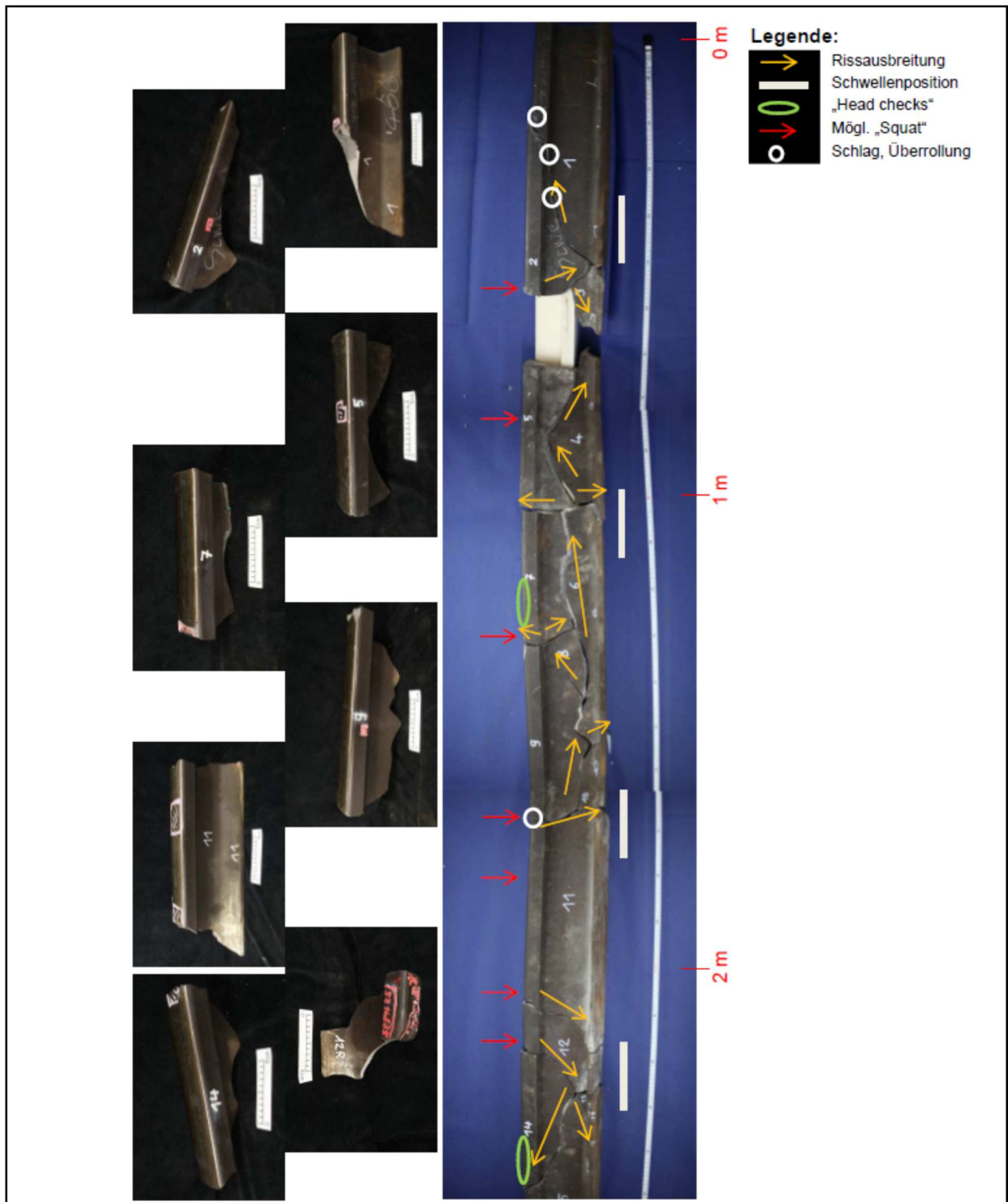
Schweizerisches Fahrdienstvorschriften SR 742.173.001

FDV R 300.9 „Störungen“

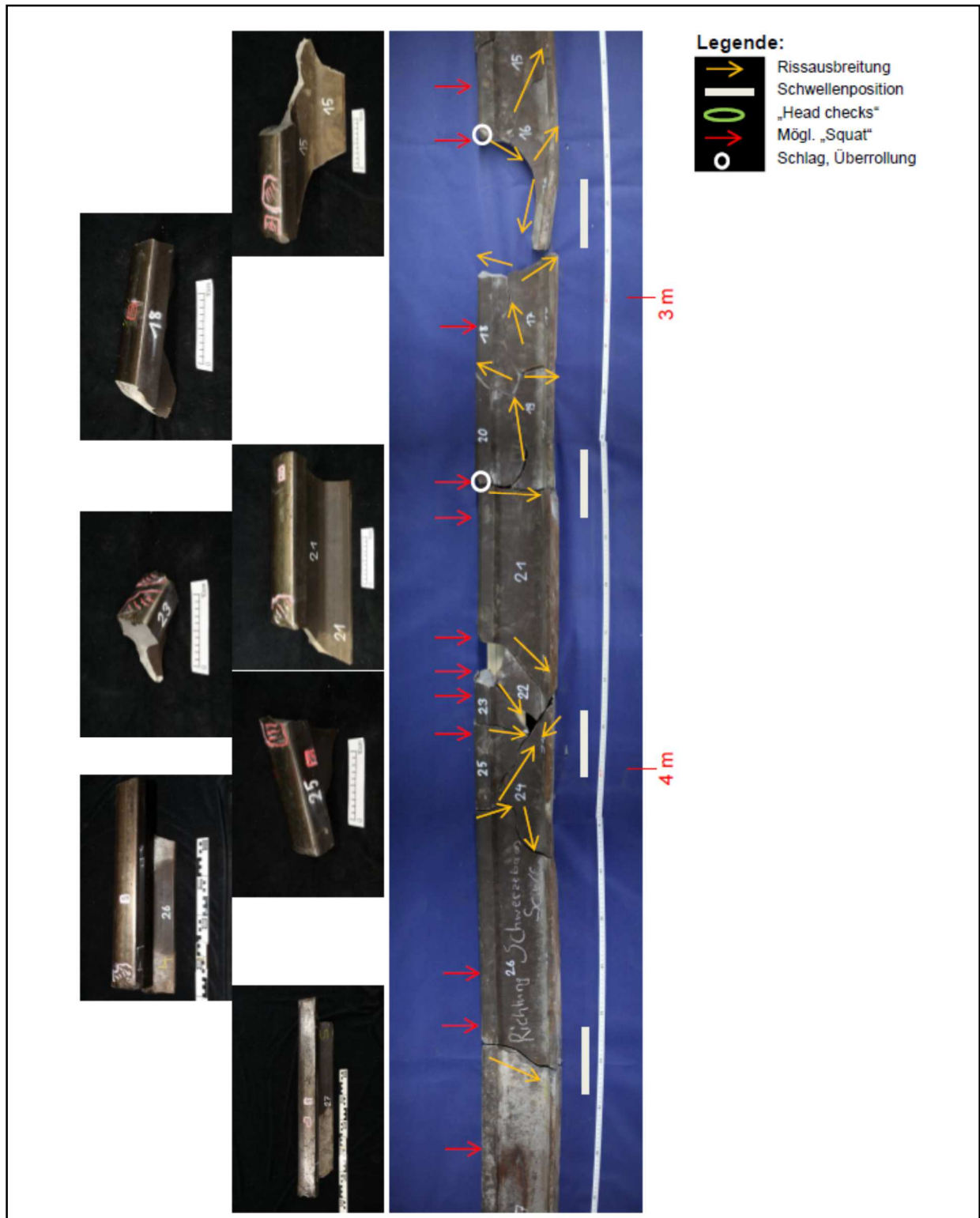
Störungen	R 300.9
8 Unregelmässigkeiten an der Fahrbahn	
8.1 Erste Abklärungen	
Wird dem Fahrdienstleiter eine Unregelmässigkeit an der Fahrbahn (Schienenbruch, Gleisverwerfung, Unterspülung, usw.) gemeldet, hat er folgende Abklärungen zu treffen:	
– Ort der Schadenstelle – Art des Schadens.	
8.1.1 Massnahmen	
Der Fahrdienstleiter hat:	
– den betreffenden Abschnitt zu sichern – den technischen Dienst zu verständigen – nach Möglichkeit den betreffenden Abschnitt zu umfahren. Ist eine Umfahrung nicht möglich, hat er abzuklären, ob die betreffende Stelle noch befahren werden kann. – Kann die betreffende Stelle nicht mehr befahren werden, hat er den Abschnitt zu sperren. – Wird die Stelle als befahrbar beurteilt oder kann die Befahrbarkeit nicht beurteilt werden, hat er die weiteren Fahrten gemäss den nachstehenden Bestimmungen über die betreffende Stelle verkehren zu lassen.	
8.1.2 Weiteres Vorgehen	
Der Fahrdienstleiter schreibt der nächsten Fahrt protokollpflichtig <i>Fahrt auf Sicht</i> und höchstens 10 km/h über die betreffende Stelle vor.	
Bestätigt der Lokführer den Schaden, sperrt der Fahrdienstleiter das Gleis.	
Stellt der Lokführer keinen Schaden fest, schreibt der Fahrdienstleiter den Lokführern der nächsten Fahrten protokollpflichtig eine Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h über die betreffende Stelle vor.	
Solange keine Langsamfahrtsignale aufgestellt sind, ist zusätzlich gemäss den Bestimmungen «Langsamfahrtsignale nicht aufgestellt» vorzugehen.	
Dies gilt so lange, bis der technische Dienst die Stelle beurteilt und den Fahrdienstleiter über das weitere Vorgehen verständigt hat.	

Beilage 1

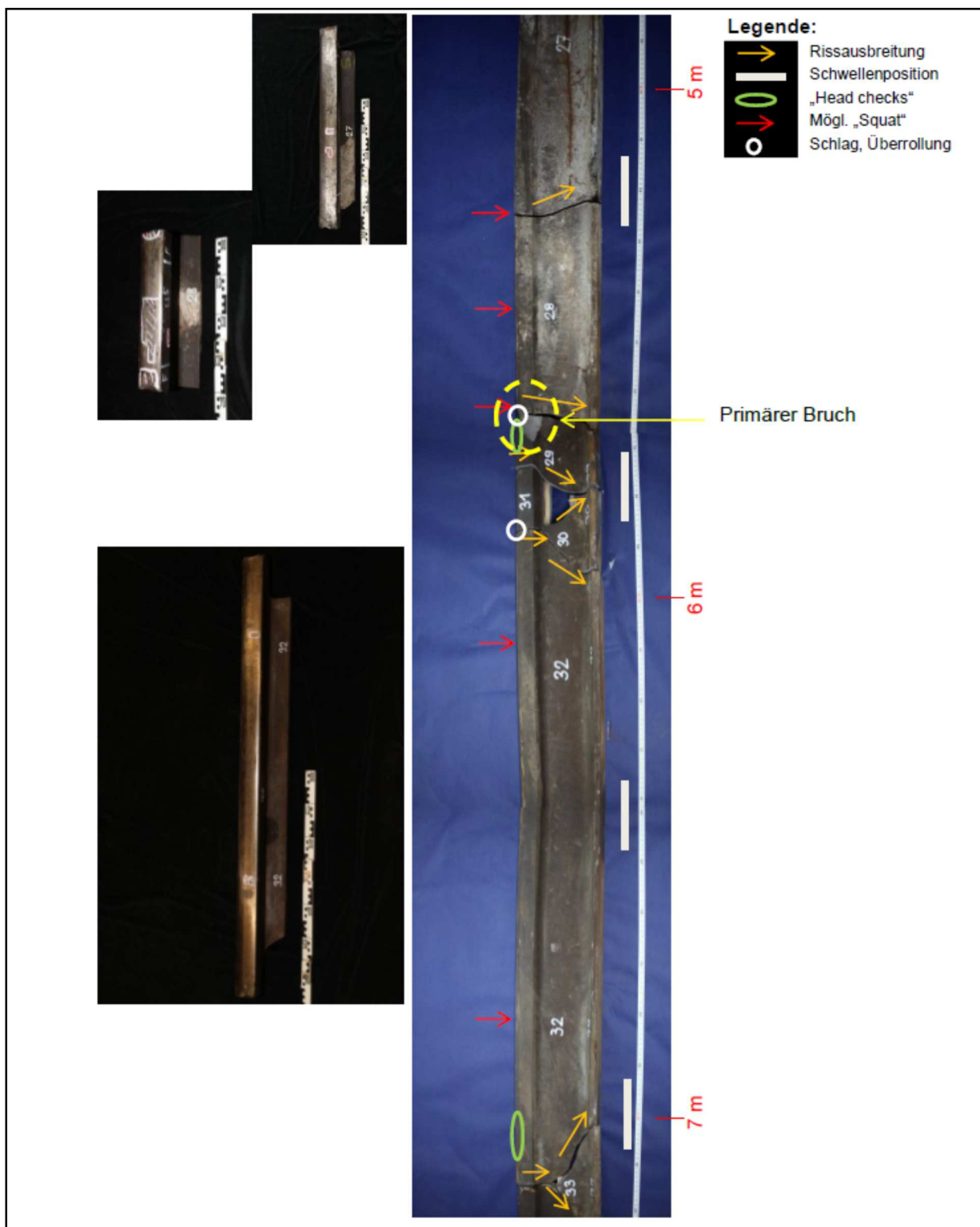
Fotos der Schienenfragmente (Quelle IWT), Ursprung Seite Schwerzenbach.
Position 0 bis 2.5 m.



Position 2.5 – 4.9 m.



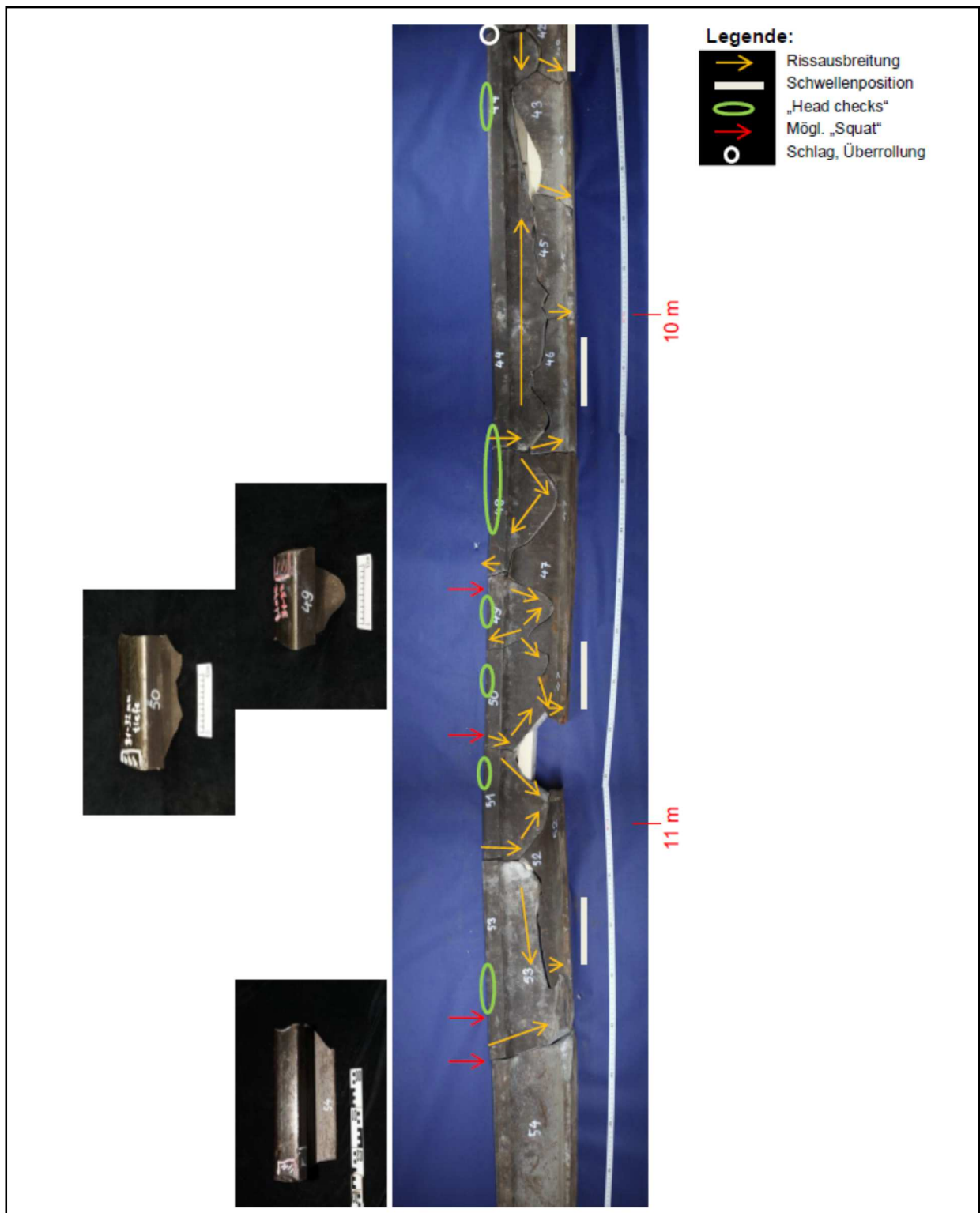
Position 4.9 bis 7.2 m.



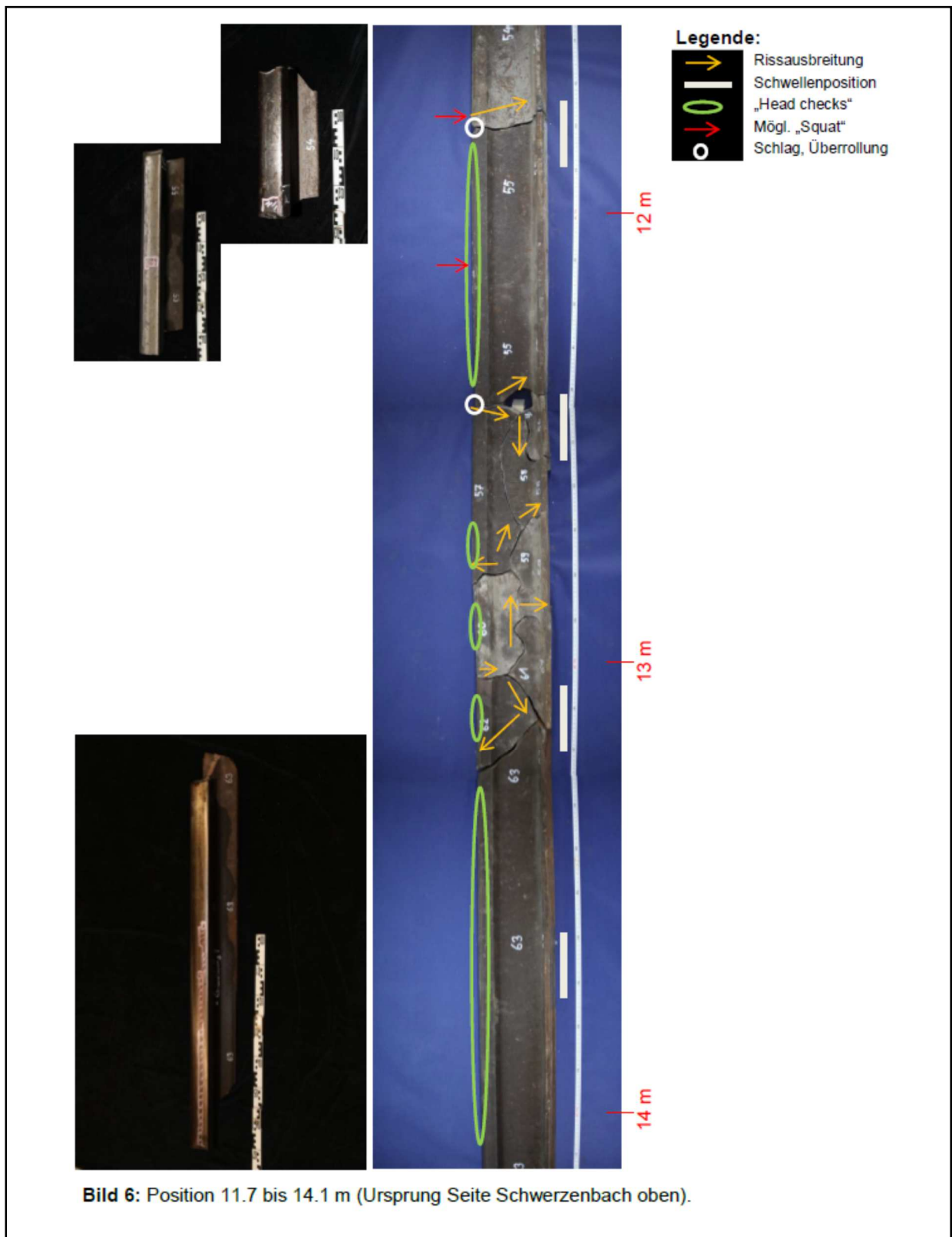
Position 7.2 bis 9.5 m.



Position 9.5 bis 11.7 m.



Position 11.7 bis 14.1 m.



Position 14.1 bis 16.0 m

