



ENTGLEISUNG DES ZUGES 76001

am 17. April 2010

**Linzer Lokalbahn AG
Strecke LILO I
zwischen Bf Wackersbach und
Bf Prambachkirchen-Bad Weinberg**

BMVIT-795.192-II/BAV/UUB/SCH/2010

**BUNDESANSTALT FÜR VERKEHR
Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
Fachbereich Schiene**

Untersuchungsbericht

Die Untersuchung erfolgt in Übereinstimmung mit dem mit 1. Jänner 2006 in Kraft getretenen Bundesgesetz, mit dem die Unfalluntersuchungsstelle des Bundes errichtet wird (Unfalluntersuchungsgesetz BGBl. I Nr. 123/2005) und das Luftfahrtgesetz, das Eisenbahngesetz 1957, das Schifffahrtsgesetz und das Kraftfahrzeuggesetz 1967 geändert werden, sowie auf Grundlage der Richtlinie 2004/49/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 29. April 2004. Zweck der Untersuchung ist ausschließlich die Feststellung der Ursache des Vorfalles zur Verhütung künftiger Vorfälle. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens oder der Haftung. Bei den verwendeten personenbezogenen Bezeichnungen gilt die gewählte Form für beide Geschlechter.

Ohne schriftliche Genehmigung der Bundesanstalt für Verkehr darf dieser Bericht nicht auszugsweise wiedergegeben werden.

Besuchsadresse: A-1210 Wien, Trauzlgasse 1
Postadresse: A-1000 Wien, Postfach 207
Homepage: <http://versa.bmvit.gv.at>

Inhalt

Seite

Verzeichnis der Abbildungen	3
Verzeichnis der Abkürzungen	4
Verzeichnis der Regelwerke	3
Vorbemerkungen	4
1. Zusammenfassung	5
2. Allgemeine Angaben	5
2.1. Ort	5
2.2. Zeitpunkt	6
2.3. Witterung, Sichtverhältnisse	6
2.4. Behördenzuständigkeit	6
2.5. Örtliche Verhältnisse	6
2.6. Zusammensetzung der beteiligten Fahrt	7
2.7. Zulässige Geschwindigkeiten	8
2.7.1. Auszug aus Tafel B1 des IM	8
2.7.2. Auszug aus Buchfahrplan LILO, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM	9
2.7.3. Geschwindigkeitseinschränkung durch La	9
2.7.4. Geschwindigkeitseinschränkung durch schriftliche Befehle	10
2.7.5. Signalisierte Geschwindigkeit	10
3. Beschreibung des Vorfalls	10
4. Verletzte Personen, Sachschäden und Betriebsbehinderungen	11
4.1. Verletzte Personen	11
4.2. Sachschäden an Infrastruktur	11
4.3. Sachschäden an Fahrzeugen	11
4.4. Betriebsbehinderungen	11
4.5. Schäden an Umwelt	11
5. Beteiligte, Auftragnehmer und Zeugen	12
6. Untersuchungsverfahren	12
7. Aussagen / Beweismittel / Auswertungsergebnisse	12
7.1. Auswertung der Registriereinrichtung des Tzf	12
7.2. Aussage Tzf Z 71006:	13
7.3. Untersuchung des entgleisten Wagens	13
7.4. Verwindesteifigkeit gemäß TSI Güterwagen und ORE B55/RP8	14
7.5. Überprüfung der Verwindesteifigkeit	15
7.6. Untersuchung des Fahrweges durch IM	18
7.7. Fahrweg Instandhaltungsplan des IM (Auszug)	19
7.8. Anwendung des ORE B55/RP8	21
7.9. Spurkranzschmieranlage der Tzf des IM	23
8. Zusammenfassung der Erkenntnisse	23
8.1. Fahrgeschwindigkeit	23
8.2. Beteiligte Fahrzeuge	23
8.3. Fahrweg	23
8.4. Regelwerke für die Instandhaltung des Fahrweges des IM	23
9. Sonstige, nicht unfallkausale Unregelmäßigkeiten	24
9.1. Betriebliche Unterlagen	24
9.2. Anschrift des Zusatzrasters des entgleisten Schotterwagens	24
10. Ursache	24
11. Berücksichtigte Stellungnahmen	24
12. Sicherheitsempfehlungen	25
Beilage Gutachten Dipl.-Ing. Dr. tech. A. Kurt Machinek, Zivilingenieur für Maschinenbau	27
Beilage fristgerecht eingelangte Stellungnahmen	50

Verzeichnis der Regelwerke

Richtlinie 2004/49/EG „Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit“	
TSI „Güterwagen“ 2006/861/EG Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem „Fahrzeuge - Güterwagen“ des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems	
Entwurf TSI CON RAIL INFRA „Infrastruktur“ des konventionellen Eisenbahnsystems	
EisbG 2005	Eisenbahngesetz 1957, österreichisches Bundesgesetzblatt aus 2006, Teil I, 125. Bundesgesetz
UUG	Unfalluntersuchungsgesetz, österreichisches Bundesgesetzblatt aus 2005, Teil I, 123. Bundesgesetz
MEG	Maß- und Eichgesetz, österreichisches Bundesgesetz in der Fassung Bundesgesetzblatt aus 2004, Teil I 137. Bundesgesetz
MeldeVO Eisb	Meldeverordnung Eisenbahn 2006, österreichisches Bundesgesetzblatt aus 2005, Teil II, 279. Verordnung
EisbBBV	Eisenbahnbau- und –betriebsverordnung, österreichisches Bundesgesetzblatt aus 2008, Teil II, 398. Verordnung
MB UIC 510-1	Güterwagen – Laufwerke
MB UIC 530-2	Güterwagen – Fahrsicherheit
ORE B55/RP8	Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Skizze Eisenbahnlinien Österreich.....	5
Abbildung 2	Skizze Streckenplan der LILO - Quelle StH.....	6
Abbildung 3	Tabelle Infrastrukturbasisdaten (Auszug)	7
Abbildung 4	Auszug aus Tafel B1 des IM	8
Abbildung 5	Buchfahrplan LILO, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM.....	9
Abbildung 6	Auszug aus La des IM.....	9
Abbildung 7	Auszug aus Sammelbefehl des IM für Z 71006.....	10
Abbildung 8	Entgleister 13. Wagen von Z 71006, Blick von rechts - Quelle StH.....	10
Abbildung 9	Entgleister 13. Wagen von Z 71006, Blick von links - Quelle StH	11
Abbildung 10	Auswertung der Registriereinrichtung des Tfz.....	12
Abbildung 11	Typenplan des entgleisten Wagens – Quelle ÖBB.....	13
Abbildung 12	Vereinfachte Berechnung der Verwindesteifigkeit – Blatt 1	16
Abbildung 13	Vereinfachte Berechnung der Verwindesteifigkeit – Blatt 1	17
Abbildung 14	Gleis bei der Entgleisungsstelle km 33,430 - Quelle StH	18
Abbildung 15	Gleismessschieb - Quelle StH	18
Abbildung 16	ORE B55/RP8 - Figur 7.....	22

Verzeichnis der Abkürzungen

AS	Aufmerksamkeitsschwelle
BAV	Bundesanstalt für Verkehr
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Bf	Bahnhof
Bh, Ba	Bremshundertstel, Bremsausmaß
ES	Eingriffsschwelle
Hbf	Hauptbahnhof
HLL	Hauptluftleitung
Hst	Haltestelle
IM	Infrastruktur Manager (Infrastrukturbetreiber)
La	Übersicht über Langsamfahrstellen und Besonderheiten
LILO	Linzer Lokalbahn AG
NVR	National Vehicle Register (Österreichisches Schienenfahrzeug-Einstellungsregister)
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ORE	Forschungs- und Versuchsamt der UIC
RU	Railway Undertaking (Eisenbahnverkehrsunternehmen)
SES	Soforteingriffsschwelle
StH	Stern & Hafferl Verkehrsgesellschaft m.b.H.
Tfz	Triebfahrzeug
Tfzf	Triebfahrzeugführer
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
UUB	Unfalluntersuchungsstelle des Bundes, Fachbereich Schiene
Z	Zug

Vorbemerkungen

Gemäß UUG, § 5 haben Untersuchungen als ausschließliches Ziel die Feststellung der Ursache des Vorfalles, um Sicherheitsempfehlungen ausarbeiten zu können, die zur Vermeidung gleichartiger Vorfälle in der Zukunft beitragen können. Die Untersuchungen zielen nicht darauf ab, Schuld- oder Haftungsfragen zu klären.

1. Zusammenfassung

Am 17. April 2010, um ca. 17:37 Uhr, bei der Fahrt des Zuges 71006 auf der Strecke LILO I von Bf Niederspaching nach Bf Emling Ausweiche entgleiste der 13. Wagen (2-achsiger Bahndienst-Schotterwagen) im km 33,430. Die Zugmannschaft bestehend aus dem Tzfz und Zugführer bemerkten die Entgleisung erst durch die Zwangsbremmung infolge der Trennung der HLL zwischen dem 13. und 14. Wagen. Der Zug kam im km 32,100 zum Stillstand.

Ursache der Entgleisung ist eine unzulässig große Gleisverwindung.

Es wurden keine Personen getötet oder verletzt.

2. Allgemeine Angaben

2.1. Ort

Linzer Lokalbahn AG

IM Stern & Hafferl Verkehrsgesellschaft m.b.H.

- Strecke LILO I von (Hst Untergaumberg) km 2,020 über Bf Eferding nach Bf Waizenkirchen
- zwischen Bf Wackersbach und Bf Prambachkirchen-Bad Weinberg
- km 33,430

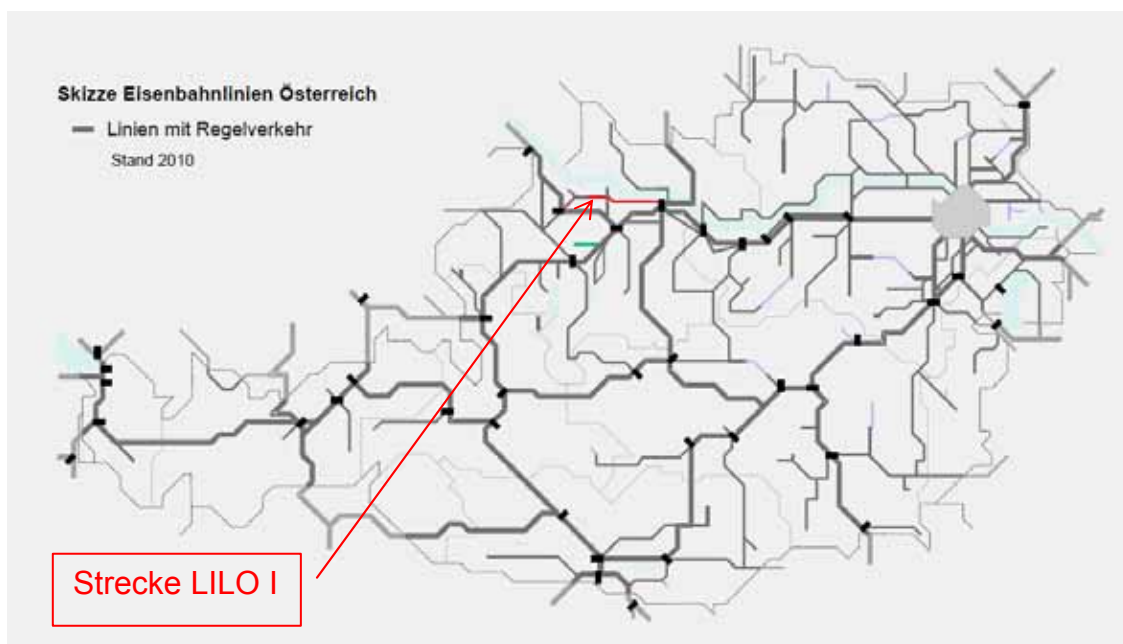


Abbildung 1 Skizze Eisenbahnlinien Österreich

2.2. Zeitpunkt

Samstag, 17. April 2010, um 17:37 Uhr

2.3. Witterung, Sichtverhältnisse

Bedeckt, + 12 °C, keine Einschränkung der Sichtverhältnisse.

2.4. Behördenzuständigkeit

Gemäß Standardsicherheitsbescheinigung, Anlage 1 „Infrastrukturbasisdaten“ sind die Strecken der LILO Nebenbahnen. Gemäß EisbG, § 12, Absatz 2 ist der Landeshauptmann von Oberösterreich als Behörde zuständig.

2.5. Örtliche Verhältnisse



Abbildung 2 Skizze Streckenplan der LILO - Quelle StH

Die Betriebsabwicklung erfolgt gemäß den Bestimmungen und Vorgaben des IM StH (Betriebsvorschrift V3-StH, Signalvorschrift V2 und Zusatzbestimmungen zur V2).

Infrastrukturbasisdaten zur Standardsicherheitsbescheinigung der Linzer Lokalbahn AG (Auszug):

Einstufung der Strecke	Nebenbahn
Traktionsart	750 V=
Spurweite	1435 mm
Betriebslänge	58,710 km
Anzahl der Streckengleise	1
Kleinster Bogenhalbmesser - Streckengleis	150 m
Kleinster Bogenhalbmesser - Nebengleis	80 m
Zulässiger Überhöhungsfehlbetrag	130 mm
Zulässige Seitenbeschleunigung	teilweise 0,85 m/s ²
Größte Neigung	27 ‰
Maximale Rampenneigung	1 : 400
Maximale Achslast	20 t
Art des Verkehrs	Personen- und Güterverkehr
Maximale Streckengeschwindigkeit	70 km/h
Minimale Streckengeschwindigkeit	20 km/h
Maximale Zuglänge	100 m
Maximales Zuggewicht (Masse gemäß MEG)	800 t
Mindestbremsleistung in Bremsart „P“ (Anmerkung UUB: Laut Angabe des IM gilt dies bei minimaler Streckengeschwindigkeit von 20 km/h)	31 %
Notbremsüberbrückung	nein
Besetzung der Züge	0 : 0
Signalsystem	ÖBB
Zugfunk/Verschubfunk	System StH

Abbildung 3 Tabelle Infrastrukturbasisdaten (Auszug)

2.6. Zusammensetzung der beteiligten Fahrt

B 71006 (Bedarfszug des RU StH)

Zuglauf: von Bf Niederspaching über Bf Eferding nach Bf Emling Ausweiche

Zusammensetzung:

- Tfz 2016 911-7
- 21 Stück 2 achsige unbeladene Bahndienst-Schotterwagen
- 383 t Gesamtgewicht (Masse gemäß MEG)
- 223,2 m Gesamtzuglänge

- Buchfahrplan LILO, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM
Fahrplanhöchstgeschwindigkeit $v_{max} = 40$ km/h
Brems-hundertstel erforderlich 51 %
- Sammelbefehl des IM für Z 71006
Fahrplanhöchstgeschwindigkeit $v_{max} = 50$ km/h
Brems-hundertstel erforderlich 67 %
- Brems-hundertstel vorhanden 114 % (laut Internationale Wagenliste)
- durchgehend und ausreichend gebremst

2.7. Zulässige Geschwindigkeiten

2.7.1. Auszug aus Tafel B1 des IM

Verzeichnis der Eisenbahnübergänge und Geschwindigkeiten

5				4						
29,200	Wirtschaftsweg			5	28.887	29,200		5	29,513	29,200
29,400	Pf. Kirnberg Pf.									
29,445	Wackersbacher Gemd. Str.	29,445 E		5	29,145	29,445	29,745 G	5	29,745	29,445
29,972	Wirtschaftsweg	29,672 G		5	29,672	29,972	29,972 E	5	30,272	29,972
30,317	Wirtschaftsweg			5	30,017	30,317		5	30,617	30,317
30,470	Wirtschaftsweg	30,470 E		5	30,132	30,470	30,808 G	5	30,808	30,470
30,869	Wirtschaftsweg	30,569 G		5	30,569	30,869	30,869 E	5	31,169	30,869
30,948	Pf. Gstocket Pf.									
31,093	Wirtschaftsweg	31,093 E		5	30,780	31,093	31,406 G	5	31,406	31,093
31,617	Wirtschaftsweg	31,304 G		5	31,304	31,617	31,617 E	5	31,930	31,617
31,958	Wirtschaftsweg			5	31,658	31,958		5	31,258	31,958
32,349	Wirtschaftsweg			5	32,024	32,349		5	32,674	32,349
32,560	Pf. Gschnarret Pf.									
32,604	Wirtschaftsweg			5	32,304	32,604		5	32,904	32,604
32,711	Wirtschaftsweg			5	32,398	32,711		5	33,024	32,711
32,909	Wirtschaftsweg	32,909 E		5	32,609	32,909	33,209 G	5	33,209	32,909
33,579	Pf. Prattsdorf Pf.									
33,598	Prattsdorfer Gemeindestraße	33,285 G		5	33,285	33,598	33,598 E	5	33,911	33,598

Entgleisungsstelle

1 Betriebs- stelle [km]	2 EK/EU [km]	3 Betriebsstellen oder Bahnstellen	4 Pfeif- plock [km]	5 Vmax [km/h]	6 Geschwindigkeits- einschränkung			9 Pfeif- plock [km]	10 Vmax [km/h]	12 Geschwindigkeits- einschränkung		
					auf [km/h]	von [km]	bis [km]			auf [km/h]	von [km]	bis [km]
Fahrtrichtung 1												
	34,143	Ortschaftsweg		4	5	33,805	34,143		5	5	34,481	34,143
	34,314	Wirtschaftsweg	34,314 E		5	34,001	34,314	34,627 G		5	34,627	34,314
	34,794	Wirtschaftsweg	34,481		5	34,481	34,794	35,107		5	35,107	34,794
	35,315	Dachsberger Landesstraße L1221			6	34,699	35,315			6	35,831	35,315
	35,657	Pollhamer Landesstraße L1223			5	35,338	35,657	35,657 E		5	35,976	35,657
	35,983	Ortschaftsweg	35,683 G		5	35,683	35,983		5	36,283	35,983	
		35,995										
36,067		Pf. PRAMBACHKIRCHEN- BAD WEINBERG Pf.										
	36,170	Fußweg		4	36,046	36,170			4	36,294	36,170	
		36,207		5								
		36,354 WÜS							4			

Abbildung 4 Auszug aus Tafel B1 des IM

Die örtlich zulässige Geschwindigkeit im betroffenen Streckenabschnitt beträgt gemäß Tafel B1 50 km/h.

2.7.2. Auszug aus Buchfahrplan LILO, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM

B 71006 ✖
PEUERBACH - EFERDING

Vmax = 40 km/h Bh=51 - Fbh=14

1	2	3	4	5	6	7
km	Betriebsstelle, Haltestelle	Ankunft	betriebl. Anordn.	Abfahrt	Zuglaufmeldung	trifft Zug
3,7	PE PEUERBACH			11.00		
0,0 / 9,3	NI NIEDERSPACHING			11.04		
10,9	Wi Willersdorf a.d. A.			11.07		
12,7 / 42,3	WA WAIZENKIRCHEN	11.10	+	11.18		
41,7	Hs Hochscharten			11.19		
40,2	Sc Schurrer-Prambach			11.21		
38,2	Ma Manzing-Prambach			11.24		
36,1	PR PRAMBACHK.-B.W.			11.31		
33,6	Pd Prattsdorf-Dachsb.			11.34	Entgleisungsstelle	
32,6	Gs Gschnarret			11.36		
30,9	Gst Gstocket			11.38		
29,4	Kb Kimberg			11.40		
28,4	WB WACKERSBACH			11.55		
27,0	Sp Sperneck			11.57		
24,3	EFD EFERDING	C22 12.02	■			V8017

Abbildung 5 Buchfahrplan LILO, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM

Die zulässige Geschwindigkeit laut Buchfahrplan B 71006 des IM beträgt 40 km/h.

2.7.3. Geschwindigkeitseinschränkung durch La

Stern & Hafferl **stern hafferl**
VERKEHR >>>
Verkehrsgesellschaft mbH

La 2010 **05.04. – .18.04**
Nr. 7

Gültigkeitsbereich Linzer Lokalbahn

Lfd-Nr.	von km	bis km	Vmax	In Kraft	außer Kraft	Länge	Besonderheiten
LILO I							
1	6.400	6.723	40 km/h	22.03.10		323 m	
2	10.895	11.171	20 km/h	22.02.09		276 m	Kirchberg-Thürmau Gleise 1 und 2
3	11.740	11.940	30 km/h	28.08.09		200 m	
4	13.618	14.265	30 km/h	08.03.10		447 m	
5	28.630	28.680	30 km/h	02.10.06		50 m	
LILO II							

Abbildung 6 Auszug aus La des IM

Gemäß La Nummer 7/2010 des IM gibt es im betroffenen Streckenabschnitt keine Einschränkung der Geschwindigkeit.

2.7.4. Geschwindigkeitseinschränkung durch schriftliche Befehle

Stern & Hafferl
Die Mureckbahn

SAMMELBEFEHL 928120-16 9117
Bf, ZIM, Tfz-Nr

ausgestellt für 71006 am 17.04.2010
Zug, Nebenfahrt

Rückseite beachten !

1. 71006 verkehrt von Niederspaching bis Emling Ausweiche
mit $V_{max} = 50$ sowie von / bis /
mit $V_{max} =$ / $Ba_{max} = 67$ % $Fba = 14$ %.
Grund: /
Abfahrt in / um / , (späteste) Ankunft in / um /

Abbildung 7 Auszug aus Sammelbefehl des IM für Z 71006

Gemäß Sammelbefehl für Z 71006 am 17.04.2010 verkehrte dieser von Niederspaching bis Emling Ausweiche mit $v_{max} = 50$ km/h.

2.7.5. Signalisierte Geschwindigkeit

Nicht relevant, da auf freier Strecke.

3. Beschreibung des Vorfalles

Bei der Fahrt des Zuges 71006 von Bf Niederspaching nach Bf Emling Ausweiche auf der Strecke LILO I entgleiste um ca. 17:37 Uhr der 13. Wagen (40 81 942 1 140-8) im km 33,430. Die Zugmannschaft bestehend aus dem Tzfz und Zugführer bemerkten die Entgleisung erst durch die Zwangsbremmung infolge der Trennung der HLL zwischen dem 13. und 14. Wagen. Das Tfz von Z 71006 kam im km 32,100 zum Stillstand.



Abbildung 8 Entgleister 13. Wagen von Z 71006, Blick von rechts - Quelle StH



Abbildung 9 Entgleister 13. Wagen von Z 71006, Blick von links - Quelle StH

4. Verletzte Personen, Sachschäden und Betriebsbehinderungen

4.1. Verletzte Personen

Es wurden keine Personen verletzt oder getötet.

4.2. Sachschäden an Infrastruktur

ca. 1,3 km Oberbau beschädigt

4.3. Sachschäden an Fahrzeugen

Ein Bahndienst-Schotterwagen stark beschädigt

4.4. Betriebsbehinderungen

Sperre des Steckengleises vom 17. April 2008, 17:37 Uhr bis 18. April 2010, 13:17 Uhr.

Für die Dauer der Gleissperre war ein Schienenersatzverkehr eingerichtet.

4.5. Schäden an Umwelt

Keine Schäden an der Umwelt.

5. Beteiligte, Auftragnehmer und Zeugen

- RU / IM Stern & Hafferl Verkehrsgesellschaft m.b.H.
- Fahrzeughalter ÖBB-Infrastruktur AG

6. Untersuchungsverfahren

Der Untersuchungsbericht stützt sich auf folgende Aktionen der UUB:

- Untersuchung vor Ort nach dem Ereignis am 18. April 2010

Bewertung der eingelangten Unterlagen:

- Untersuchungsbericht des IM, eingelangt am 21. Mai 2010
- Berichte zur Begutachtung des entgleisten Bahndienst-Schotterwagens, eingelangt am 27. Juli 2010

Allfällige Rückfragen wurden bis 24. September 2010 beantwortet

7. Aussagen / Beweismittel / Auswertungsergebnisse

7.1. Auswertung der Registriereinrichtung des Tfz



Die Aufzeichnung der Registriereinrichtung des Tfz von Z 71006 (2016 911) wurde nach dem Ereignis gesichert, durch das RU ausgewertet und die Auswertung der UUB-Schiene zur Verfügung gestellt.

Abbildung 10 Auswertung der Registriereinrichtung des Tfz

Die mittels Sammelbefehl vorgeschriebene zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h wurde von Z 71006 eingehalten. Die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Entgleisung hat 34 km/h betragen.

7.2. Aussage Tzfz Z 71006:
(gekürzt und sinngemäß)

Der Tzfz gibt an, bei der Fahrt zwischen Prattsdorf Dachsberg und Gstocket einen Druckabfall in der HLL bemerkt zu haben. Dieser wurde durch eine Schnellbremsung unterstützt. Nach dem Stillstand von Z 71006 im km 32,100 der Strecke LILO I wurde bei der Nachschau der entgleiste 13. Wagen festgestellt.

7.3. Untersuchung des entgleisten Wagens

Bei dem entgleisten Wagen 40 81 942 1 240-8 handelt es sich um einen unbeladenen Bahndienst-Schotterwagen des Fahrzeughalters ÖBB Infrastruktur AG.

Der entgleiste Wagen wies folgende Merkmale auf:

- Regime „s“ (100 km/h)
- Eigenmasse 12 490 kg
- Streckenklasse „C“ (20 t Achslast) Zuladung 26,5 t gemäß Lastgrenzraster
- Streckenklasse „D“ ÖBB (21,0 t Achslast) Zuladung 28,5 t gemäß Zusatzraster
- Länge über Puffer 9,64 m
- Achsstand 6,00 m
- Blattfederlaufwerk mit Doppelschakengehänge
- Baujahr 1971
- Das Fahrzeug hatte zum Zeitpunkt der Entgleisung eine gültige Registrierung im NVR
- Letzte Revision 07.07.2006 bei einem 6-jährigen Instandhaltungsintervall
- Per 20.07.2010 wurde der Wagen aus dem NVR gelöscht und ist für Verschrottung und Entsorgung / Recycling von Materialien vorgesehen.

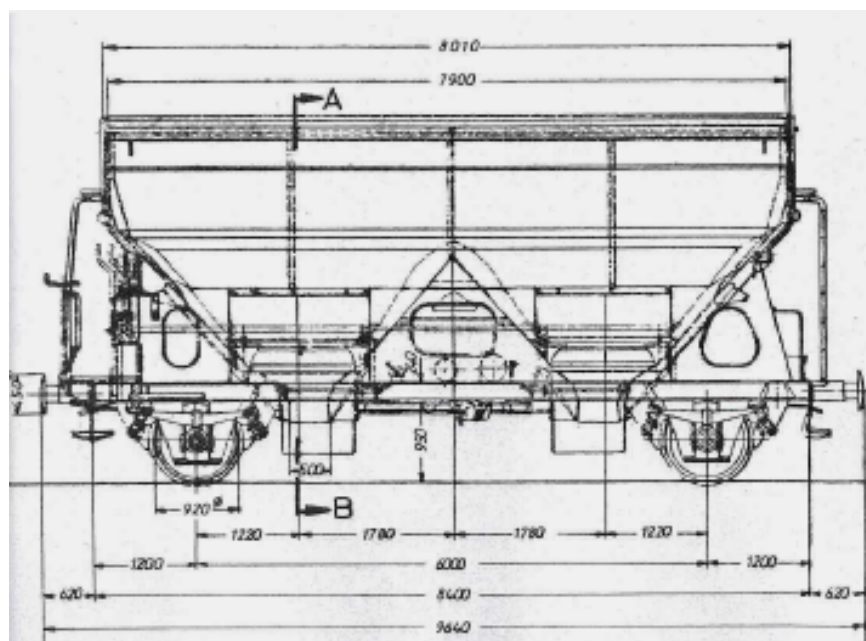


Abbildung 11 Typenplan des entgleisten Wagens – Quelle ÖBB

Die Untersuchung des Wagens stützt sich auf:

- Untersuchung vor Ort am 18. April 2010.
- Durchgeführte Sicherheitschecks (1 bis 3) am entgleisten Wagen und am vorgereichten Wagen 40 81 942 1 245-7 am 5. und am 6. Mai 2010 durch ÖBB Technische Services GmbH.
Die durchgeführten Sicherheitschecks am Untergestell und am Laufwerk der entgleisten Wagen zeigten durch die Entgleisung bedingte Abweichungen.
- Überprüfung der Verwindesteifigkeit

7.4. Verwindesteifigkeit gemäß TSI Güterwagen und ORE B55/RP8

Zitat aus ORE B155/RP8: Voraussetzung für eine Verwindungsentgleisung ist das gleichzeitige Auftreten einer horizontalen Führungskraft mit einer Verminderung der vertikalen Radkraft am führenden Rad. Unter der Wirkung von Führungskraft und verminderter Radkraft kann ein an der Schiene anlaufendes Rad aufklettern. Zum Ablauf der Verwindungsentgleisung müssen beide Kräfte über eine ausreichende Wirklänge anstehen, um ein Aufklettern des Spurkranzes einzuleiten bzw. fortlaufend zu erzwingen.

Im System Fahrweg/Fahrzeug verursachen die Gleisparameter

- *Gleisrichtung,*
- *Gleisverwindung,*
- *Gleisüberhöhung*

unterschiedliche Reaktionen beim Fahrzeug und beeinflussen den gesamten Systemzustand.

Die Richtungsänderung des Gleises, als geplantes Trassierungselement des Oberbaus in Gleisbögen (Kreis- und Übergangsbogen) und Gleisverziehnungen oder als Folge von horizontalen Richtungsfehlern, bestimmt zusammen mit der Charakteristik jeder Laufwerksbauart Zahlenwert, Krafrichtung und Verlauf der horizontalen Führungskräfte zwischen Rad und Schiene.

Eine Gleisverwindung ist als Konstruktionsmerkmal in Übergangsbögen aus überhöhten Gleisbögen vorhanden. Die durch Höhenfehler hervorgerufenen Abweichungen von der geometrischen Solllage des Fahrweges verursachen ebenfalls Gleisverwindungen. Diese Unterschiede in der gegenseitigen Höhenlage der Schienen bewirken die Torsion eines Fahrzeugs und leiten Änderungen in der Verteilung der Radkräfte ein.

Weitere Radkraftänderungen werden durch die Gleisüberhöhung verursacht, deren Auswirkungen durch die resultierende Seitenbeschleunigung bestimmt sind.

Spezifische Radkraftabweichungen eines Fahrzeugs aus

- *Torsionsreibung,*
- *Eigenverwindung des Untergestells und*
- *Exzentrizität des Schwerpunktes*

können den wirksamen Betrag der Radkraftverminderung erhöhen. Zusätzliche Radkraftabweichungen entstehen gegebenenfalls aus unsymmetrischer Beladung.

Wird unter dem Einfluss einer Gleisverwindung die vertikale Radkraft eines führenden Rades vermindert, so besteht die Wahrscheinlichkeit einer Verwindungsentgleisung, wenn gleichzeitig eine horizontale Führungskraft aufgenommen werden muss. Dieser Fall kann bei Gleislagefehlern in der Geraden oder in Gleisbögen, insbesondere aber im Übergangsbogen bei Ausfahrt aus überhöhten Gleisbögen eintreten.

Die Wahrscheinlichkeit einer Verwindungsentgleisung wird erhöht, wenn

- *in engen Gleisbögen größere krümmungsbedingte Führungskräfte anstehen,*
- *kleine Radkräfte bei leeren oder teilbeladenen Fahrzeugen mit geringem Eigengewicht wirken,*
- *bei torsionsharten Fahrzeugen die verwindungsbedingte Radkraftänderung begünstigt wird,*
- *bei niedriger Fahrgeschwindigkeit die Kräfte quasistatischen Bedingungen unterliegen,*
- *durch trockene Schienen ungünstige Reibungsverhältnisse überwiegen.*

Gemäß TSI Güterwagen, Punkt 4.2.3.4.2.2. können Güterwagen Gleisverwindungen befahren, wenn der Quotient (Y/Q) bei stationären Prüfungen den Grenzwert Y/Q in Abschnitt 4.2.3.4.2.1 einhält für einen Gleisbogen mit Radius $r = 150$ m und für eine maßgebende Gleisverwindung von (Auszug):

$$g_{lim} = 20/2a^* + 2 \text{ für } 2a^* < 20 \text{ m} \quad \text{Ergebnis : } g_{lim} = 5,33 \text{ ‰}$$

Gemäß ORE B55/RP8, Figur 6 beträgt die einzuhaltende Fahrzeugprüfverwindung:

$$g^* = 15/2a^* + 2 \text{ für } 4,5 \text{ m} \leq 2a^* \leq 20 \text{ m} \quad \text{Ergebnis: } g^* = 4,5 \text{ ‰}$$

Die Längsbasis $2a^*$ bezieht sich auf den Radsatzabstand bei zweiachsigen Wagen bzw. auf den Drehzapfenabstand bei Drehgestellgüterwagen.

7.5. Überprüfung der Verwindesteifigkeit

Der Wagen 40 81 942 1 240-8 war auf Grund der Entgleisungsfolgen für die Überprüfung der Verwindesteifigkeit nicht geeignet, deshalb wurden die Versuche an einem baugleichen Schotterwagen 40 81 942 1 500-5, Baujahr 1975 durchgeführt und darüber durch einen Zivilingenieur für Maschinenbau eine Beurteilung vorgenommen und ein Gutachten erstellt.

Gemäß Gutachten wurde $c_t^* = 2.6391 \times 10^{10}$ kNmm²/rad errechnet.

Das gesamte Gutachten ist als Beilage angefügt.

Da das Gutachten keine Aussage bezüglich der Einhaltung der zulässigen Verwindesteifigkeit zu c_t^* enthält, wurde dies von der UUB nachgerechnet.

Vereinfachte Berechnung des zulässigen c_t^*		
gemäß ORE B 55/RP 8		
Schotterwagen mit 2 Radsätzen 40 81 942 1 500-5		
Allgemeine Angaben:		
Achsstand :	$2 a^* \text{ [mm]} =$	6000
Aufstandsbreite (Normalspur):	$2 b_A \text{ [mm]} =$	1500
Achslagermittenabstand (Federbreite):	$2 b_z^* \text{ [mm]} =$	2000
Fahrzeugprüfverwindung aus ORE B 55/ RP 8, Figur 6	$g \text{ [‰]} = (15/2a^*) + 2 =$	4,50
Mittlere Federhärte: aus ÖBB Zeichnung	$c_z^* \text{ [kN/mm]} =$	1,56
	$\tan (\gamma + \rho) = 2a^* \times \frac{6,5}{150} =$	0,26
Lastspezifische Angaben:		leer
Masse m [t]: gemessen, aus Gutachten Punkt 2.1		11,875
Radaufstandskraft	$Q_0 \text{ [kN]} = m \times 9,81 / 4 =$	29,1
Y/Q ≤ 1,2 für r ≤ 250 m, sonst Y/Q ≤ 0,8 TSI Güterwagen, Punkt 4.2.3.4.2.1		
<hr/>		
c_t^* gemessen:	$c_t^* \text{ [kN mm}^2 \text{ / rad]} =$	1,14E+10
aus Gutachten Punkt 3, Seite 13		
<hr/>		
Vorbereitende Berechnungen:		
	$\Delta Q_{tz0} =$	$Q_0 \times \Delta q_0$
Für diese Güterwagenbauart mit Trapezfeder wählt man die Regressionsgleichung, da c_t^* bekannt ist.		
	$\Delta q_0 = (15,1 \times c_t^* \times 10^{-10} + 143) / 1000 =$	0,160
und weiter	$\Delta Q_{tz0} \text{ [kN]} =$	4,67

Abbildung 12 Vereinfachte Berechnung der Verwindesteifigkeit – Blatt 1

Da man die Gesetze für die Führungskraft $Y_{A1} = f(r, a_q, Q)$ bei diesem Laufwerk nicht kennt, wird der relative Wert der Radlastverminderung nach folgender Beziehung berechnet:

$$\lim \Delta q = \frac{1,2 - \tan(\gamma + \rho)}{1,2 + \tan(\gamma + \rho)} = 0,644$$

Der absolute Grenzwert der Radlastverminderung hat folgenden Wert:

$$\lim \Delta Q \text{ [kN]} = \lim \Delta q \times Q_0 = 18,75$$

Berechnung der zulässigen Torsionshärte c_t^* :

Damit ein gegebener Güterwagen seine Fähigkeit, Gleise mit Verwindungen unter zufriedenstellenden Bedingungen zu befahren, beibehalten werden kann, müssen die Radkraftabweichungen geringer sein als der zulässige Grenzwert.

$$\Delta Q_t < \lim \Delta Q - \Delta Q_{fz0} - \Delta Q_{FY}$$

Für Güterwagen mit Radsätzen ($Y_B = Y_i$) ist infolge der Querkraft zwischen Radsatzlager und Radsatz die Radlaständerung $\Delta Q_{FY} = 0$.

$$\Delta Q_t < \lim \Delta Q - \Delta Q_{fz0} = 14,08$$

Aus der Beziehung $\Delta Q_t = ct_A \times g^*$

$$\text{erhält man } \text{zul } c_{tA} \text{ [kN/\%o]} = \Delta Q_t / g^* = 3,13$$

Berechnung der zulässigen Gesamttorsionshärte des Wagens:

$$\text{zul } c_t^* \text{ [kN mm}^2 \text{ / rad]} =$$

$$\frac{1}{10^3 \times \text{zul } c_{tA} \times (2b_A)^2} - \frac{1}{2a^* \times (b_z^*)^2 \times c_z^*}$$

$$\text{zul } c_t^* \text{ [kN mm}^2 \text{ / rad]} = 2,84E+10$$

Die gemessene Steifigkeit des zu prüfenden Güterwagens beträgt

$$c_t^* = 1,14E+10$$

Diese liegt eindeutig unter dem berechneten zulässigen Wert $\text{zul } c_t^* = 2,84E+10$

Dieser Güterwagen entspricht somit den im Bericht ORE B55/RP8 festgelegten Bestimmungen.

Abbildung 13 Vereinfachte Berechnung der Verwindesteifigkeit – Blatt 2

7.6. Untersuchung des Fahrweges durch IM

Gemäß Bogenverzeichnis des IM hat der Bogen Nr. 122 folgende Sollwerte:

- Radius = 185 m
- Überhöhung = 100 mm
- Rampenneigung = 1:560



Abbildung 14 Gleis bei der Entgleisungsstelle km 33,430 - Quelle StH

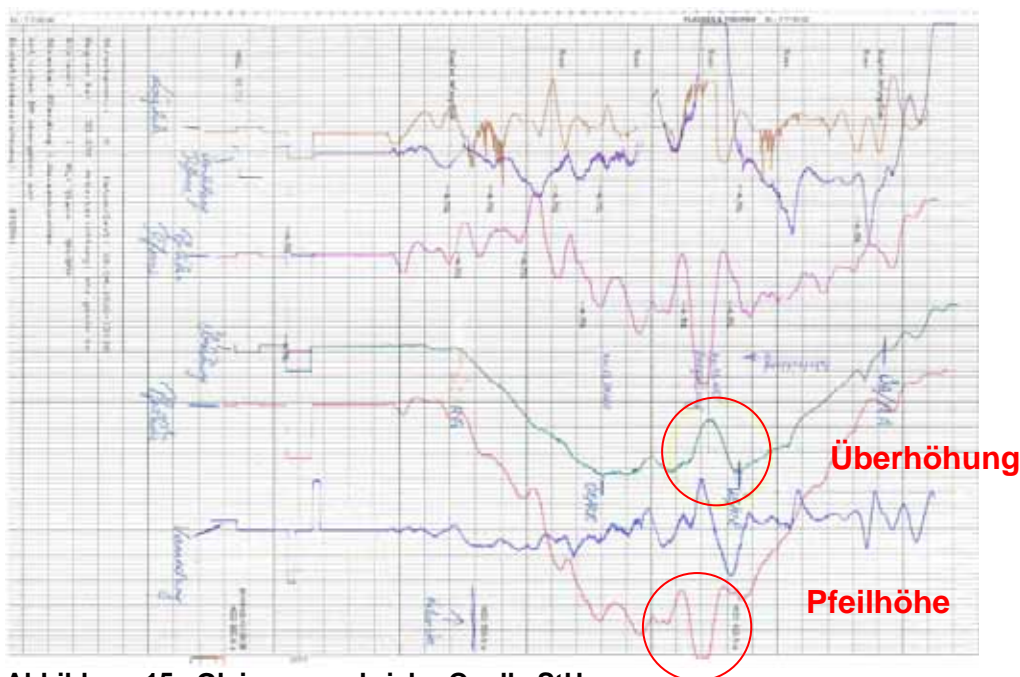


Abbildung 15 Gleismessschrieb - Quelle StH

Laut IM wurde anhand des Gleismessschriebs, welcher nach der Entgleisung durch die Gleisstopfmaschine erstellt wurde, ein Überhöhungsfehler von 40 mm erkannt. Dieser Überhöhungsfehler wurde im Bogen mit einer Rampe von ca. 1:190 abgebaut. Grund für den Überhöhungsfehler ist ein Unterbauschaden.

Seitens des IM / RU wird angemerkt, dass im Zeitraum 2 Tage vor der Entgleisung – bis zur Entgleisung 67 Wagen der gleichen Bauart in diesem Streckenabschnitt problemlos transportiert wurden.

Die Schmierung der Fahrkante des äußeren Schienenstranges war zum Zeitpunkt der Entgleisung tadellos.

Die Änderung der Pfeilhöhe im Bereich der Entgleisungsstelle lässt außerdem einen Richtungsfehler erkennen (Änderung des Bogenhalbmesser von 185 m auf ca. 130 m).

7.7. Fahrweg Instandhaltungsplan des IM (Auszug)

Der Fahrweg Instandhaltungsplan des IM umfasst:

Punkt 2.4.1 Grenzwerte hinsichtlich Gleislagequalität

Für folgende Parameter sind die SES zu erfassen und im Betrieb einzuhalten:

- *Querhöhe*
- *Spurweite*

Für die Beurteilung der Gleislagequalität werden grundsätzlich die Werte des belasteten Gleises, die durch die Messergebnisse dokumentiert sind, herangezogen. In Ausnahmefällen (z.B. fehlender Messwagenbetrieb, Sofortmaßnahmen) können für Überhöhung, Spurweite die Werte des unbelasteten Gleises herangezogen werden, wobei ein Unterschied zwischen den Spurweiten des belasteten und unbelasteten Gleises berücksichtigt werden muss. Die Spurweite des unbelasteten Gleises kann Abweichungen von mehreren mm gegenüber dem belasteten Gleis aufweisen – vor allem bei schlechtem Gleiszustand.

Punkt 2.4.2 Zulässige Abweichungen von der gegenseitigen Höhenlage der Schienen

In der Geraden oder im Kreisbogen, als Differenz zwischen gemessener Überhöhung und Soll-Überhöhung (lt. Bogenverzeichnis):

<i>Strecken- und Gleisrang</i>	<i>ES [mm]</i>
<i>In den Streckenrängen 2, 3 und 4 in Gleisen a</i>	<i>±20</i>

Punkt 2.4.3 Spurweite

Für Instandhaltungszwecke ist die Spurweite der kleinste Abstand der Schieneninnenflächen im Bereich von 0 – 14 mm unter SOK.

Spurweite 1.435 mm:

Die minimale Fehlerlänge beträgt 3 m.

Der Einzelfehler ist die Abweichung von der nominellen Spurweite 1,435 mm zum Spitzenwert.

Er darf folgende Werte nicht überschreiten:

V_{max} [km/h]	AS [mm]	ES [mm]	SES [mm]
$V \leq 80$	-5/+25	-7/+30	-9/+35

Überschreitungen der Messwerte in Weichen (Herz-/Radlenkerbereich) und Eisenbahnkreuzungen sind wegen der Fehlermöglichkeit bei der Messung einer Plausibilitätsprüfung zu unterziehen.

Die Grenzwerte für die minimale Spurweite sind um die erforderliche Spurerweiterung zu erhöhen.

Spurerweiterung in engen Bögen:

Radius [m]	ES [mm]
$R \geq 175$	0
$150 \leq R < 175$	+ 5
$125 \leq R < 150$	+10
$100 \leq R < 125$	+15

7.8. Anwendung des ORE B55/RP8

Gemäß ORE B55/RP8 scheint als mutmaßliche Ursache solcher Entgleisungen ein gleichzeitiges Auftreten von Radkraftänderungen aus großen Gleisüberhöhungen und -verwindungen in Gleisbögen mit engen Gleisbogenhalbmessern zu sein, wenn sie mit geringer Geschwindigkeit befahren werden.

Die Wahrscheinlichkeit einer Verwindungsentgleisung wird erhöht, wenn

- in engen Gleisbögen größere krümmungsbedingte Führungskräfte anstehen,
- kleine Radkräfte bei leeren oder teil beladenen Fahrzeugen mit geringem Eigengewicht wirken,
- bei torsionsharten Fahrzeugen die verwindungsbedingte Radkraftänderung begünstigt wird,
- bei niedriger Fahrgeschwindigkeit die Kräfte quasistatischen Bedingungen unterliegen,
- durch trockene Schienen ungünstige Reibungsverhältnisse überwiegen.

Bei gleichbleibender Fahrzeugprüfverwindung gemäß ORE B55/RP8, Figur 6 ($g^* = 15/2a^* + 2$; $4,5 \text{ m} \leq 2a^* \leq 20 \text{ m}$) gilt für die einzelnen Bereiche:

Bereich 1: keine Einschränkungen, $\lim g_1^\circ = (20/2a^*)+3 \leq 7 \text{ ‰}$
da die zulässige Überhöhung $zul u_1 \leq (r - 100) / 2$ einhält

Bereich 2: eingeschränkte Gleisgrenzverwindung und Begrenzung der zulässigen Überhöhung
 $\lim g_2^\circ = (20/2a^*)+1,5$; $3,0 \text{ ‰} \leq \lim g_2^\circ \leq 6,0 \text{ ‰}$
weil die Überhöhung $zul u_2 > u > zul u_1$; $zul u_2 = (r - 50) / 2$ beträgt

Bereich 3: eingeschränkte Gleisgrenzverwindung und Begrenzung der zulässigen Überhöhung mit zusätzlichen Maßnahmen
 $\lim g_2^\circ = (20/2a^*)+1,5$; $3,0 \text{ ‰} \leq \lim g_2^\circ \leq 6,0 \text{ ‰}$
weil die Überhöhung $u \geq zul u_2$ beträgt

Dabei gilt u [mm] und r [m].

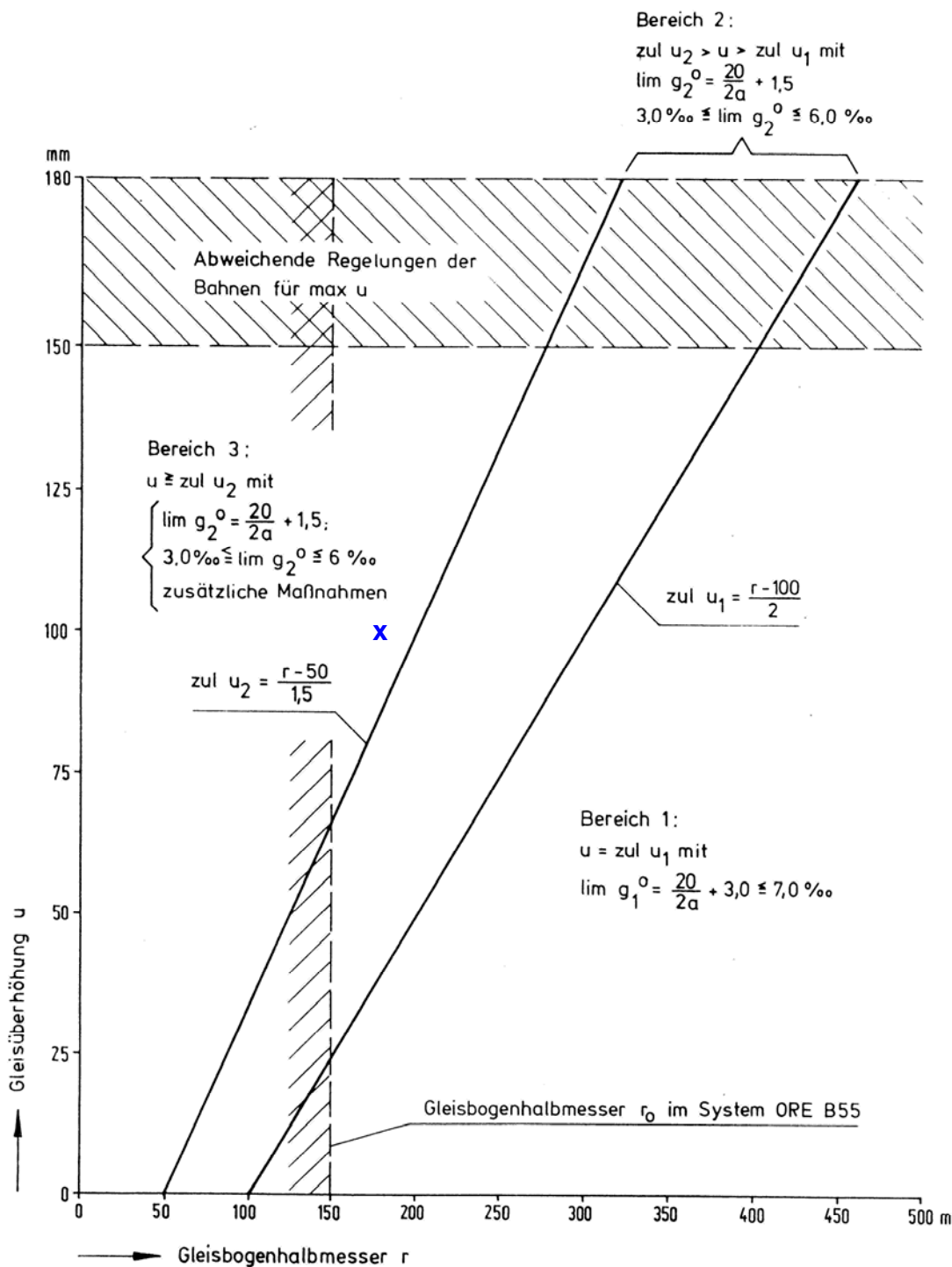


Abbildung 16 ORE B55/RP8 - Figur 7

X Sollwerte gemäß Bogenverzeichnis: $r = 185\text{ m}$, $\ddot{u} = 100\text{ mm}$

Als zusätzliche Sicherheit gegen Entgleisungen werden für den Bereich 3 im Bericht ORE B55/RP8, Figur 7 das Anbringen von Leitschienen oder Einrichtungen für die Schmierung der Schienen (Fahrkante) genannt.

7.9. Spurkranzschmieranlage der Tfz des IM

Die Schmierung der Fahrkanten wird durch die auf der LILO eingesetzten Tfz mittels Spurkranzschmieranlage gewährleistet. Dabei handelt es sich um ein Fabrikat Secheron-Sepuls. Das Schmiermittel mit der Bezeichnung F234 Mod. 1 wird auch bei den ÖBB verwendet.

8. Zusammenfassung der Erkenntnisse

8.1. Fahrgeschwindigkeit

Die zulässige Fahrgeschwindigkeit wurde von Z 71006 eingehalten.

8.2. Beteiligte Fahrzeuge

Das entgleiste Fahrzeug kann auf Grund seines Erhaltungszustandes mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als Ursache für die Entgleisung ausgeschlossen werden. Ein an einem baugleichen Wagen durchgeführter Verwinderversuch gemäß ORE B55/RP8 zeigte als Ergebnis die Einhaltung der zulässigen Verwindesteifigkeit.

8.3. Fahrweg

Durch einen Unterbauschaden bildete sich ein Überhöhungsfehler von 40 mm, der eine Rampenneigung von 1:190 bewirkte. Gemäß Infrastrukturbasisdaten zur Standardsicherheitsbescheinigung ist eine maximale Rampenneigung von 1 : 400 zulässig.

Durch die zu große Rampenneigung kam es beim entgleisten Wagen trotz Einhaltung der Fahrzeugprüfverwindung zu einer Radentlastung an der Außenschiene des Übergangsbogens.

Weiters wurde im Bereich der Entgleisungsstelle ein massiver Richtungsfehler festgestellt (Änderung des Bogenhalbmessers von 185 m auf ca. 130 m).

8.4. Regelwerke für die Instandhaltung des Fahrweges des IM

Gemäß Instandhaltungsplan des IM müssen die SES folgender Gleisparameter überprüft und eingehalten werden:

- *Querhöhe*
- *Spurweite*

Weitere Gleisparameter (Aufzählung nicht vollständig) wie

- *Längshöhe*
- *Richtung*
- *Verwindung*
- *Zulässige Abweichung von der gegenseitigen Höhenlage der Schienen*

sollten ebenfalls maschinell messtechnisch erfasst und eingehalten werden.

Voraussichtlich per 1. Jänner 2011 wird die TSI CON RAIL INFRA in Kraft gesetzt.

9. Sonstige, nicht unfallkausale Unregelmäßigkeiten

9.1. Betriebliche Unterlagen

Gemäß Buchfahrplan LIL0, Heft 4, Fahrplanmuster B 71006 des IM ist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von $v_{\max} = 40$ km/h und $B_h = 51$ % vorgeschrieben. Gemäß Sammelbefehl für Z 71006 des IM wurde eine $v_{\max} = 50$ km/h und $B_h = B_a = 67$ % vorgeschrieben.

9.2. Anschrift des Zusatzrasters des entgleisten Schotterwagens

Der entgleiste Schotterwagen 40 81 942 1 240-8 wies die Anschrift eines Zusatzrasters für die Streckenklasse „D“ ÖBB auf. Dies bedeutet 21,0 t Achslast und Zuladung 28,5 t.

Gemäß Sicherheitsempfehlung für bestimmte Radsatzwellen verlautbart mit GZ: BMVIT-224.067/0001-IV/SCH/5/2009 vom 2. Juli 2009 dürfen bestimmte Radsatzwellen gemäß MB UIC 510-1, Typ A eine zulässige Achslast von 20,0 t nicht überschreiten.

10. Ursache

Als Ursache für die Entgleisung ist ein Unterbauschaden anzusehen; dieser bewirkte einen Fehler der Gleisüberhöhung und daraus resultierend einen Verwindungsfehler des Gleises.

11. Berücksichtigte Stellungnahmen

Noch offen.

12. Sicherheitsempfehlungen

Gemäß EU Richtlinie 49/2004, Artikel 25 - Absatz 2 werden die Empfehlungen an die Sicherheitsbehörde und, sofern es die Art der Empfehlung erfordert, an andere Stellen oder Behörden in dem Mitgliedstaat oder an andere Mitgliedstaaten gerichtet. Die Mitgliedstaaten und ihre Sicherheitsbehörden ergreifen die erforderlichen Maßnahmen, um sicherzustellen, dass die Sicherheitsempfehlungen der Untersuchungsstellen angemessen berücksichtigt und gegebenenfalls umgesetzt werden.

laufende Jahresnummer	Sicherheitsempfehlung (unfallkausal)	richtet sich an
A-124/2010	Überprüfung, ob es zielführend ist, auf bestimmten Streckenabschnitten die derzeit vorhandene Überhöhung zu reduzieren. Begründung: Bei Einhaltung der Überhöhung gemäß ORE B55/RP8, Bereich 1, müssen die Grenzwerte für die Gleisverwindung nicht eingeschränkt werden.	IM
A-125/2010	Überprüfung der Instandhaltungsregelwerke bezüglich der zulässigen Instandhaltungsparameter (ES und SES) auf die zulässige Gleisverwindung im Zusammenhang mit der Gleisüberhöhung und Richtung. Begründung: Bei den angewendeten SES werden die Erkenntnisse des ORE B55/RP8 nicht eingehalten. Anmerkung: Voraussichtlich tritt per 1. Jänner 2011 die TSI für Teilsystem „Infrastruktur „ des konventionellen Eisenbahnsystems in Kraft.	IM
laufende Jahresnummer	Sicherheitsempfehlung (nicht unfallkausal)	richtet sich an
A-126/2010	Überprüfung, ob die Anschrift der Lastgrenze D mit einer Radsatzlast von 21,0 t bei dieser Fahrzeugserie auf Grund der verwendeten Radsatzwellen zulässig ist. Begründung: Sicherheitsempfehlung für bestimmte Radsatzwellen GZ: BMVIT-224.067/0001-IV/SCH/5/2009 vom 2. Juli 2009	Fahrzeughalter
A-127/2010	Überprüfung, ob die gemäß Buchfahrplan vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h mittels allgemeinen Befehl, unter Angabe eines höheren Bremsausmaßes auf 50 km/h erhöht werden darf.	IM

Die Sicherheitsbehörde und andere Behörden oder Stellen sowie gegebenenfalls andere Mitgliedstaaten, an die die Empfehlungen gerichtet sind, unterrichten die Untersuchungsstelle mindestens jährlich über Maßnahmen, die als Reaktion auf die Empfehlung ergriffen wurden oder geplant sind (EU Richtlinie 49/2004, Artikel 25 - Absatz 3).

Dieser Untersuchungsbericht ergeht an:

Unternehmen / Stelle	Funktion
Linzer Lokalbahn AG	Eigentümer
Stern&Hafferl Verkehrsgesellschaft m.b.H.	IM / RU
ÖBB-Infrastruktur AG	Fahrzeughalter
Herr Landeshauptmann von Oberösterreich	Behörde
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie	Behörde
BMWVJ - Clusterbibliothek	Europäisches Dokumentationszentrum

Wien, am 28. Dezember 2010

Der Untersuchungsleiter:

Ing. Johannes Piringer eh.

Beilagen: Gutachten Dipl.-Ing. Dr. tech. A. Kurt Machinek, Zivilingenieur für Maschinenbau
Fristgerecht eingelangte Stellungnahmen

Beilage Gutachten Dipl.-Ing. Dr. tech. A. Kurt Machinek, Zivilingenieur für Maschinenbau

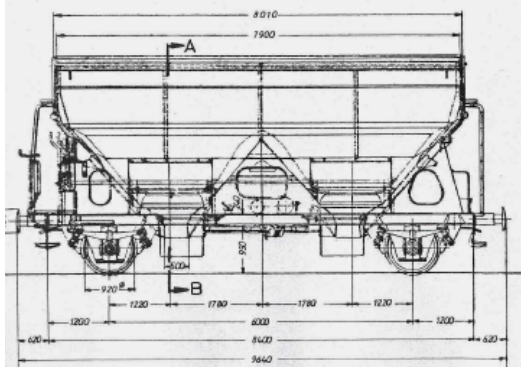
Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Besteller:
ÖBB Technische Services GmbH
Güterwagen
Hr. Philipp Herincs
Winkeläckerweg 1
A-1210 Wien

Angebot 11.5.2010 an
Herrn Philipp Herincs
ÖBB Technische Services GmbH
Winkeläckerweg 1
A-1210 Wien



PROJEKT: VERWINDESTEIFIGKEIT EINES GÜTERWAGENS

**TÄTIGKEIT: BERECHNUNG DER VERWINDESTEIFIGKEIT AUS
MESSDATEN EINES GÜTERWAGENS**

**BEURTEILUNG DER VERWINDESTEIFIGKEIT ANHAND
VON REGELWERKEN**

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Wien, 5. Juli 2010

Verteilt an:

ÖBB-Technische Services GmbH, Herr Herincs (pdf und gebunden)
Ablage Kanzlei

Gutachten Nr. 2010-ÖBB-01 Rev.0

Anfrage	04. Mai 2010 Hr. Herincs
Angebot	11. Mai 2010
Auftrag	12. Mai 2010 Hr. Herincs

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Inhalt

0	Zusammenfassung	3
1	Aufgabenstellung	4
2	Eingangsdaten und Kommentare zu den verwendeten Quellen	5
2.1	Eingangsdaten	5
2.2	Kommentare zu den verwendeten Quellen	7
3	Messung	9
4	Untersuchung des Kriteriums $Y/Q \leq 1.2$	14
4.1	Zulässige Radlastabweichung ΔQ_{zul}	14
4.2	Durch fahrzeugspezifische Merkmale bedingte Radlastabweichung	14
4.3	Auf das Gleis zurückzuführende Radlastabweichung	15
4.4	Radlastabweichung aus Querkräften	15
4.5	Vergleich zulässiger mit vorhandener Radlastabweichung	15
4.6	Zusammenstellung der Ergebnisse für verschiedene Verwindungen und Radlasten	16
5	Ermittlung der zulässigen Längsdruckkraft nach Diagrammen	17
6	Beurteilung und Gutachten	18
7	Quellen	18
	Anhang	19
	Letzte Seite des Gutachtens einschließlich Anhang	23

Scans und Fotos: Machinek

Revisionen

Revision	Datum	Grund für Änderung
0	5. Juli 2010	Neu

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

0 Zusammenfassung

Laut Anfrage seitens der ÖBB (Herr Philipp Herincs, 4.5.2010) soll der Nachweis der Verwindungssteifigkeit des Güterwagens 40 81 942 1 240-8 entsprechend den Regelwerken

- ORE B55/RP8
- Merkblatt UIC 530-2 oder
- TSI Fahrzeuge – Güterwagen

erbracht werden.

Der letztlich gemessene und beurteilte Wagen hat die Aufschrift 40 81 942 1 500-5.

Die Messung des Zusammenhangs Anhebekraft mit Anhebehöhe wurde am 17.5.2010 im ÖBB-Werk Jedlersdorf durchgeführt. Dabei wurden die Radsätze und die Achslagergehäuse nach Öffnen der Lagerschlösser ausgebunden. Die Messung erfolgte sowohl am Rahmen als auch an den Blattfedern (Messdosen unter den Blattfedern angebracht). Für die rechnerische Beurteilung wird die Messung auf Blattfedern herangezogen. In der gemessenen Steifigkeit ist also sowohl die Steifigkeit des Wagenkastens als auch die Steifigkeit der Federn enthalten.

Aus den Messergebnissen wird die Verwindungssteifigkeit berechnet und in Form einer gutachterlichen Stellungnahme beurteilt.

UIC 530-2 [2], Punkt 1.2, führt an, dass die Kriterien der Fahrsicherheit das Befahren von Gleisverwindungen und die Einflüsse von Längsdruckkräften betreffen (siehe auch Kapitel 2.2).

Befahren von Gleisverwindungen:

Der Schotterwagen mit der Nummer 40 81 942 1 500-5, Baujahr 1975, zeigt in den durchgeführten Berechnungen vorschriftsgemäße Entgleisungssicherheit.

Dabei wurde die Berechnung mit der Gleisverwindung

$$g^* = \frac{15}{2a^*} + 2 = 4.5 \text{ ‰ aus ORE [1]}$$

welche für einen Wagen mit Baujahr 1975 im Sinne des Bestandschutzes [5], siehe auch Kapitel 2.2, anzuwenden ist, aber auch mit

$$g^* = \frac{20}{2a^*} + 2 = 5.33 \text{ ‰ aus TSI 4.2.3.4.2.2 [3]}$$

durchgeführt.

Einfluss der Längsdruckkräfte:

Die zulässige Längsdruckkraft F_L wird aus Diagrammen der UIC 530-2 [2] bestimmt. Es ergibt sich $F_L=516$ kN. Dieser Wert ist höher als der geforderte Wert von 150 kN für vorhandene, vor dem 1.7.1984 gebaute Wagen. (Der gemessene Wagen hat Baujahr 1975.) Der Wert ist sogar höher als 200 kN für nach dem 1.7.1992 gebaute Wagen. Somit ist auch nach diesem Kriterium Entgleisungssicherheit gegeben.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

1 Aufgabenstellung

Laut Anfrage seitens der ÖBB (Herr Philipp Herincs, 4.5.2010) soll der Nachweis der Verwindungssteifigkeit des Güterwagens 40 81 942 1 240-8 entsprechend den Regelwerken

- ORE B55/RP8
- Merkblatt UIC 530-2 oder
- TSI Fahrzeuge – Güterwagen

erbracht werden.

Der letztlich gemessene und beurteilte Wagen hat die Aufschrift 40 81 942 1 500-5.

Die Messung des Zusammenhangs Anhebekraft mit Anhebehöhe wurde am 17.5.2010 im ÖBB-Werk Jedlersdorf durchgeführt. Dabei wurden die Radsätze und die Achslagergehäuse nach Öffnen der Lagerschlösser ausgebunden. Die Messung erfolgte sowohl am Rahmen als auch an den Blattfedern (Messdosen unter den Blattfedern angebracht). Für die rechnerische Beurteilung wird die Messung auf Blattfedern herangezogen. In der gemessenen Steifigkeit ist also sowohl die Steifigkeit des Wagenkastens als auch die Steifigkeit der Federn enthalten.

Aus den Messergebnissen soll die Verwindungssteifigkeit berechnet und in Form einer gutachterlichen Stellungnahme beurteilt werden.

UIC 530-2 [2], Punkt 1.2, führt an, dass die Kriterien der Fahrsicherheit das Befahren von Gleisverwindungen und die Einflüsse von Längsdruckkräften betreffen (siehe auch Kapitel 2.2).

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
5.7.2010

Die nach DIN 27201-5 berechnete relative Radsatzaufstandskraft-Abweichung beträgt für diesen Wagen nach dieser Messung $(6238.2-11875/2)/(11875/2)=5.06\%$.

Aus diesen Massen ergibt sich, dass der Schwerpunkt des gesamten Wagens 152 mm von der Mitte des Wagens in Richtung Achse 2 verschoben ist.

Bemerkung:

Die HBM-Messungen 1 bis 3 ergeben einen Mittelwert der Aufstandskräfte ohne Radsätze von 95.25 kN, das entspricht 9709.5 kg. Die Radsätze (mit Achslagergehäusen und Spangen) haben nach diesen Messungen demnach je $(11875-9709.5)/2=1082.8$ kg.

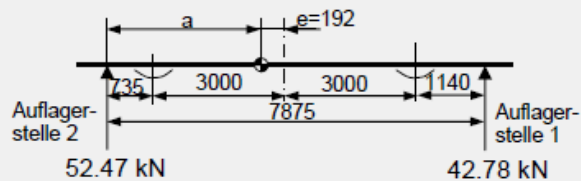
Die Verteilung der Auflagerkraft auf Auflagerstelle 1 und Auflagerstelle 2 ist (Mittelwerte der im Messbericht zahlenmäßig angegebenen Auflagerkräfte der Messungen 1 bis 3, jeweils Zyklus 1 bis 3):

Auflagerstelle 1: 42.78 kN

Auflagerstelle 2: 52.47 kN

Die Längsentfernung der Auflagerstellen ist $6000+735+1140=7875$ mm. Dabei ist 735 mm die Entfernung zwischen Auflagerstelle 2 und Achse 2 in Richtung Ende 2 (siehe auch Bild der Messanordnung in Kapitel 3). Es ergibt sich, dass der Schwerpunkt des Wagens ohne Radsätze

$$e=735+3000-a=198 \text{ mm} \quad \text{mit } a=7875*42.78/95.25$$



von der Mitte des Wagens in Richtung Achse 2 verschoben ist. Rechnet man die symmetrisch liegenden Radsätze ein, so ergibt sich $95250*198/(11875*9.81)=162$ mm.

Rückrechnung auf Achslasten:

$$\text{Achse 1: } 95.25*(3000-198)/6000 = 44.482 \text{ kN}$$

$$\text{Achse 2: } 95.25*(3000+198)/6000 = 50.768 \text{ kN}$$

In Massen, mit Radsatz:

$$\text{Achse 1: } 44482/9.81+1082.8=5617.1 \text{ kg mit Radsatz.}$$

$$\text{Achse 2: } 50768/9.81+1082.8=6257.9 \text{ kg mit Radsatz.}$$

Die Bewertung der Verwindesteifigkeit in Hinblick auf Entgleisungssicherheit wird für 3 Werte der Radlast durchgeführt:

Für die angeschriebenen Eigenmasse, gleichmäßig verteilt:

$$Q_0=13000*9.81/4=31.88 \text{ kN}$$

Für die Eigenmasse des gemessenen Wagens, gleichmäßig verteilt

$$Q_0=11875*9.81/4=29.12 \text{ kN}$$

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
5.7.2010

Für die geringer belastete Achse:

$$Q_0 = 5630 \cdot 9.81 / 2 = 27.62 \text{ kN.}$$

Weitere Daten:

Der Wagen hat 4 Blattfedern, deren Auflagerpunkte in Längsrichtung 6000 mm und in Querrichtung 2000 mm auseinander liegen.

Achsabstand: 6000 mm.

Abstand der Radaufstandspunkte in Querrichtung 1500 mm.

LüP: 9640 mm.

Baujahr des gemessenen Wagens: 1975 (Information von ÖBB Dipl.-Ing. Ponice)

Der Wagen hat eine Schraubenkupplung und Seitenpuffer.

Bei den Berechnungen wird grundsätzlich angenommen, dass der Wagen eine über die Länge konstante Torsionssteifigkeit besitzt. Dies ist von Bedeutung, wenn eine Torsionssteifigkeit von einer Länge auf eine andere Länge umgerechnet wird.

2.2 Kommentare zu den verwendeten Quellen

Zu [1] ORE B55/RP8: Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen; April 1983. Anwendungsdokument, 2. Entwurf, September 1984.

Insbesondere das Anwendungsdokument gibt einen Weg zum Nachweis der Entgleisungssicherheit, aufbauend auf der Bedingung $Y/Q \leq 1.2$, vor. Diese Vorgangsweise wird hier verfolgt.

Zu [2] Kodex UIC 530-2: Güterwagen – Fahrsicherheit, 6. Ausgabe, Oktober 2008.

1.2 führt an, dass die Kriterien der Fahrsicherheit das Befahren von Gleisverwindungen und die Einflüsse von Längsdruckkräften betreffen.

2.1.3 fordert, dass der kennzeichnende Punkt in den Diagrammen oberhalb der Linie A-A liegen muss.

3.1.1: vorhandene, vor dem 1.7.1984 gebaute Fahrzeuge:

$4.5\text{m} \leq 2a^* \leq 9\text{m}$ ist erfüllt

Eigenmasse $\geq 9 \text{ t}$ ist erfüllt.

Ertragbare Längsdruckkraft der Güterwagen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffer $\geq 150 \text{ kN}$ (ist erfüllt, siehe Kapitel 5)

3.2.1: $LüP \leq 13.7\text{m}$ ist erfüllt.

3.2.2: Wenn $LüP < 14.1\text{m}$, dann muss $6\text{m} \leq 2a^* \leq 9\text{m}$ sein. Ist erfüllt.

3.2.5 $ct^* > 0.5 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$, ist erfüllt.

3.2.6 $LüP < 14.1\text{m} \rightarrow$ Eigenmasse muss $\geq 11.5 \text{ t}$, ist erfüllt.

3.3 Anwendung der Diagramme

Die Anwendbarkeit der Diagramme aus Anhang A der UIC [2A] scheint nicht ganz eindeutig.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
5.7.2010

Kapitel 3.2 „Beurteilung der Fahrsicherheit von Güterwagen mit zwei Radsätzen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffer“ nimmt keinen Bezug auf die Diagramme.

Kapitel 3.3 „Beurteilung der Fahrsicherheit von Güterwagen mit zwei Radsätzen mit automatischer Zug-/Druckkupplung ohne Seitenpuffer“ nimmt Bezug auf die Diagramme. Der untersuchte Wagen hat jedoch Schraubenkupplung und Seitenpuffer.

Bei den Diagrammen selber findet man keine Einschränkung. Die Überschrift lautet „Diagrammsammlung zur Beurteilung der Fahrsicherheit von Güterwagen mit zwei Radsätzen mit Blatttragfedern mit linearer Kennlinie“. In der Zusammenfassung auf Seite 1 der UIC steht „Für Güterwagen mit 2 Radsätzen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffern sowie bestimmten technischen Merkmalen kann die Fahrsicherheit anhand eines besonders hierfür entwickelten Diagramms überprüft werden.“

Zu [3] TSI (Technische Spezifikationen für Interoperabilität) Fahrzeuge – Güterwagen, 8.12.2006.

Eine Suche nach „Entgleis“ ergibt nur einige Treffer.

4.2.2.3.4.3 gibt einen Hinweis auf Verwindungssteifigkeit, aber nicht quantitativ.

4.2.3.4.2.1 gibt an $Y/Q \leq 1.2$ für $R < 250\text{m}$ und $Y/Q \leq 0.8$ für $R \geq 250\text{m}$.

4.2.3.4.2.2 gibt die Gleisverwindung mit $g^* \leq \frac{20}{2a^*} + 2$ [‰] an. (Im

Anwendungsdokument [1] ist $g^* \leq \frac{15}{2a^*} + 2$ angegeben.)

4.2.3.5.2 fordert eine minimale ertragbare Längsdruckkraft von 200 kN für zweiachsige Güterwagen mit UIC-Kupplung (siehe [2]).

Zu [5] Versa, Verkehrssicherheit für Österreich, Entgleisungen von Güterwagen in Österreich. BMVIT-795.136-II/BAV/UUB/SCH/2010. Link:
<http://versa.bmvit.gv.at/index.php?id=337&L=0>.

2.1 vergleicht die Werte der Gleisverwindung aus TSI $g^* \leq \frac{20}{2a^*} + 2$ mit ORE

$g^* \leq \frac{15}{2a^*} + 2$. Im Sinne des Bestandsschutzes gilt für ältere Güterwagen der ORE-Wert.

2.3 hält fest, dass die Anwendung der Diagramme der UIC-Anlagen eine Vereinfachung des Nachweises der Sicherheit gegen Entgleisung beim Befahren von Gleisverwindungen darstellt; ansonst ist der Nachweis gemäß Bericht ORE B55/RP8 zu erbringen. Somit reicht offenbar der Nachweis mit den Diagrammen aus.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

3 Messung



Ansicht auf Ende 2



Messdose unter Blattfeder

Am 17.5.2010 wurde eine von ÖBB in Auftrag gegebene Messung der Verwindung von der Firma HBM (Herr Maicz, Herr Schmöller) durchgeführt. Die Ergebnisse sind im HBM-Protokoll [4] dargestellt.

Dabei wurde die Verwindesteifigkeit selbst nicht festgestellt, jedoch durch Heben eines von 4 Auflagepunkten und gleichzeitiges Messen der Hebestrecke und der Auflagekräfte an den 4 Auflagepunkten Datenmaterial gesammelt.

In diesem Gutachten wird auftragsgemäß die Messung 4 (auf Blattfedern) verarbeitet:

Verwindungsmessung an kräftemäßig nivelliertem Fahrzeug, Anheben bei 2R, mit Federn.

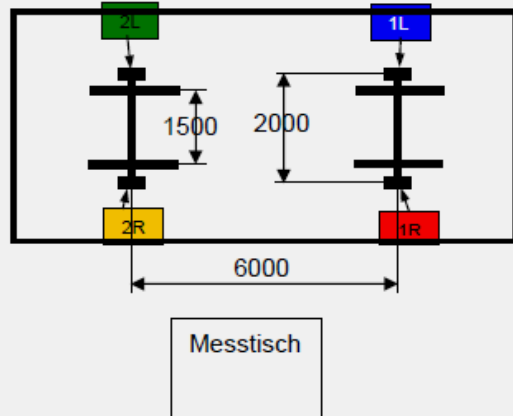
Die Kraftmessdosen sind hier an den Federauflagen zum Radlagergehäuse, also in der Längsrichtung 6000 mm und in Querrichtung 2000 mm auseinander angeordnet. Der Ort der Wegmessung kann aus dem Bild DSC03616.jpg von HBM ersehen werden und ist ungefähr ortsgleich mit der Kraftmessdose.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

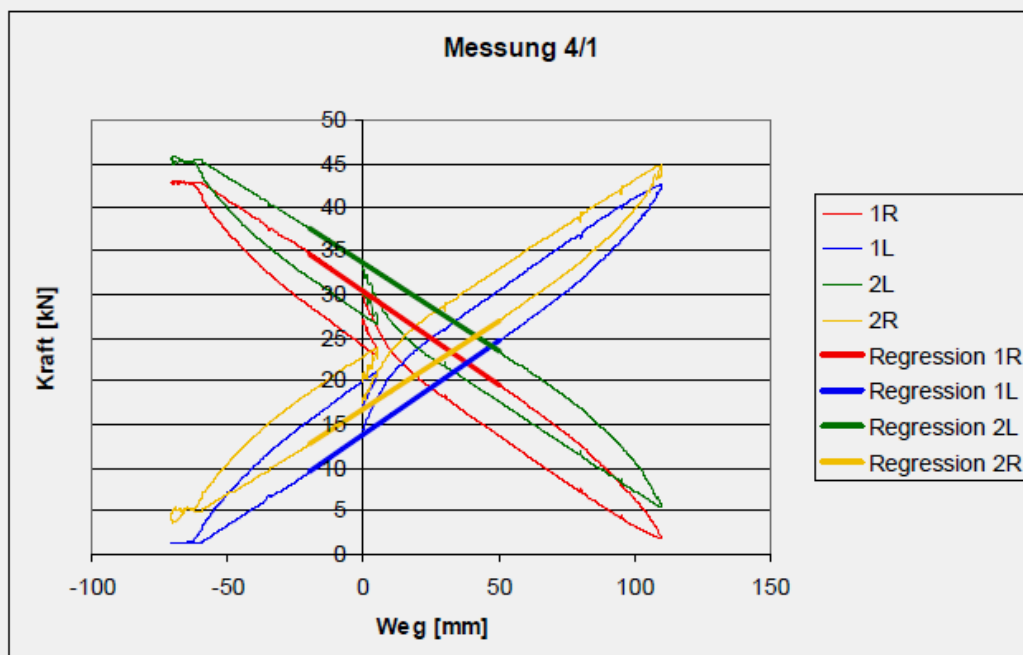
Anordnung und wesentliche Maße der Messung:



Positionen der
Kraftmessdosen bei
Messung 4

Die Ergebnisse der Messungen sind die 4 Auflagerkräfte an den Stellen 1L, 1R, 2L, 2R und der Hebeweg an der Stelle 2R. Im HBM-Bericht [4] sind nur die Endwerte in beide Richtungen (maximales Heben und Senken, wobei stets noch eine kleine Auflagerkraft vorhanden ist) zahlenmäßig angegeben. Die restlichen Daten sind als graphische Plots vorhanden.

Durch die Nichtlinearität der Hysteresekurven an den Umkehrpunkten kann aus diesen Werten aber nicht die Steigung der Last-Verschiebungsgeraden bestimmt werden. Es wurden von HBM aber auch die ASCII-Daten der Messung zur Verfügung gestellt (24.6.2010). Diese können mit Ausgleichsgeraden ausgewertet werden, wobei sich eine bereits vorher durchgeführte Bestimmung der Steigung durch visuelles Ablesen als genau genug erwies:



Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

	Weg von 50 bis -20 mm					
	rot (1R)	blau (1L)	grün (2L)	gelb (2R)		
Achsenabschnitt	30.32	13.87	33.55	16.82		
Steigung	-0.22	0.22	-0.20	0.20		
	0.2155	0.2156	0.2023	0.2039	Mittel aus 3 Messungen	
		0.2093			Gesamt-Mittel	

Mit diesen Daten ergibt sich eine mittlere Steigung der Kraft-Verschiebungsgeraden von:

$$c=0.2093 \text{ kN/mm}$$

Die von Länge und Breite unabhängige Torsionssteifigkeit des Wagens ist

$$c^* = c \cdot l \cdot b^2 = 0.209 \cdot 6000 \cdot 2000^2 = 0.5016 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2 / \text{rad}$$

$$c^*=0.5016 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$$

Bemerkung : Dieser Wert entspricht GI_T bei der Torsionsberechnung von Balken.

Für die Abschätzung der Radentlastung durch fahrzeugspezifische Merkmale (ORE B55/RP8 Seite 8) ist auch c_t^* erforderlich. (Dieser Anteil umfasst die Radkraftabweichung des leeren Fahrzeuges und durch Unsymmetrie der Ladung bedingte Radkraftabweichung und wird durch eine in ORE angegebene Regressionsgleichung abgeschätzt, siehe 4.2).

Am Wagenkasten ohne Federn wurden folgende Messungen durchgeführt:

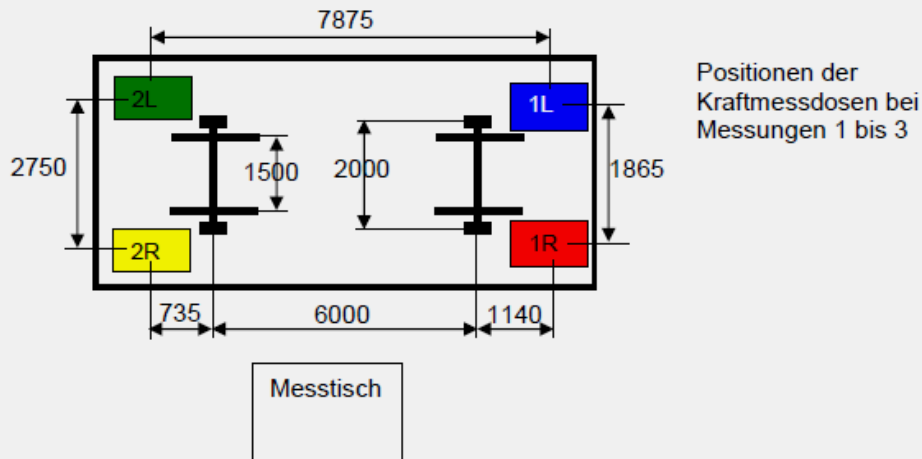
1. Verwindungsmessung an geometrisch nivelliertem Fahrzeug, Anheben bei 2R, ohne Federn
2. Verwindungsmessung an kräftemäßig nivelliertem Fahrzeug, Anheben bei 2R, ohne Federn
3. Verwindungsmessung an geometrisch nivelliertem Fahrzeug, Anheben bei 1R, ohne Federn

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Anordnung und wesentliche Maße:



Die Länge von 7875 mm ergibt sich daraus, dass die Messdosen am Ende 1 um 1140 mm außerhalb der Achse 1 lagen und am Ende 2 um 735 mm außerhalb der Achse 2.

Der genaue Ort der Wegmessung ist im Bericht nicht angegeben, ist jedoch aus eigener Beobachtung am Ende 1 ca. 15 mm innerhalb der Kraftmessdose, am Ende 2 ca. 25 mm innerhalb der Kraftmessdose.

Die Ergebnisse der Messungen sind die 4 Auflagerkräfte an den Stellen 1L, 1R, 2L, 2R und der Hebeweg an einer der Stellen (wie oben angegeben). Im HBM-Bericht sind nur die Endwerte in beide Richtungen (maximales Heben und Senken, wobei stets noch eine kleine Auflagerkraft vorhanden ist) zahlenmäßig angegeben. Die restlichen Daten sind als graphische Plots vorhanden. Mit diesen Daten ergeben sich Steigungen der Geraden bei der Messung 1 (Wegmessung bei 2R, Breite 2750-25) im Mittel von

$c_t = 0.65 \text{ kN/mm}$ am Ende 1 (Aufstandsbreite 1865 mm) und
 $c_t = 0.44 \text{ kN/mm}$ am Ende 2 (Aufstandsbreite 2750 mm).

Für die Messung 2 ergeben sich die gleichen Werte. Daraus ergibt sich

$ct^* = 0.65 \cdot 2725 \cdot 1865 \cdot 7875 = 2.601 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$ ($= c \cdot b_h \cdot b_{MD} \cdot L$) bzw.
 $ct^* = 0.44 \cdot 2725 \cdot 2750 \cdot 7875 = 2.597 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$

b_h ist der Quer-Abstand der gehobenen Stelle von der gegenüberliegenden fixen Stelle

b_{MD} ist der Quer-Abstand der Messdosen

L ist die tordierte Länge

Bei der Messung 3 (Wegmessung bei 1R, $b_h = 1865 - 15$) ergibt sich im Mittel

$c_t = 1.00 \text{ kN/mm}$ am Ende 1 (Aufstandsbreite 1865 mm) und
 $c_t = 0.69 \text{ kN/mm}$ am Ende 2 (Aufstandsbreite 2750 mm).

Die Werte für c_t sind erwartungsgemäß um den Faktor $(2750 - 25) / (1865 - 15) = 1.473$ größer. ct^* ist von der Breite unabhängig und ergibt sich zu

$ct^* = 1.00 \cdot 1850 \cdot 1865 \cdot 7875 = 2.717 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$ bzw.
 $ct^* = 0.69 \cdot 1850 \cdot 2750 \cdot 7875 = 2.764 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Aus den ASCII-Daten ergeben sich die Steigungen der Regressionsgeraden der Messung 1 im Mittel zu

0.66 kN/mm am Ende 1 (Aufstandsbreite 1865 mm) und
0.44 kN/mm am Ende 2 (Aufstandsbreite 2750 mm).

Es zeigt sich hier also eine sehr gute Übereinstimmung und es kann für die Messungen 1 bis 3 mit den Daten des HBM-Berichts (Werte an den Umkehrpunkten) gearbeitet werden.

Im Mittel ergibt sich aus den 3 Messreihen zu je 3 Messzyklen:

$$c_t^* = 2.6391 \cdot 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$$

Aus c^* und c_t^* ergibt sich c_z^* und c_z (wird für die Anwendung der Diagramme benötigt):

$$\frac{1}{c^*} = \frac{1}{c_t^*} + \frac{1}{c_z^*}$$

mit

$$c_z^* = \frac{1}{4} c_z \cdot l_z \cdot b_z^2 \Rightarrow c_z = \frac{4 \cdot c_z^*}{l_z \cdot b_z^2}$$

Es ergibt sich $c_z = 1.0322 \text{ kN/mm}$.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
5.7.2010

4 Untersuchung des Kriteriums $Y/Q \leq 1.2$

Das Kriterium

$$\frac{Y}{Q} \leq 1.2$$

ist nach [1] bzw. [3] (TSI 4.2.3.4.2.1 Seite 44 gültig für $R < 250\text{m}$, sonst $1.2 \rightarrow 0.8$) einzuhalten.

Daraus ergibt sich das Kriterium

$$\frac{\Delta Q}{Q} \leq \frac{1.2 - \tan(\gamma + \rho)}{1.2 + \tan(\gamma + \rho)}$$

4.1 Zulässige Radlastabweichung ΔQ_{zul}

$$\Delta Q_{zul} = Q_0 \cdot \Delta q$$

$$\Delta q = \frac{1.2 - \tan(\gamma + \rho)}{1.2 + \tan(\gamma + \rho)}$$

$$\tan(\gamma + \rho) = \frac{6.5}{150} \cdot 2\alpha^* = \frac{6.5}{150} \cdot 6 = 0.2600$$

$$\Delta q = \frac{1.2 - 0.2600}{1.2 + 0.2600} = 0.6438$$

$$\Delta Q_{zul} = 31.88 \cdot 0.6438 = 20.52 \text{ kN}$$

Die Ergebnisse für andere Q_0 werden weiter unten in Tabellenform angegeben.

4.2 Durch fahrzeugspezifische Merkmale bedingte Radlastabweichung

Dieser Anteil umfasst die Radkraftabweichung des leeren Fahrzeuges und durch Unsymmetrie der Ladung bedingte Radkraftabweichung und wird durch eine in ORE [1] angegebene Regressionsgleichung abgeschätzt:

$$\Delta Q_{Fz} = Q_0 \cdot \Delta q_0$$

$$\Delta q_0 = (15.1 \cdot c_r^* \cdot 10^{-10} + 143) \cdot \frac{1}{1000} = (15.1 \cdot 2.6391 + 143) \cdot \frac{1}{1000} = 0.1829$$

Diese Formel ist sowohl in ORE wie auch in TSI angegeben. Der Wert soll nach ORE < 0.23 sein.

$$\Delta Q_{Fz} = 31.88 \cdot 0.1829 = 5.83 \text{ kN}$$

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

4.3 Auf das Gleis zurückzuführende Radlastabweichung

$$\Delta Q_t = c_{tA,‰} \cdot g^*$$

$c_{tA,‰}$ ist die Steifigkeit am Aufstandspunkt, allerdings hier nicht in kN/mm, sondern in kN/‰Rampenneigung. Die Rampenneigung p [‰] kann man aus dem Anhebeweg Δh berechnen:

$$p = \frac{\Delta h}{2a} \cdot 1000 \quad 2a \dots \text{Achsabstand}$$

Somit:

$$c_{tA,‰} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\Delta F}{p} = \frac{\Delta F}{\frac{\Delta h}{2a} \cdot 1000} = \frac{\Delta F}{\Delta h} \cdot \frac{2a}{1000} = c_{tA} \cdot \frac{2a}{1000}$$

Hier ist

$$c_{tA} = \frac{\Delta F_A}{\Delta h_A} = c \cdot \frac{b_z^2}{b_A^2} = 0.2093 \cdot \frac{2000^2}{1500^2} = 0.3721 \text{ kN/mm}$$

$$c_{tA,‰} = c_{tA} \cdot \frac{6000}{1000} = c_{tA} \cdot 6 = 0.372 \cdot 6 = 2.23 \text{ kN/‰}$$

Für die einzusetzende Verwindung des Fahrweges findet man in verschiedenen Quellen verschiedene Angaben. Hier werden die Berechnungen mit den Angaben

$$g^* = \frac{15}{2a^*} + 2 = 4.5 \text{ ‰ (ORE [1])}$$

$$g^* = \frac{20}{2a^*} + 2 = 5.33 \text{ ‰ (TSI 4.2.3.4.2.2 Seite 45 [2])}$$

durchgeführt.

$$\Delta Q_t = 2.23 \cdot 4.5 = 10.03 \text{ kN} \quad \text{für } g^* = 4.5 \text{ ‰}$$

$$\Delta Q_t = 2.23 \cdot 5.33 = 11.89 \text{ kN} \quad \text{für } g^* = 5.33 \text{ ‰}$$

4.4 Radlastabweichung aus Querkräften

$\Delta Q_{Fy} \approx 0$ Laut ORE für Güterwägen mit Radsätzen.

4.5 Vergleich zulässiger mit vorhandener Radlastabweichung

$$\Delta Q_{zul} = 20.52 \text{ kN}$$

Für $g^* = 4.5 \text{ ‰}$

$$\Delta Q = \Delta Q_{Fz} + \Delta Q_t + \Delta Q_{Fy} = 5.83 + 10.03 + 0 = 15.86 \text{ kN}$$

Wegen $\Delta Q_{zul} - \Delta Q = 20.52 - 15.86 = 4.66 > 0$ bzw. $\frac{\Delta Q_{zul}}{\Delta Q} = \frac{20.52}{15.86} = 1.294 > 1$ ist

Entgleisungssicherheit gegeben.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Für $g^*=5.33\%$

$$\Delta Q = \Delta Q_{Fz} + \Delta Q_t + \Delta Q_{Fy} = 5.83 + 11.89 + 0 = 17.72 \text{ kN}$$

Wegen $\Delta Q_{zul} - \Delta Q = 20.52 - 17.72 = 2.80 > 0$ bzw. $\frac{\Delta Q_{zul}}{\Delta Q} = \frac{20.52}{17.72} = 1.158 > 1$ ist

Entgleisungssicherheit gegeben.

4.6 Zusammenstellung der Ergebnisse für verschiedene Verwindungen und Radlasten

Torsionssteifigkeit des Wagenkastens samt Blattfedern:

$$c^*=0.5016 \cdot 10^{10} \text{ kNm}^2/\text{rad} \text{ (gemessen)}$$

Verschiedene Verwindungen und Radlasten:

Version	Gleis- verwindung Kriterium	Gleis- verwindung Wert [‰]	Q_0 [kN]		$\Delta Q_{zul} - \Delta Q$ [kN]	$\Delta Q_{zul} / \Delta Q$ [-]
1	ORE	4.5	31.88(1)		4.665	1.294
2	TSI	5.33			2.807	1.158
3	ORE	4.5	29.12(2)		3.393	1.221
4	TSI	5.33			1.536	1.089
5	ORE	4.5	27.62(3)		2.698	1.179
6	TSI	5.33			0.840	1.050

(1) aus $m=13000 \text{ kg}$ (am Wagen angeschrieben)

(2) aus $m=11875 \text{ kg}$ (Masse des gemessenen Wagens)

(3) aus $m=5630\text{kg} + 6245\text{kg}$ (aus Wiegeprotokoll, kleineren Wert genommen)

Die berechneten Werte von $\Delta Q_{zul} - \Delta Q$ sind alle >0 bzw. die Werte $\Delta Q_{zul} / \Delta Q$ alle >1 , somit ist nach diesem Kriterium Entgleisungssicherheit gegeben.

Bemerkung: Auch bei Berücksichtigung eines Links-Rechts-Unterschiedes der Radaufstandskräfte, die jedoch laut ÖBB aus einer nicht repräsentativen Messung stammt, ergibt sich bei Verwindung 4.5 ‰ ausreichende Sicherheit.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
5.7.2010

5 Ermittlung der zulässigen Längsdruckkraft nach Diagrammen

Für die Bestimmung der zulässigen Längsdruckkraft werden die Diagramme aus Anhang A der UIC [2], [2A] eingesetzt.

Um die maximale Längsdruckkraft F_L zu bestimmen, muss sowohl in den Diagrammen als auch zwischen den Diagrammen interpoliert werden, was ausdrücklich erlaubt ist. Es werden hier 4 Diagramme verwendet. In jedem Fall liegt der bestimmende Punkt im erlaubten Bereich, siehe **Anhang**.

	vorhanden	Diagramm Seite 47	Diagramm Seite 49	Diagramm Seite 88	Diagramm Seite 90
LüP [m]	9.64	9.5	10	9.5	10
2a* [m]	6	6	6	6	6
c_z [kN/mm]	1.03	0.97	0.97	1.37	1.37
Q_0 [kN]	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
c_t^* [kNmm ² /rad]	$2.64 \cdot 10^{10}$	$2.64 \cdot 10^{10}$	$2.64 \cdot 10^{10}$	$2.64 \cdot 10^{10}$	$2.64 \cdot 10^{10}$
F_L [kN]		→ 525	→ 605	→ 430	→ 300
Interpolation bzgl. LüP		$F_L=547.4$ kN		$F_L=336.4$ kN	
Extrapolation bzgl. c_z		$F_L=516$ kN			

Der ermittelte Wert von $F_L=516$ kN ist höher als der geforderte Wert von 150 kN für vorhandene, vor dem 1.7.1984 gebaute Wagen. Der Wert ist sogar höher als 200 kN für nach dem 1.7.1992 gebaute Wagen.

Bemerkung: Auch bei Berücksichtigung einer höheren Federsteifigkeit, die aus einem Einzelversuch stammt, ergibt sich ein zulässiger Wert von F_L .

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

6 Beurteilung und Gutachten

Der Schotterwagen mit der Nummer 40 81 942 1 500-5, Baujahr 1975, zeigt in den durchgeführten Berechnungen vorschriftsgemäße Entgleisungssicherheit.

Dabei wurde die Berechnung mit der Gleisverwindung

$$g^* = \frac{15}{2a^*} + 2 = 4.5 \text{ ‰} \text{ aus ORE [1]}$$

welche für einen Wagen mit Baujahr 1975 im Sinne des Bestandschutzes [5], siehe auch Kapitel 2.2, anzuwenden ist, aber auch mit

$$g^* = \frac{20}{2a^*} + 2 = 5.33 \text{ ‰} \text{ aus TSI 4.2.3.4.2.2 [3]}$$

durchgeführt.

Weiters wurde die zulässige Längsdruckkraft F_L aus Diagrammen der UIC [2] bestimmt. Es ergibt sich $F_L=516$ kN. Dieser Wert ist höher als der geforderte Wert von 150 kN für vorhandene, vor dem 1.7.1984 gebaute Wagen. Der Wert ist sogar höher als 200 kN für nach dem 1.7.1992 gebaute Wagen. Somit ist auch nach diesem Kriterium Entgleisungssicherheit gegeben.

7 Quellen

- [1] ORE B55/RP8: Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen; April 1983. Anwendungsdokument, 2. Entwurf, September 1984.
- [2] UIC 530-2: Güterwagen – Fahrsicherheit, 6. Ausgabe, Oktober 2008.
- [2A] Anlage A zu UIC 530-2: Diagrammsammlung zur Beurteilung der Fahrsicherheit von Güterwagen mit zwei Radsätzen mit Blatttragfedern mit linearer Kennlinie.
- [3] TSI (Technische Spezifikationen für Interoperabilität) Fahrzeuge – Güterwagen, 8.12.2006.
- [4] Dokumentation Verwindungsmessung am Schotterwagen 819421500-5 am 15.5.2010 in der ÖBB Wagenwerkstätte Jedlersdorf, HBM.
- [5] Versa, Verkehrssicherheit für Österreich, Entgleisungen von Güterwagen in Österreich. BMVIT-795.136-II/BAV/UUB/SCH/2010. Link: <http://versa.bmvit.gv.at/index.php?id=337&L=0>.

Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
Zivilingenieur für Maschinenbau
1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

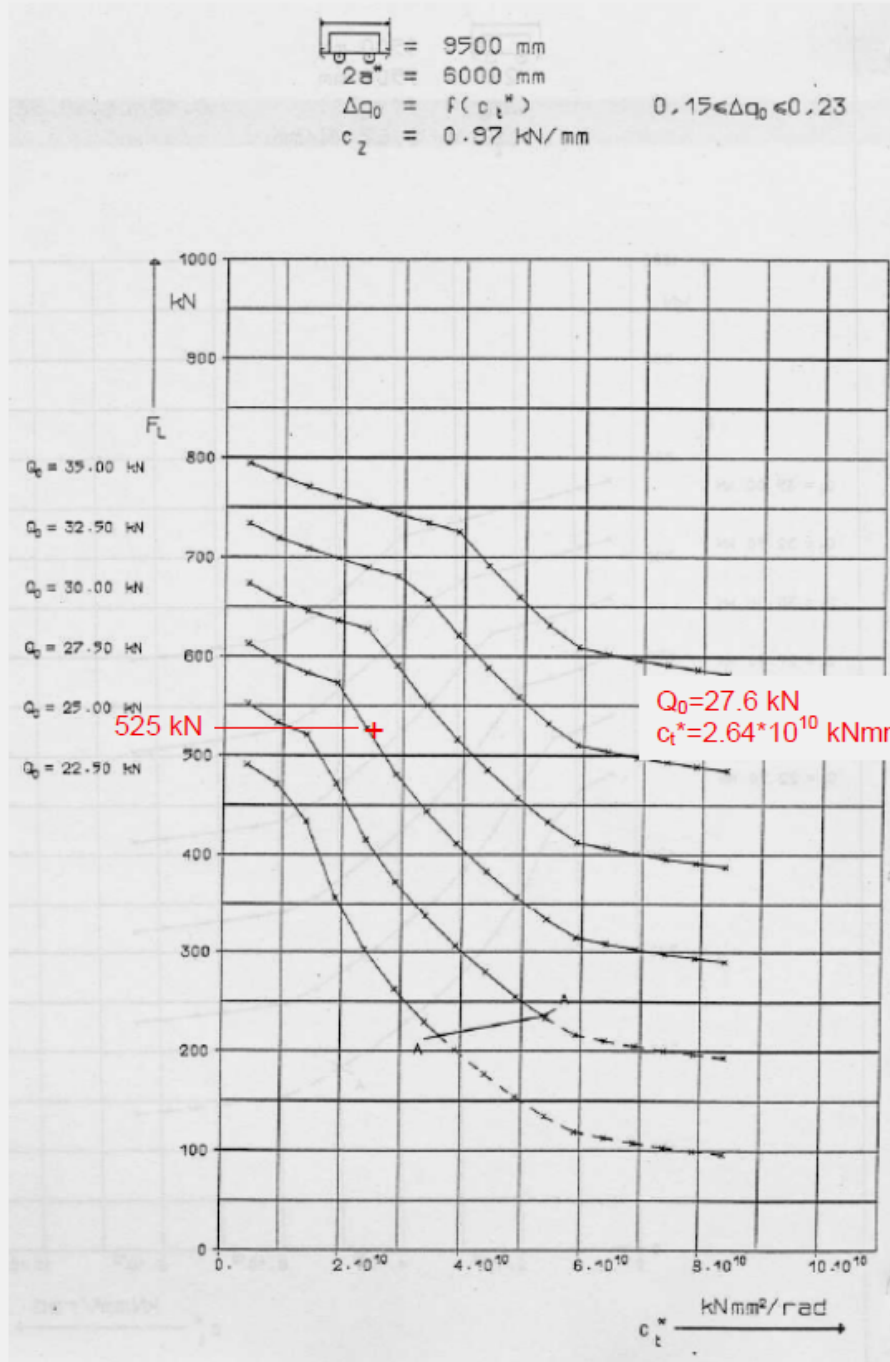
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
ak.machinek@gmx.at
5.7.2010

Anhang

Ermittlung von F_L Diagramme aus UIC 530-2 [2A]

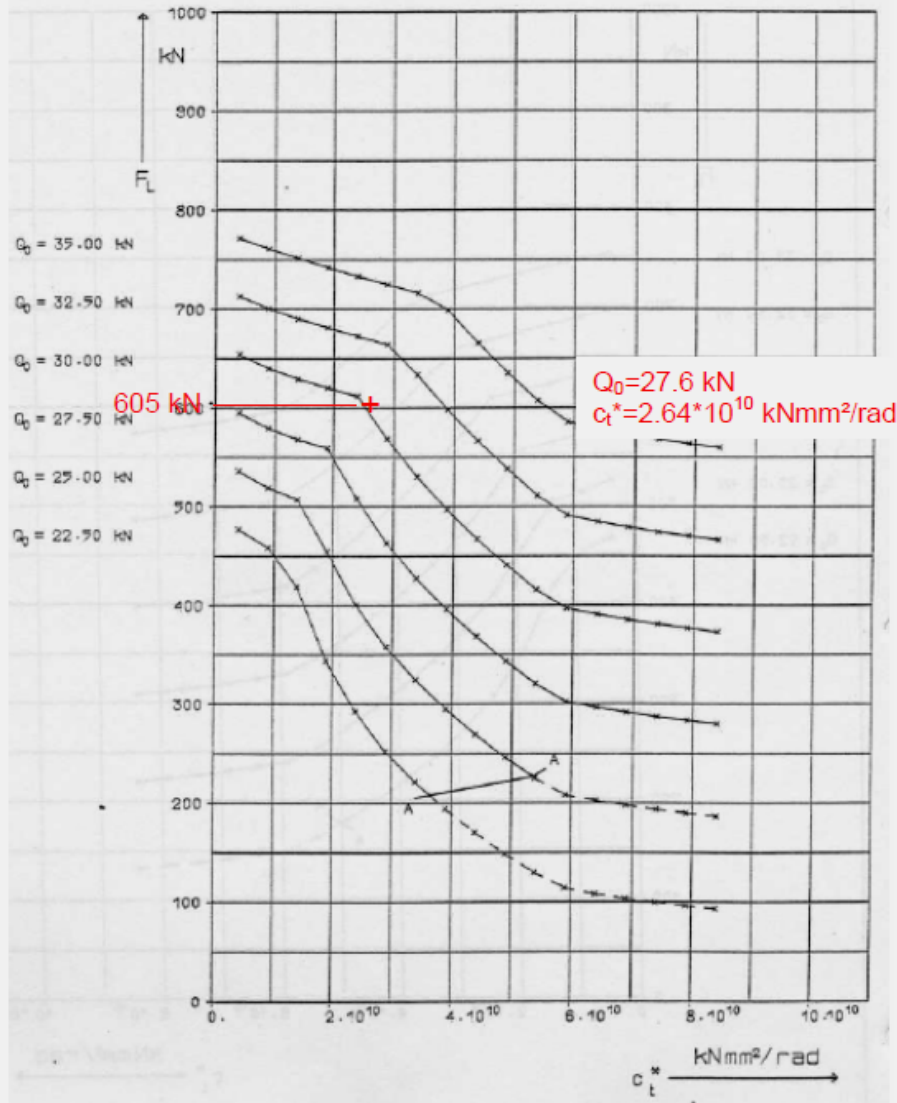
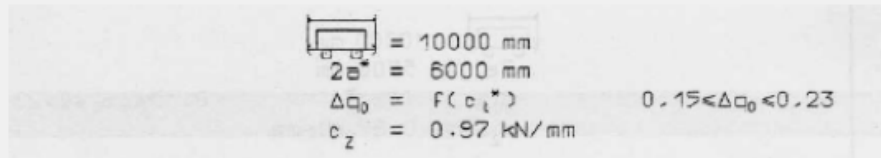
Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
 Zivilingenieur für Maschinenbau
 1130 Wien, Gallgasse 25/4

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
 ak.machinek@gmx.at
 Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
 5.7.2010



Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
 Zivilingenieur für Maschinenbau
 1130 Wien, Gallgasse 25/4

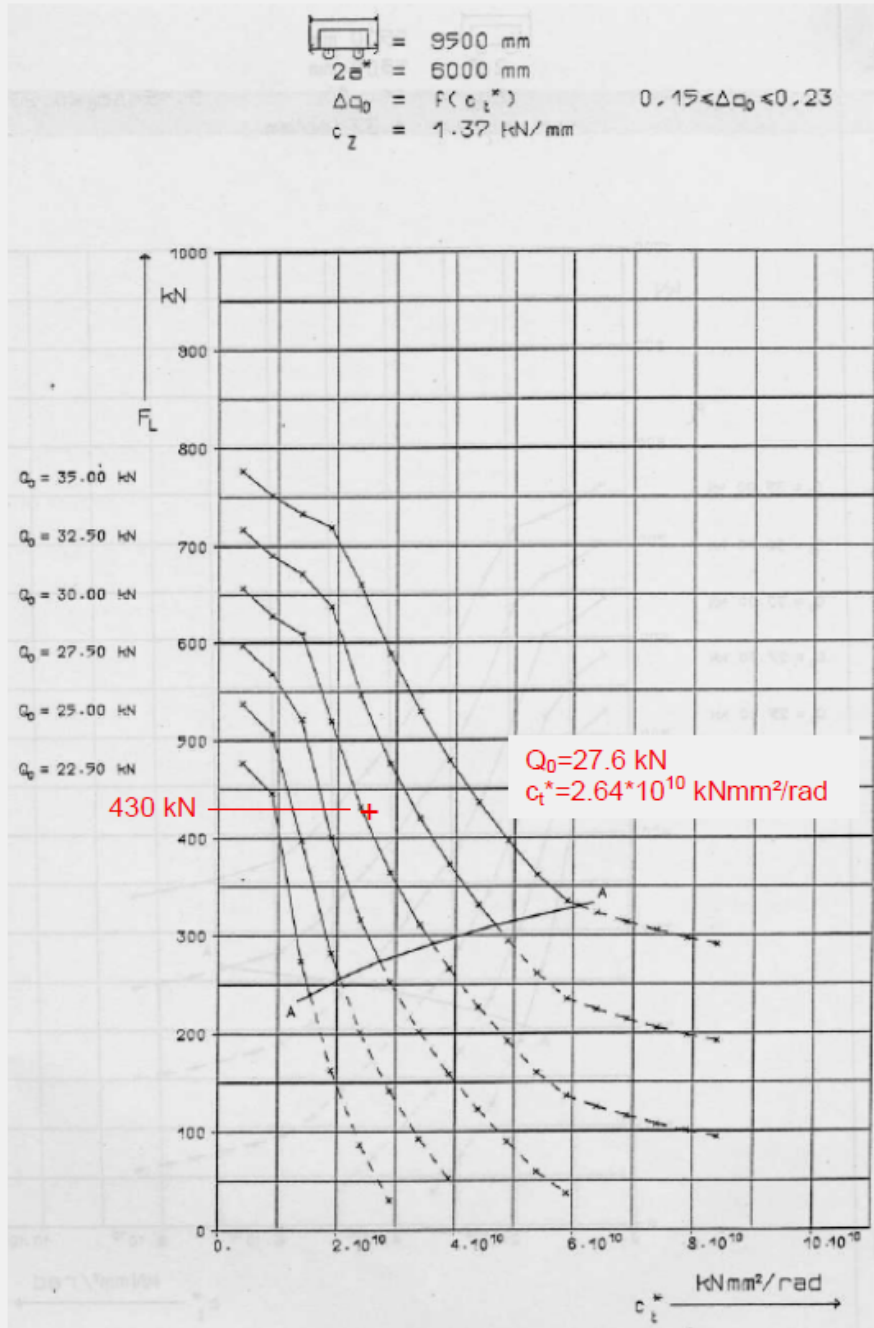
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
 ak.machinek@gmx.at
 Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0
 5.7.2010



Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
 Zivilingenieur für Maschinenbau
 1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

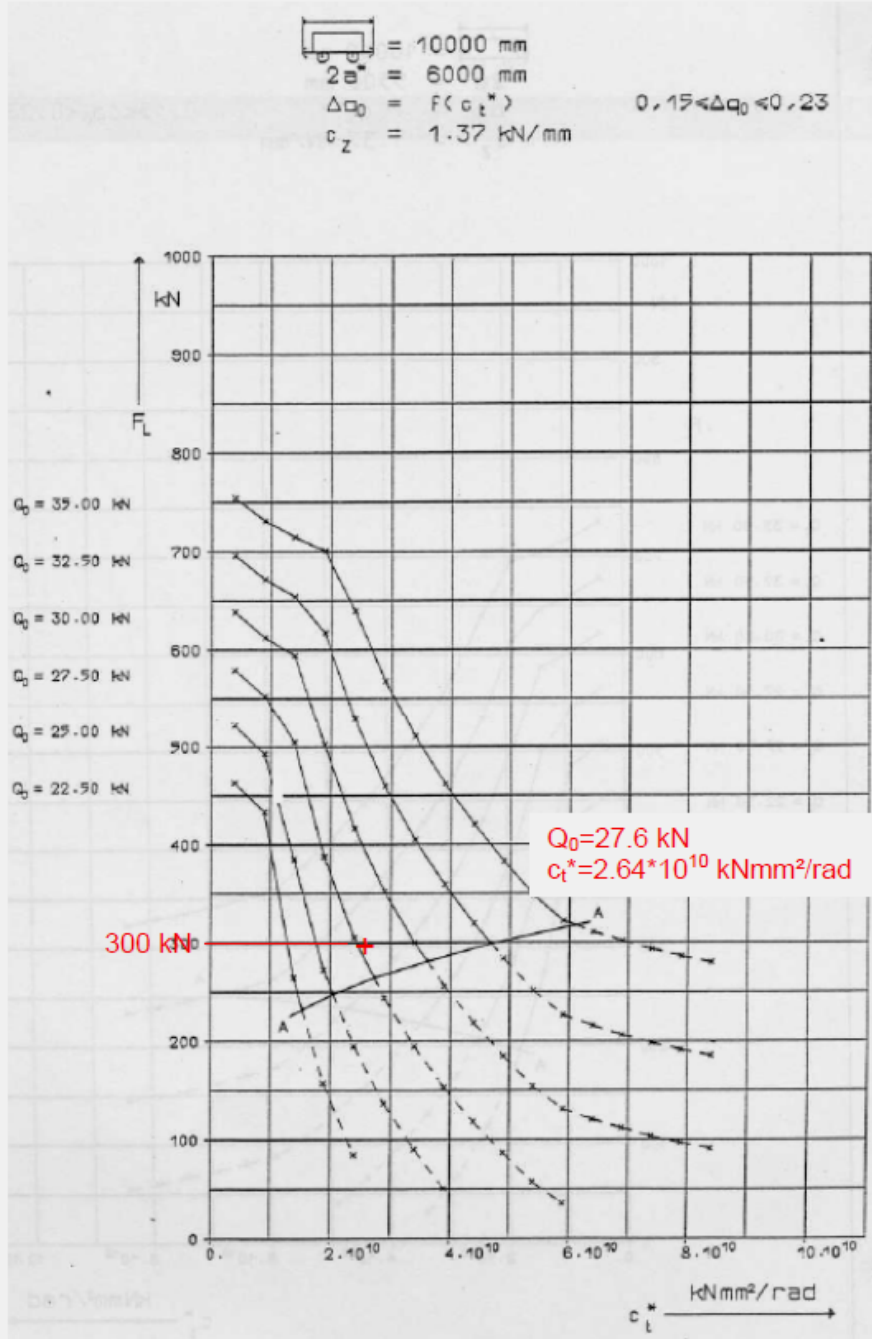
Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
 ak.machinek@gmx.at
 5.7.2010



Dipl.-Ing. Dr. techn. A. Kurt Machinek
 Zivilingenieur für Maschinenbau
 1130 Wien, Gallgasse 25/4

Gutachten 2010-ÖBB-01 Rev.0

Tel. und Fax ++43 (0)1 802 85 69
 ak.machinek@gmx.at
 5.7.2010



Beilage fristgerecht eingelangte Stellungnahmen

Litera Stellungnahme des IM / RU eingelangt am 16. November 2010:

- a) **Wir nehmen den Untersuchungsbericht grundsätzlich zur Kenntnis. Wir möchten allerdings anmerken, dass wegen einer größeren Baustelle im Bf. Neumarkt-K. am Tag vor der Entgleisung und am Tag der Entgleisung insgesamt 67 Wagen gleicher Bauart in diesem Streckenabschnitt problemlos transportiert wurden. Ein Mangel an dem entgleisten Wagen kann daher aus unserer Sicht nicht ausgeschlossen werden. Durch die Verschrottung wurde allerdings eine genauere Untersuchung unmöglich gemacht.**

und deren Berücksichtigung

Die Sicherheitsempfehlungen sind im Punkt 12 mit einer fortlaufenden Jahresnummer enthalten.

Litera	Anmerkung
a)	Bezüglich des verschrotteten Fahrzeuges wurden keine Daten vorgelegt, die einen Hinweis auf einen nicht ordnungsgemäßen Zustand nachweisen. Der Nachweis der Verwindesteifigkeit an einem baugleichen Fahrzeug ist zulässig, da die gemessene Verwindesteifigkeit ($c_t^* = 1,14 \times 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$) kleiner als die zulässige Grenzverwindung ($c_{t,zul}^* = 2,84 \times 10^{10} \text{ kNmm}^2/\text{rad}$) ist.