



*Verkehrssicherheitsarbeit
für Österreich*

ENTGLEISUNGEN VON GÜTERWAGEN IN ÖSTERREICH

**Zusammenhang zwischen Fahrzeug-
prüfverwindung und den Gleispara-
meter (Verwindungen, Überhöhung und
Bogenhalbmesser); 2. Ausgabe**

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>

BMVIT-795.136-II/BAV/UUB/SCH/2010

BUNDESANSTALT FÜR VERKEHR
Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
Fachbereich Schiene
Weiterführende Untersuchung mit
Sicherheitsempfehlung

Inhalt

Seite

Verzeichnis der Abbildungen	2
Angewendete Regelwerke:	2
Verzeichnis der Abkürzungen	3
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	3
1. Allgemeines	4
2. Analyse der Regelwerke Fahrzeuge	4
2.1. TSI Güterwagen	5
2.2. EN 14363	5
2.3. UIC 530-2	6
2.4. ORE B55/RP8	6
3. Analyse der Regelwerke Infrastruktur	8
3.1. TSI HG Infrastruktur	8
3.2. EN 14363	9
3.3. EN 13803-1	9
3.4. ÖBB DV B 50-2	10
3.5. ZOV 54	11
3.6. ORE B55/RP8	11
3.7. ÖBB DB IS 2	13
4. Fahrdynamische Grundlagen	13
5. Analyse von Entgleisungen	15
6. Zusätzliche sicherheitsfördernde Maßnahmen	16
7. Zusammenfassung	17
8. Sicherheitsempfehlungen	18

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Gleisverwindung laut TSI HG Infrastruktur 2008/217/EG, Punkt 4.2.10.4.1	8
Abbildung 2 EN 13803-1 Überhöhungsrampe	10
Abbildung 3 Tabelle Verwindungen nach ZOV 54	11
Abbildung 4 ORE B55/RP8 - Figur 7	12
Abbildung 5 Tabelle Verwindung nach ÖBB DB IS 2	13
Abbildung 6 Kräfte am Spurkranz gemäß EN 14363 – Bild A.1	13
Abbildung 7 Gleichung nach Nadal gemäß EN 14363	14
Abbildung 8 Zusammenhang Y/Q Reibungskoeffizient μ gemäß EN 14363 – Bild A.2	14
Abbildung 9 Analyse von Entgleisungen	15

Angewendete Regelwerke:

TSI Güterwagen	Teilsystem: „Fahrzeuge Teilbereich: Güterwagen“ 2006/861/EG und 2006/920/EG geändert mit 2009/107/EG
TSI HG Infrastruktur	Teilsysteme „Infrastruktur“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems 2002/732/EG und 2008/217/EG
EN 14363	Bahnanwendungen – Fahrzeugtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen – Prüfung des Fahrverhaltens und stationäre Versuche
Merkblatt UIC 530-2	Güterwagen - Fahrsicherheit
Bericht ORE B55/RP8	Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen vom April 1983
EN 13803-1	Bahnanwendungen - Oberbau - Linienführung in Gleisen - Spurweiten 1435 mm und größer – Durchgehendes Hauptgleis
ÖBB DV B 50-2	Oberbau - Technische Grundsätze – Teil 2 Linienführung von Gleisen
ÖBB-ZOV 54	Abnahme von Oberbauarbeiten
ÖBB DB IS 2-1	Instandhaltungsplan Oberbauanlagen

Verzeichnis der Abkürzungen

Bf	Bahnhof
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DV	Dienstvorschrift
DB	Dienstbehelf
EN	Europäische Norm
ERA	European Rail Agency
HG	Hochgeschwindigkeit
IM	Infrastructure Manager (Infrastruktur Betreiber)
NSB	National Safety Authority (Eisenbahnsicherheitsbehörde)
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
ÖNORM	Österreichisches Normungsinstitut
ORE	Forschungs- und Versuchsamt der UIC
RIV	ÜBEREINKOMMEN über den Austausch und Benutzung von Güterwagen zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität
UUB	Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
VzG	Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten
Z	Zug
ZOV	Zusatzbestimmung zur Oberbauvorschrift

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

°	Index für Werte Gleis
+	Index für Werte Drehgestell
*	Index für Werte Fahrzeugkasten
2a ⁺	Achsstand im Drehgestell
2a*	Achsstand, Drehgestellmittenabstand des Güterwagens
a _q	unausgeglichene Seitenbeschleunigung
g	Verwindung
g*	Fahrzeugprüfverwindung
r	Radius, Bogenhalbmesser
D, u	Überhöhung
lim	Limes (Grenzwert)
zul	zulässig

Definitionen

Gemäß TSI HG Infrastruktur 2008/217/EG, Punkt 4.2.7 ist die Überhöhung des Gleises die maximale Höhendifferenz zwischen Außen- und Innenschiene, gemessen in der Mitte der Schienenkopfoberfläche (in mm). Bei Messung in mm hängt der Wert von der Spurweite ab, bei Messung in Grad ist er von der Spurweite unabhängig.

Gemäß Merkblatt UIC 530-2, Glossar, ist eine Gleisverwindung als Konstruktionsmerkmal in Übergangsbögen aus überhöhten Gleisbögen vorhanden. Die durch Höhenfehler hervorgerufenen Abweichungen von der geometrischen Solllage des Fahrweges verursachen ebenfalls Gleisverwindungen. Diese Unterschiede der gegenseitigen Höhenlage der Schienen bewirken die Torsion eines Fahrzeuges und leiten Änderungen in der Verteilung der Radkräfte ein.

Anmerkung UUB: Die Torsionssteifigkeit eines Fahrzeuges muss die Fahrzeugprüfverwindung einhalten.

1. Allgemeines

Seit 16. August 2008 haben sich am Netz der ÖBB Entgleisungen von Güterwagen ereignet, deren unmittelbare Ursache nicht immer sofort eindeutig war:

- Z 94435 am 16. August 2008 im Bf Neulengbach
- Z 40667 am 6. September 2008 im Bf Rosenbach
- Z 41186 am 8. April 2009 zwischen Leithabrücke und Bf Ebenfurth
- Z 48286 am 25. Juli 2009 zwischen Villach Hbf und Bf Förderlach
- Z 49581 am 1. September 2009 im Bf Ebenfurth
- Z 47022 am 19. September 2009 zwischen Bf Semmering und Bf Breitenstein
- Z 54599 am 25. September 2009 im Bf Villach Westbf

Weiter zurück liegende Entgleisungen wurden nicht betrachtet

Die zuvor genannten Entgleisungen sind durchwegs bei trockenem Schienenzustand erfolgt.

Unabhängig von der Unfallkausalität der vorgenannten Entgleisungen hat die UUB die regulativen und technischen Zusammenhänge analysiert (Fahrzeugprüfverwindung und Gleisparametern wie Gleisverwindung, Überhöhung und Bogenhalbmesser) und die Ergebnisse mit Schreiben GZ. BMVIT-795.136/0002-II/BAV/UUB/SCH/2009 vom 23. Oktober 2009 dem BMVIT zur Prüfung übermittelt.

Grundsätzlich wurde festgestellt, dass die Fahrzeugprüfverwindung gemäß TSI Fahrzeuge Güterwagen geringer ist als die zulässige Gleisverwindung gemäß TSI HG Infrastruktur und weiterer Normen. Fahrzeuge und Infrastruktur halten ihre derzeit geltenden Regelwerke ein. Die weitestgehenden Untersuchungen zu diesem Thema wurde durch die Arbeitsgruppe ORE – B55 durchgeführt und mit dem Bericht OR B55/RP8 im April 1983 abgeschlossen.

Die Erkenntnisse dieser Analyse werden den Infrastrukturbetreibern und Behörden als Sicherheitsempfehlungen übermittelt. Davon betroffen sind Haupt- und Nebenbahnen, Nebenanlagen (Traktionsstandorte, und Werkstätten) sowie Anschlussbahnen.

2. Analyse der Regelwerke Fahrzeuge

Der Einsatz von Güterwagen erfolgt nach den technischen und betrieblichen Regelwerken:

- RIV
- TEN
- TEN-RIV
- andere Güterwagen (gemäß Vereinbarung)

2.1. TSI Güterwagen

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

für die Längsbasis $1,3 \text{ m} \leq 2a^*$

— $g_{lim} = 7 \text{ ‰}$ für $2a^+ < 4 \text{ m}$

— $g_{lim} = 20/2a^+ + 2$ für $2a^+ > 4 \text{ m}$

— $g_{lim} = 20/2a^{*+} + 2$ für $2a^* < 20 \text{ m}$

— $g_{lim} = 3 \text{ ‰}$ für $2a^* > 20 \text{ m}$

Die Längsbasis $2a^*$ bezieht sich auf den Radsatzabstand bei zweiachsigen Wagen bzw. auf den Drehzapfenabstand bei Drehgestellgüterwagen. Die Längsbasis $2a^+$ stellt den Radsatzabstand innerhalb eines Drehgestells dar.

Gemäß Punkt 6.2.3.2.1.4. sind Güterwagen von den in Abschnitt 4.2.3.4.2.1 genannten stationären Prüfungen ausgenommen, wenn sie die Anforderungen des UIC-Merkblattes 530-2 (Mai 2006) erfüllen (Änderung 2009/107/EG).

Anmerkung UUB: Es gilt somit das UIC-Merkblatt 530-2 und der Bestandsschutz. Ältere Güterwagen erfüllen die Bestimmungen des ORE B55/RP8 – darin wird die einzuhaltende Fahrzeugprüfverwindung mit $g^* = 15/2a^* + 2$ festgelegt. Der in der gegenständlichen TSI genannte Grenzwert ist größer als im zuvor genannten ORE Bericht.

2.2. EN 14363

Die EN 14363 hat mit Oktober 2005 Gültigkeit erlangt. Sehr viele, heute verkehrende Güterwagen für Normalspurweite wurden vor diesem Zeitpunkt gemäß den Bestimmungen des Merkblattes UIC 530-2 bzw. Berichtes ORE B55/RP8 zugelassen.

Gemäß Punkt 4.1.2.2.3 sind die Fahrzeugprüfverwindungen folgendermaßen definiert:

Drehgestellprüfverwindung (Anmerkung UUB: in ‰):

$g_{lim}^+ = 7$ für $2a^+ \leq 4 \text{ m}$ Radsatzabstand im Drehgestell

$g_{lim}^+ = (20 / 2a^+) + 2,0$ für $2a^+ > 4 \text{ m}$ Radsatzabstand im Drehgestell

Fahrzeugkastenprüfverwindung (Anmerkung UUB: in ‰):

$g_{lim}^* = 7$ für $2a^* < 4 \text{ m}$

$g_{lim}^* = (20 / 2a^*) + 2,0$ für $4 \text{ m} < 2a^* \leq 20 \text{ m}$

$g_{lim}^* = 3$ für $20 \text{ m} < 2a^* \leq 30 \text{ m}$

$g_{lim}^* = 90 / 2a^*$ für $2a^* > 30 \text{ m}$

2.3. UIC 530-2

Gemäß Merkblatt **UIC 530-2**, 2.1 – **Grundlegende Bedingungen** für Güterwagen unabhängig von der Art ihrer Kupplung, Punkt 2.1.3, müssen zur Beurteilung der Sicherheit gegen Entgleisung beim Befahren von Gleisverwindungen bei Neubaugüterwagen, der die konstruktiven Merkmale des Wagens kennzeichnende Punkt in den Diagrammen der Anlagen A, B und C oberhalb der Linie A-A (Grenzkurve für das Befahren von Gleisverwindungen) im zulässigen Bereich liegen. Wenn die Linie A-A im Diagramm nicht eingetragen ist (sind), gibt es keine Begrenzung der Verwindungssteifigkeit c_t^* . Für Güterwagen, die mit den konstruktiven Merkmalen der Anlagen A, B und C nicht übereinstimmen, muss die Sicherheit gegen Entgleisung beim Befahren von Gleisverwindungen gemäß des im Bericht B55/RP8 dargelegten Berechnungs- und Prüfverfahrens beurteilt werden.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die Anwendung der Diagramme der Anlagen A, B und C des Merkblatts UIC 530-2 eine Vereinfachung des Nachweises der Sicherheit gegen Entgleisung beim Befahren von Gleisverwindungen darstellt; ansonst ist dieser Nachweis gemäß Bericht ORE B55/RP8 zu erbringen.

2.4. 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].

Siehe auch Punkt 3.6

Gemäß ORE B55/RP8 darf die vom Güterwagen ertragbare Verwindung (Torsionshärte, Prüfverwindung) kleiner sein als die Gleisverwindung der zu befahrenden Strecke wenn nicht mehrere ungünstige Einflüsse zusammentreffen (Auftreten von Radkraftänderungen aus großen Gleisüberhöhungen und -verwindungen in Gleisbögen mit engen Gleisbogenhalbmessern, wenn sie mit geringer Geschwindigkeit befahren werden oder durch außermittige Beladung).

Der Modellvorstellung liegt eine statistische Aussagewahrscheinlichkeit von $P = 95 \%$ bei beidseitiger Abgrenzung zugehöriger Verteilungen zugrunde, die bei der Lösung von technischen Problemen allgemein angewendet wird. Hieraus resultiert eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $a = 5 \%$. Wegen dieser modellbedingten Unsicherheit ist auch im vollständig bedingungsgemäßen Systemzustand Fahrweg/Fahrzeug eine Resthäufigkeit von Verwindungsentgleisungen zu erwarten. Nach umfangreichen Erfolgskontrollen zum Nachweis der Übereinstimmung zwischen Modell Vorstellung und tatsächlicher Häufigkeit von Verwindungsentgleisungen erscheint die gewählte Aussagewahrscheinlichkeit als ausreichend.

Als zusätzliche die Sicherheit fördernde Maßnahmen werden im ORE B55/RP8 das Anbringen von Leitschienen oder Schienenschmiereinrichtungen genannt.

3. Analyse der Regelwerke Infrastruktur

3.1. TSI HG Infrastruktur 2008/217/EG

Diese TSI ist auf jene Strecken anzuwenden, die auf der Homepage des BMVIT <http://www.bmvit.gv.at/verkehr/eisenbahn/interoperabilitaet/arbeitsgruppe/20040623/beilage2.pdf> als Hochgeschwindigkeitsstrecken ausgewiesen sind.

Gleisverwindung — Einzelfehler — Nullwert/Spitzenwert (Punkt 4.2.10.4.1):

Die Gleisverwindung ist definiert als die Differenz zwischen zwei in einem festgelegten Abstand ermittelten gegenseitigen Höhenlagen und wird in der Regel als Neigung zwischen den beiden Stellen angegeben, an denen die gegenseitigen Höhenlagen gemessen werden.

Für die Regelspurweite beträgt der Abstand zwischen den Messstellen 1 500 mm.

Der Grenzwert für die Gleisverwindung ist eine Funktion der angewandten Messbasis (l) nach der folgenden Formel:

$$\text{Verwindungsgrenzwert} = (20/l + 3)$$

— wobei *l* die Messbasis (in m) ist und $1,3 \text{ m} \leq l \leq 20 \text{ m}$

— und die folgenden Höchstwerte gelten:

— 7 mm/m für Strecken, die für Geschwindigkeiten $\leq 200 \text{ km/h}$ ausgelegt sind

— 5 mm/m für Strecken, die für Geschwindigkeiten $> 200 \text{ km/h}$ ausgelegt sind.

Der Infrastrukturbetreiber muss im Instandhaltungsplan die Länge der Messbasis angeben, die zur Ermittlung der Gleisverwindung verwendet wird, damit die Erfüllung dieser Anforderung geprüft werden kann. Die Auswertung der Messdaten muss eine Basis von 3 m beinhalten.

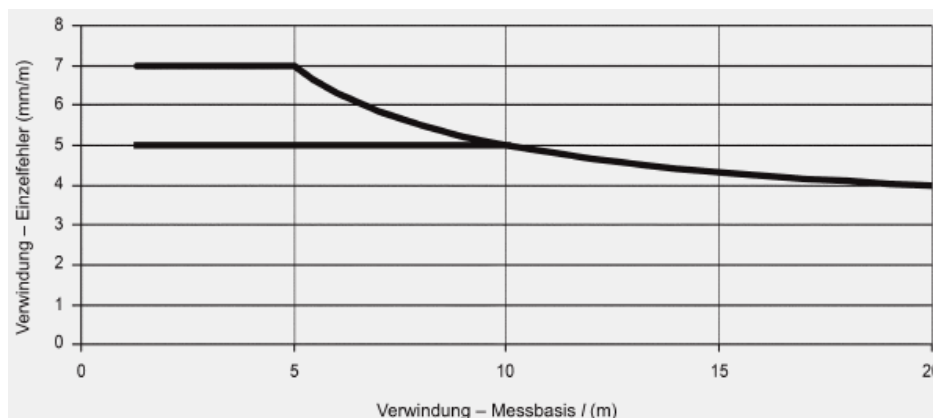


Abbildung 1 Gleisverwindung laut TSI HG Infrastruktur 2008/217/EG, Punkt 4.2.10.4.1

Gemäß Punkt 4.2.7 gilt: Für Strecken der Kategorie I, II und III darf *bei der Planung neuer Hochgeschwindigkeitsstrecken die Überhöhung 180 mm nicht überschreiten. Bei in Betrieb befindlichen Gleisen ist eine Instandhaltungstoleranz von ± 20 mm zulässig, wobei allerdings eine maximale Überhöhung von 190 mm nicht überschritten werden darf; dieser Wert kann auf maximal 200 mm erhöht werden, wenn es sich um Gleise ausschließlich für Personenverkehr handelt.*

Eine Begrenzung der Überhöhung in Abhängigkeit vom Bogenhalbmesser gemäß ORE B55/RP8 wird nicht berücksichtigt.

3.2. EN 14363

Gemäß Punkt 4.1.2.2.2 dieser EN *berücksichtigt die Gleisgrenzverwindung die Verwindung aus der Trassierung und dem maximal zulässigen Fehler der gegenseitigen Höhenlage (Instandhaltungsgrenze) und beträgt bei den europäischen Eisenbahnen*

$$g_{\text{lim}} = \min(7,0; 20/2a + 3,0)$$

mit 2a als Längsbasis in m und g_{lim} in ‰. Der Geltungsbereich ist auf $2a \leq 20$ m begrenzt.

3.3. EN 13803-1

Gemäß Punkt 5.2.2 dieser EN *ist die Überhöhung D unter Berücksichtigung folgender Punkte zu wählen:*

- *eine große Überhöhung in Bögen mit kleinen Radien erhöht die Gefahr einer Entgleisung von Güterwagen bei geringer Geschwindigkeit. Dabei ist die auf die äußere Schiene wirkende senkrechte Radkraft wesentlich verringert, insbesondere wenn eine zusätzliche Radentlastung durch Gleisverwindungen auftritt (Näheres hierzu siehe [ORE B 55/ Rp 8]);*
- *Überhöhungen von mehr als 160 mm können zu Ladungsverschiebungen und Einschränkung des Reisekomforts führen, wenn Züge außerplanmäßig in einem Bereich mit großer Überhöhung halten. Darüber hinaus kann bei zu großer Überhöhung die Stabilität von Arbeitsfahrzeugen und außergewöhnlichen Ladungen mit hohem Schwerpunkt gefährdet werden;*
- *eine große Überhöhung vergrößert den Überhöhungsüberschuss in Bögen mit großem Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten der schnellen und der langsameren Züge.*

Um die Gefahr des Entgleisens von verwindungssteifen Güterwagen in Bogen mit kleineren Radien zu vermeiden, sollte die Überhöhung auf folgenden Wert begrenzt werden (siehe hierzu ORE B 55/Rp 5 und 8):

$$D_{lim} = (R - 50) / 1,5 \quad [mm]$$

Anmerkung der UUB: Diese einzuhaltende Überhöhung entspricht der gemäß ORE B55/RP8 genannte Grenzüberhöhung zu $u_2 = (r - 50) / 1,5$ und befindet sich demnach bereits im ORE B55/RP8 - Bereich 2, hier sind eingeschränkte Verwindungsgrenzwerte erforderlich! (siehe Punkt 3.6)

Punkt 5.2.5.1 legt für Züge herkömmlicher Bauart die Änderung der Überhöhung in der Zeit dD/dt fest.

Für Überhöhungsrampen mit gleichbleibender Rampenneigung und einer Änderung der Überhöhung um den Betrag ΔD gilt folgende Beziehung:

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D \cdot V_{max}}{3,6 \cdot L} \leq \left(\frac{dD}{dt} \right)_{lim} \quad [mm/s]$$

Abbildung 2 EN 13803-1 Überhöhungsrampe

Dabei ist L die Länge der Überhöhungsrampe [m]

Die Wahrscheinlichkeit einer Verwindungsentgleisung wird gemäß ORE B55/RP8 erhöht, wenn bei niedriger Fahrgeschwindigkeit die Kräfte quasistatischen Bedingungen unterliegen. (siehe Punkt 3.6)

Der Anhang I (informativ) enthält eine Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse des ORE Ausschusses B 55 — Größte zulässige Überhöhung.

3.4. ÖBB DV B 50-2

Die größte zulässige Verwindung beträgt nach Streckenrang und Anwendungsfall zwischen 1,25 mm/m und 3,33 mm/m.

Für ein Fahrzeug mit $2a^* = 20$ m können die Gleisgrenzverwindungen gemäß ORE B55/RP8 überschritten werden!

Eine Begrenzung der zulässigen Überhöhung abhängig vom Bogenhalbmesser gemäß ORE B55/RP8 wird nicht berücksichtigt. (siehe Punkt 3.6)

3.5. ZOV 54

Die Messungen auf 5 m Basis (maschinelle Messung, keine direkte Messung von Hand aus) in Abhängigkeit von der zulässigen Geschwindigkeit:

Geschwindigkeit lt. VzG [km/h]	> 120	80 bis 120	< 80
Verwindung [mm]	3,0	4,0	5,0

Abbildung 3 Tabelle Verwindungen nach ZOV 54

Diese Messungen erfolgen unter der Last des Prüffahrzeuges. Diese ist bedeutend geringer als die Raddruckkräfte eines beladenen Güterwagens.

Die Grenzwerte berücksichtigen keinen Einfluss der Raddruckkräfte.

Eine Begrenzung der zulässigen Überhöhung, abhängig vom Bogenhalbmesser gemäß ORE B55/RP8 wird nicht berücksichtigt. (siehe Punkt 3.6)

3.6. ORE B55/RP8

In ORE B55/RP8 - Figur 7 (Grafik siehe nächste Seite) wird die vom Fahrzeug ertragbare Gleisverwindung (g_n°) in Abhängigkeit von der zulässigen Gleisüberhöhung (u_n) dargestellt:

Bei gleichbleibender Fahrzeugprüfverwindung gemäß Bericht ORE B55/RP8 - Figur 6 ($g^* = 15/2a^* + 2$; $4,5 \text{ m} \leq 2a^* \leq 20 \text{ m}$) gilt für die einzelnen Bereiche (siehe Figur 7):

Bereich 1: Gleisgrenzverwindung wie heute in TSI HG Infrastruktur festgelegt, es wird jedoch die zulässige Überhöhung in Abhängigkeit vom Bogenhalbmesser begrenzt.
 $\lim g_1^\circ = (20/2a^*) + 3 \leq 7 \text{ ‰}$
 da zul $u_1 \leq (r - 100) / 2$

Bereich 2: **eingeschränkte Gleisgrenzverwindung bei 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 zul $u_2 > u > \text{zul } u_1$; $\text{zul } u_2 = (r - 50) / 1,5$

Bereich 3: **eingeschränkte Gleisgrenzverwindung bei 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 $u \geq \text{zul } u_2$

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

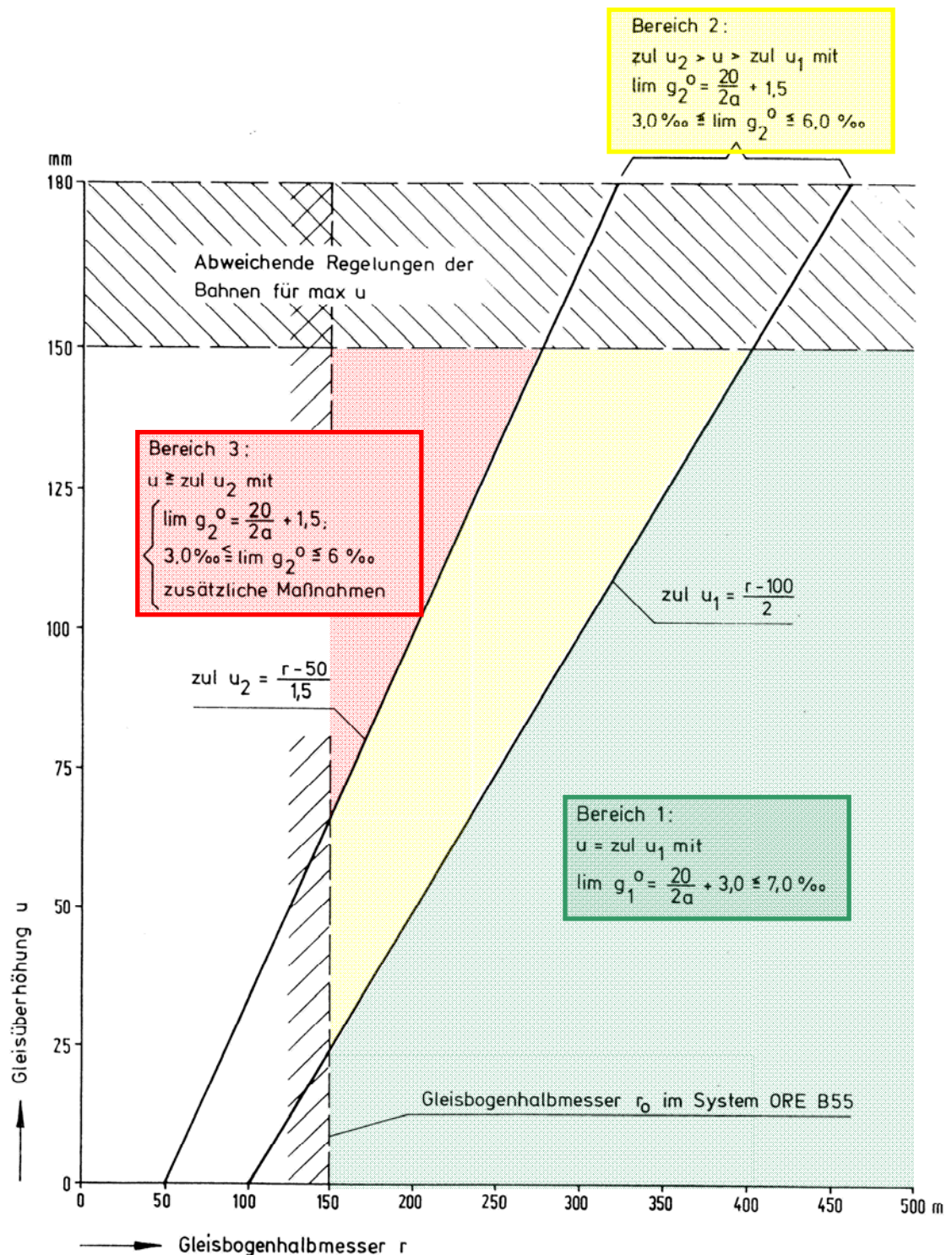


Abbildung 4 ORE B55/ RP8 - Figur 7

Als zusätzliche die 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.

3.7. ÖBB DB IS 2

Für die Soforteingriffsschwellen (SES) von der Null-Linie zum Spitzenwert sind für die Verwindung bei maschineller Messung folgende Grenzwerte einzuhalten:

v_{\max} [km/h]	3 m Verwindung [mm/m]	9 m Verwindung [mm/m]	16 m Verwindung [mm/m]
≤ 160	6,0	4,0	2,5
> 160	5,0	3,6	2,2

Abbildung 5 Tabelle Verwindung nach ÖBB DB IS 2

Für die 9 m Verwindung mit $v < 160$ km/h (4,0 mm/m) beträgt gemäß ORE B55/RP8 – Bereich 2 die zulässige Gleisverwindung bei großer Überhöhung 3,72 mm/m (siehe Punkt 3.6).

Eine Begrenzung der zulässigen Überhöhung, abhängig vom Bogenhalbmesser gemäß ORE B55/RP8 – Figur 7 wird nicht berücksichtigt (siehe Punkt 3.5).

Eine Bezug zwischen Verwindung, Bogenhalbmesser und zulässigen Überhöhung ist nicht gegeben.

Für die 5-m-Verwindung ist, bei der Messung von Hand aus, die zulässige Überhöhung abhängig vom Bogenhalbmesser nicht berücksichtigt.

4. Fahrdynamische Grundlagen

Gemäß EN 14363, Bild A.1 wirken die Kräfte am Spurkranz bei beginnender Entgleisung folgendermaßen:

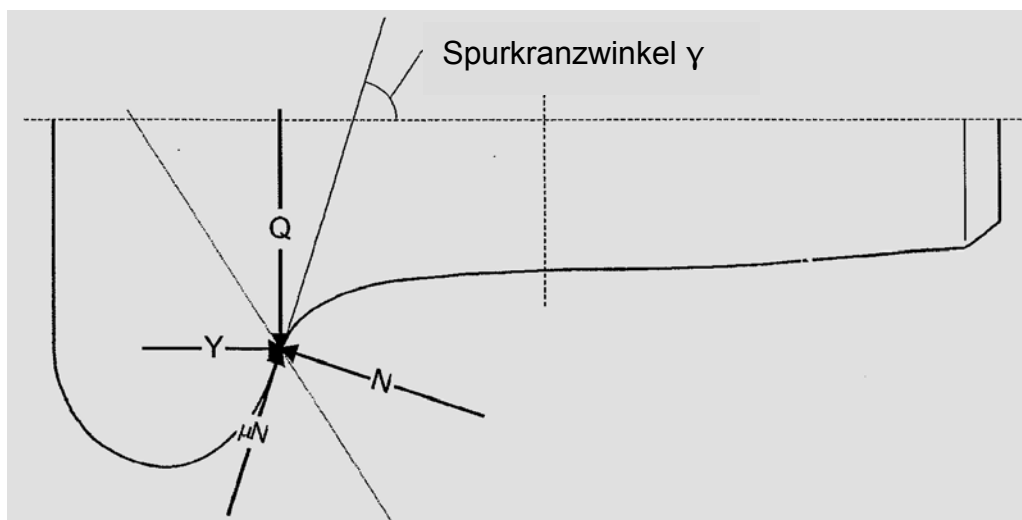


Abbildung 6 Kräfte am Spurkranz gemäß EN 14363 – Bild A.1

Eine laterale Kraft Y und eine vertikale Kraft Q wirken auf das Rad ein. Im Berührungspunkt wirken die Normalkraft N und die Reibkraft μN ein. Kräftegleichgewicht in Quer- und Vertikalrichtung ergibt die folgende Gleichungen:

$$Y = N \sin \gamma - \mu N \cos \gamma$$

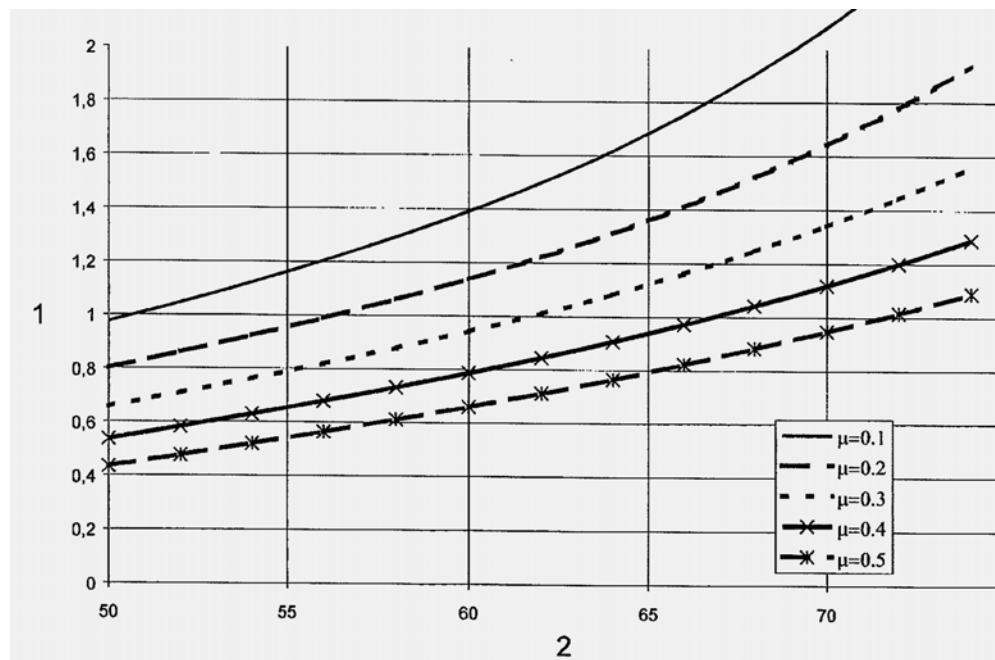
$$Q = N \cos \gamma + \mu N \sin \gamma$$

Daraus kann die Gleichung für (Y/Q) berechnet werden (nach Nadal):

$$\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - \mu}{1 + \mu \tan \gamma}$$

Abbildung 7 Gleichung nach Nadal gemäß EN 14363

Der Grenzwert (Y/Q) hängt vom Spurkranzwinkel γ und dem Reibungskoeffizienten am Spurkranz μ ab. Werte für übliche Bereiche von Spurkranzwinkel und Reibungskoeffizienten sind in EN 14363, Bild A.2 dargestellt:



Legende: 1 ... Grenzwert Y/Q , 2 ... Spurkranzwinkel γ [°]

Abbildung 8 Zusammenhang Y/Q Reibungskoeffizient μ gemäß EN 14363 – Bild A.2

Die vorstehende Grafik zeigt, dass der Reibungskoeffizienten am Spurkranz μ einen wesentlichen Einfluss auf den Grenzwert (Y/Q) hat.

Um den Reibungskoeffizienten niedrig zu halten können werden

- ortsfesten Anlagen für die Fahrkantenschmierung und
- Spurkranzschmieranlagen an Tzf

verwendet.

5. Analyse von Entgleisungen

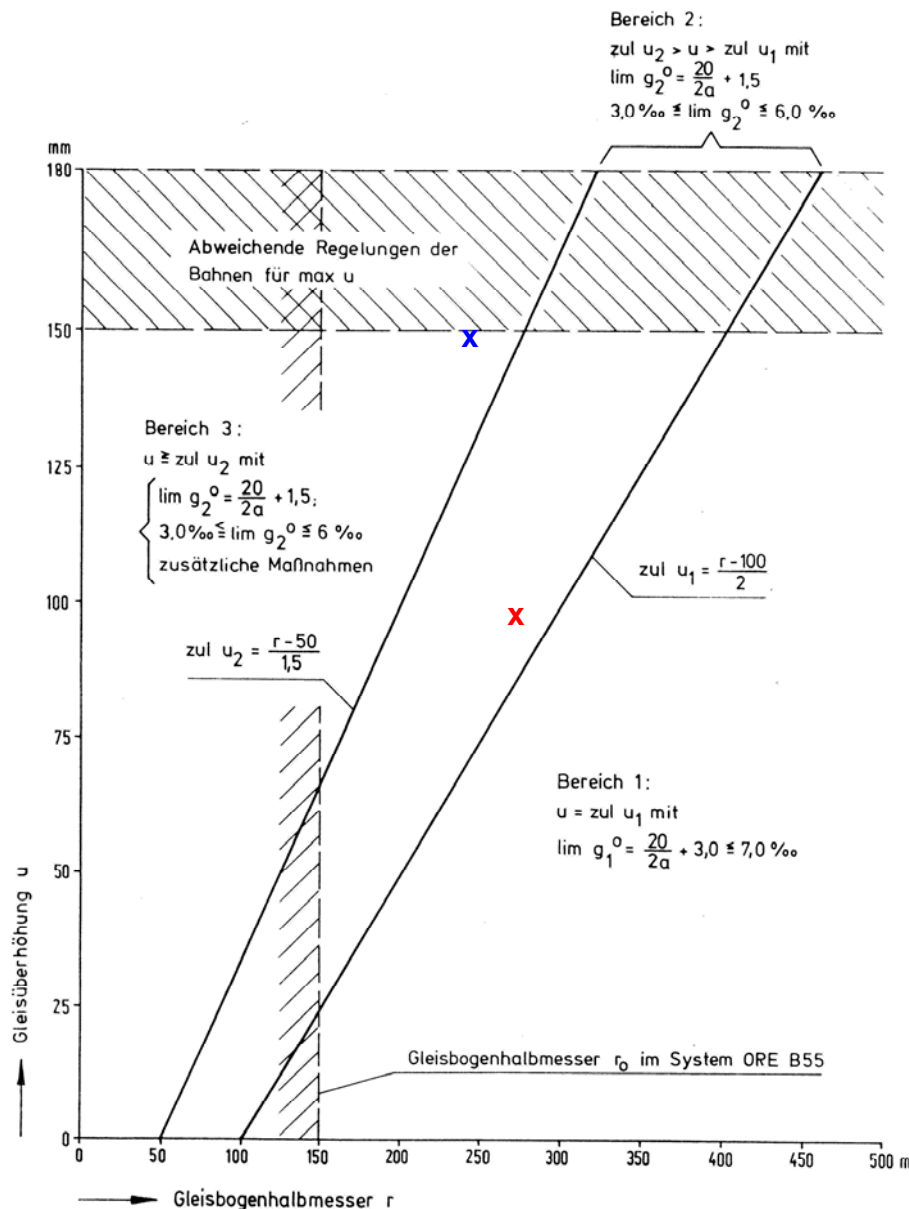


Abbildung 9 Analyse von Entgleisungen (Anwendung des ORE B55/RP8 – Figur 7)

- X** Entgleisung 2008-09-06 Bf Rosenbach, $r = 218,7$ m, $u = 150$ mm, $u_{\text{soll}} = 138$ mm
Daraus ergibt sich eine zulässige Gleisverwindung gemäß Bereich 3 mit erforderlichen zusätzlichen Maßnahmen. Weiter Einflüsse sind die Fahrgeschwindigkeit < 30 km/h infolge einer Langsamfahrstelle und die trockene Schienenfahrkante.
- X** Entgleisung 2009-04-08 Leithabrücke – Ebenfurth, $r = 265$ m, $u = 90$ mm, $u_{\text{soll}} = 62$ mm
Daraus ergibt sich eine zulässige Gleisverwindung gemäß Bereich 2. Weiter Einflüsse sind die Fahrgeschwindigkeit < 30 km/h (Bremsvorgang vor dem „HALT“ zeigenden Einfahrtsignal des Bf Ebenfurth) und die trockene Schienenfahrkante.

6. Zusätzliche sicherheitsfördernde Maßnahmen

Spurkranzschmieranlagen an modernen Tfz (Taurusflotte der ÖBB Traktion GmbH) arbeiten nach folgenden Grundsätzen:

- 0 - 20 km/h: keine Spurkranzschmierung
- $v > 20$ km/h: normale Spurkranzschmierung
- wenn v länger als 2 Minuten im Bereich 73 - 90 km/h: erhöhte Spurkranzschmierung (Modus Berg 2)
- wenn v länger als 3 Minuten im Bereich 30 - 72 km/h: stark erhöhte Spurkranzschmierung (Modus Berg 1)

Dies bewirkt, dass erst nach zwei bis drei Minuten nach Überschreiten des Schwellwertes der Geschwindigkeit die erhöhte, bzw. stark erhöhte Spurkranzschmierung wirksam ist (zwischenzeitlich werden 1500 m bis 3600 m zurückgelegt).

Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten in engen Bögen mit großer Überhöhung (Überhöhungsüberschuss) wird durch eine negative unausgeglichene Seitenbeschleunigung

$$a_q = v^2 / r - 9,81 \times u / 1500$$

ein Berühren des Spurkranzes an der Innenschiene des Bogens bewirkt. An der Außenschiene des Bogens wird dadurch kein Schmiermittel vom Spurkranz an die Fahrkante für die nachfolgenden Radsätze der Güterwagen übertragen.

Durch gezieltes Anbringen von ortsfesten Anlagen für die Fahrkantenschmierung konnten nach erfolgten Verwindungsentgleisungen (z.B. Bf Salzburg Gnigl, Bf Spittal-Millstättersee) solche Unfälle weiterhin vermieden werden.

Außerdem wurden die Begleitwagen der Rollenden Landstraße mit zusätzlichen Spurkranzschmiereinrichtungen ausgerüstet.

Bei Gleisneulage und bestimmten Gleisbearbeitungen (z. B. Schienenschleifen) bedarf es mehrerer Fahrten mit Tfz um einen ausreichenden Schmierfilm an der Fahrkante zu erzeugen.

Eine Reduktion der Fahrgeschwindigkeit in Bereichen mit Überhöhungsüberschuss fördert nicht die Sicherheit gegen Entgleisungen

7. Zusammenfassung

Viele europäische Güterwagen entsprechen bezüglich ihrer Prüfverwindung dem Merkblatt UIC 530-2 basierend auf ORE B55/RP8 – Figur 6 ($g^* = 15/2a^* + 2$) und den Bestimmungen der TSI Fahrzeuge Güterwagen und EN 14363 ($g_{\text{lim}} = 20/2a^* + 2$ für $2a^* < 20$ m) dazu muss seitens des Fahrweges die zulässige Gleisverwindung $\lim g_1^\circ = (20/2a^*) + 3 \leq 7$ im Zusammenhang mit der zulässigen Überhöhung $zul u_1 \leq (r - 100) / 2$ eingehalten werden.

Für ORE B55/RP8 – Figur 7, Bereich 2 gilt eine eingeschränkte Gleisgrenzverwindung $\lim g_2^\circ = (20/2a^*) + 1,5$; $3,0 \text{ ‰} \leq \lim g_2^\circ \leq 6,0 \text{ ‰}$ dazu muss die zulässige Gleisüberhöhung auf $zul u_2 \leq (r - 50) / 1,5$ begrenzt werden.

Für ORE B55/RP8 – Figur 7, Bereich 3 gelten dieselben Bestimmungen für Fahrzeugprüfverwindung. Für Gleisverwindung und Überhöhung gelten dieselben Grenzwerte wie im ORE B55/RP8 – Figur 7, Bereich 2; es sind jedoch zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Als zusätzliche Maßnahmen zur Förderung der Sicherheit gegen Entgleisungen werden Einrichtungen für die Schmierung der Schienen (Fahrkante) oder das Anbringen von Leitschienen genannt.

Die TSI HG Infrastruktur legen für HG-Strecken einen Grenzwert fest, der dem im Bereich 1 des ORE B55/RP 8 – Figur 7 genannten entspricht. Eine Begrenzung der Überhöhung in Abhängigkeit vom Bogenhalbmesser gemäß ORE B55/RP8 wird nicht berücksichtigt.

Die in der EN 13803-1 festgelegte zulässige Überhöhung $D_{\text{lim}} = (R - 50)/1,5$; [mm] ist bedeutend größer als die von ORE B55/RP8 – Figur 7, Bereich 1 genannte zulässige Überhöhung von $g_1^\circ = (r - 100) / 2$.

Dies bewirkt, dass Güterwagen, die europäische Regelwerken für Fahrzeuge einhalten auf Grund zu weitherzig ausgelegter Regelwerke der Infrastruktur entgleisen können. Zusätzlich bewirken langsame Fahrgeschwindigkeiten (z. B vor einem „HALT“ gebietenden Signal) und/oder außermittige Beladung (normativ noch entsprechend) den Auslöser für eine Verwindungsentgleisung.

Weiters können folgende Parameter die Entgleisungssicherheit ungünstig beeinflussen (Aufzählung nicht vollständig):

- Außermittige Beladung: Definition gemäß RIV, Beladetarif, Band 1 Grundsätze, Punkt 3.3 Lastverteilung
- Schmierzustand der Pufferteller

8. Sicherheitsempfehlungen

Gemäß EU Richtlinie 2004/49, 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.

Auf Grund der vorstehenden Erkenntnisse wird durch die Bundesanstalt für Verkehr, UUB folgende Sicherheitsempfehlung gemäß Unfalluntersuchungsgesetz, BGBl. I, 123, § 16, Absatz 2 ausgesprochen:

Nr.	Sicherheitsempfehlung	richtet sich an
1	Überprüfung, ob auf Strecken gemäß TSI HG Infrastruktur ohne Berücksichtigung des ORE B55/RP8 - Güterwagen gemäß TSI Fahrzeuge Güterwagen, bzw. RIV und Güterwagen gemäß Vereinbarung verkehren dürfen. Begründung: Nichtanwendung der Erkenntnisse gemäß ORE B55/RP8.	NSA, ERA
2	Überprüfung, ob Trassierungsregelwerke (z. B. ÖBB-DB 50-2) derart überarbeitet werden müssen, dass die Überhöhung abhängig vom Radius begrenzt wird. Begründung: Nichteinhalten der Erkenntnisse gemäß ORE B55/RP8.	IM
3	Überprüfung, ob es zielführend ist auf bestimmten Streckenabschnitten die derzeit vorhandene Überhöhung zu reduzieren (z. B. Semmeringstrecke). Begründung: Bei Einhaltung der Überhöhung gemäß ORE B55/RP8, Bereich 1, müssen die Grenzwerte für die Gleisverwindung nicht eingeschränkt werden.	IM
4	Überprüfung der Instandhaltungsregelwerke (z. B. ÖBB-DB IS 2) bezüglich der zulässigen Instandhaltungsparameter (ES und SES) auf die zulässige Gleisverwindung im Zusammenhang mit der Gleisüberhöhung. Begründung: Bei den angewendeten SES werden die Erkenntnisse des ORE B55/RP8 nicht eingehalten.	IM
5	Anbringen von ortsfesten Anlagen für die Fahrkantenschmierung insbesondere vor exponierten Streckenabschnitten (enge Bogenhalbmesser und große Überhöhungen sowie vor bestimmten Bahnhöfen mit besonderem Trassierungsparametern). Begründung: Reduktion des Reibungskoeffizienten am Spurkranz μ um den Grenzwert (Y/Q) niedrig zu halten (siehe EN 14363, Bild A.2).	IM

Nr.	Sicherheitsempfehlung	richtet sich an
6	Sicherstellung, dass nach Maßnahmen am Gleis (z. B. Neulage, Schienenschleifen, ...) vor der Betriebsfreigabe eine ausreichende Grundschröpfung der Fahrkante vorhanden ist. Begründung: Es bedarf mehrerer Fahrten von Tzf um einen ausreichenden Schmierfilm als Grundschröpfung zu erzielen.	IM
7	In den TSI für Infrastruktur muss zusätzlich zur zulässigen Verwindungen auch die Überhöhung, abhängig vom Bogenhalbmesser berücksichtigt werden. Begründung: Einhaltung der Erkenntnisse des ORE B55/RP8 und damit auch der Bestimmungen der TSI Fahrzeuge Güterwagen.	NSA, ERA
8	Überprüfung der EN 13803-1 in Bezug auf Verwindung und zulässige Überhöhung, abhängig vom Bogenhalbmesser. Begründung: Die vorgegebenen Werte für die Gleisverwindung können ohne Berücksichtigung der Überhöhung und des Bogenhalbmessers gemäß ORE B55/RP8 Entgleisungen bewirken.	NSA ERA, ÖNORM

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 2004/49, Artikel 25, Absatz 3).

Diese Sicherheitsempfehlung ergeht an:

Unternehmen / Stelle	Funktion
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie	Behörde (AT)
European Rail Agency	Behörde (EU)
ÖNORM – Österreichisches Normeninstitut	Normungsinstitut
AG der Wiener Lokalbahnen	IM
Cargo Center Graz Betriebsgesellschaft m.b.H.&CoKG	IM
Graz-Köflacher Bahn- und Busbetrieb GmbH	IM
Linzer Lokalbahn AG	IM
Montafoner Bahn AG	IM
ÖBB Infrastruktur AG	IM
Raab-Oedenburg-Ebenfurter Eisenbahn AG Neusiedler Seebahn AG	IM
Salzburg AG für Energie, Verkehr und Telekommunikation – Salzburger Lokalbahn	IM
Steiermärkische Landesbahnen GmbH	IM
Stern und Hafferl Verkehrsgesellschaft mbH	IM

und nachrichtlich an:

Unternehmen / Stelle	Funktion
Herr Landeshauptmann vom Burgenland	Behörde
Herr Landeshauptmann von Kärnten	Behörde
Herr Landeshauptmann von Niederösterreich	Behörde
Herr Landeshauptmann von Oberösterreich	Behörde
Frau Landeshauptfrau von Salzburg	Behörde
Herr Landeshauptmann von der Steiermark	Behörde
Herr Landeshauptmann von Tirol	Behörde
Herr Landeshauptmann von Vorarlberg	Behörde
Herr Landeshauptmann von Wien	Behörde

Mit der Bitte um Kenntnisnahme und Weiterleitung an die betroffenen Bezirksbehörden.

Wien, am 19. Jänner 2010

Der Untersuchungsleiter:

Ing. Johannes Piringer eh.