

Verwindungsgrenzwerte enge Bögen Bericht



Version	Datum	Ersteller	Bemerkungen / Änderungen
1.0	23.02.2026	P. Güldenapfel	Erstausgabe
1.1	23.03.2026	P. Güldenapfel	Einarbeitung Inputs SOB

Peter Güldenapfel
Direkt +41 79 252 01 55
E-Mail peter.gueldenapfel@trackexpert.ch

Track Expert GmbH
Striempelstrasse 26
8135 Langnau a.A.
Schweiz

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage & Zielsetzung	3
2. Vorgehen.....	3
3. Grundlagen	4
4. Stand der Technik Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen	5
4.1. Einleitung	5
4.2. ORE B55 Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen.....	5
4.2.1. Charakteristik von Verwindungsentgleisungen.....	5
4.2.2. Einflussgrößen von Verwindungsentgleisungen	7
4.2.3. Gleisgrenzverwindung	8
4.3. Gleisverwindung in den EN-Normen	10
4.3.1. EN 13803.....	10
4.3.2. EN 13848.....	11
4.4. Gleisverwindung in engen Bögen in der AB-EBV.....	14
4.5. Gleisverwindung im Regelwerk der Bahnen.....	15
4.5.1. R I-22046.....	15
4.5.2. R I-22070 SBB.....	16
4.5.3. R I-22070 SOB	22
4.5.4. R I-22070 BLS	23
5. Fazit und Empfehlungen.....	25
6. Anhang.....	27
6.1. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (80 km/h).....	27
6.2. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (80 - 120 km/h).....	28
6.3. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (120 - 160 km/h).....	29
6.4. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (160 - 200 km/h).....	30
6.5. R I-22070 SBB Version 1-0 vom 25.5.2009 SES.....	31
6.6. R I-22070 SBB Version 2-0 vom 14.5.2020 SES.....	32
6.7. R I-22070 SBB Version 3-0 vom 1.12.2020 SES.....	33
6.8. R I-22070 SBB Version 4-0 vom 1.4.2022 SES	34
6.9. R I-22070 SBB Version 5-0 vom 1.12.2025 SES.....	35
6.10. R I-22070 SOB Version vom 1.7.2019 SES	36
6.11. R I-22070 BLS Version vom 12.2.2024 SES $V_R \leq 80$ km/h.....	37
6.12. R I-22070 BLS Version vom 12.2.2024 SES $80 < V_R \leq 230$ km/h.....	38

1. Ausgangslage & Zielsetzung

Auf Strecken mit engen Bögen ($R \leq 275$ m) besteht zwischen dem gemäss Trassierungsvorgaben zulässigen Grenzwert für die Verwindung und dem zulässigen Grenzwert im Betrieb eine relativ kleine Marge. Dies bedeutet, dass bei Überschreitung der Soforteingriffsschwelle (SES) im Betrieb eine Massnahme erforderlich ist, welche die Fahrsicherheit gewährleistet. Diese Massnahmen können sein: eine Korrektur, eine Geschwindigkeitsreduktion oder eine Streckensperrung.

Bei einer groben Prüfung des Sachverhaltes wurde festgestellt, dass in den aktuell gültigen Versionen des R I-22070 die Überlegungen aus dem ORE B55 – Modell teilweise nicht korrekt umgesetzt worden sind vgl. Bericht KPZ Fahrbahn «SOB Grenzwerte Verwindung in engen Bögen» [1].

Deshalb soll der Stand der Technik bezüglich Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen ($R \leq 275$ m) aufgearbeitet und zusammengefasst werden. Dabei sind die möglichen Auswirkungen auf das R I-22070 aufzuzeigen und konkrete Vorschläge zur allfälligen Anpassung der Grenzwerte für die Verwindung in engen Bögen im R I-22070 und der swissTAMP Grenzwertmatrix zu formulieren.

Der Ergebnisse der Abklärungen sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst.

2. Vorgehen

- Analyse und Beurteilung der Grundlagen zum Stand der Technik bezüglich Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen
- Durchführung von Abklärungen
- Aufzeigen Auswirkungen und Handlungsbedarf auf das R I-22070
- Erarbeiten von konkreten Vorschlägen zur Anpassung der Grenzwerte für die Verwindung
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Bericht

3. Grundlagen

Folgende Dokumente bilden die Grundlage der Untersuchung:

- [1] SOB Grenzwerte Verwindung in engen Bögen Bericht KPZ Fahrbahn Version 1.0 vom 11.12.2024
- [2] ORE Frage B55: Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen, Bericht Nr. 8, April 1983
- [3] SN EN 13803 Trassierungsparameter Spurweiten 1435 mm und grösser, Ausgabe April 2017
- [4] SN EN 13848-5 Qualität der Gleisgeometrie – Teil 5: Geometrische Qualitätsstufen – Gleise, Weichen und Kreuzungen Ausgabe August 2017
- [5] AB-EBV Stand 1.7.2024
- [6] SBB R I-22046: Geometrische Gestaltung der Fahrbahn für Normalspur, Version 2-0 vom 1.1.2013
- [7] SBB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 1-0 vom 25.5.2009
- [8] SBB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 2-0 vom 1.4.2020
- [9] SBB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 3-0 vom 1.12.2020
- [10] SBB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 4-0 vom 1.2.2022
- [11] SBB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 5-0 vom 1.12.2025
- [12] SOB R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version vom 1.7.2019
- [13] BLS R I-22070: Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen, Version 3.0 vom 12.2.2024

4. Stand der Technik Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen

4.1. Einleitung

Die Festlegung der Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen basieren auch heute noch im Grundsatz auf den Erkenntnissen des ORE – Berichtes B55 zu den Untersuchungen der Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen [2]. Daraus sind meist auch die Vorgaben in die entsprechenden Normen und Regelungen eingeflossen. In den nachfolgenden Kapiteln sollen die wichtigsten Aussagen der jeweiligen Grundlagen zu den Verwindungsgrenzwerten in engen Bögen zusammengefasst werden.

4.2. ORE B55 Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen

Der Bericht [2] beschreibt ein angenähertes Modell Fahrbahn / Fahrzeug zur Gewährleistung der Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen. Das Modell basiert auf umfangreichen Versuchen, statistischen Auswertungen und theoretischen Untersuchungen.

Der Schwerpunkt des Berichtes bildet das Berechnungs- und Prüfverfahren zur Beurteilung von Fahrzeugen. Damit soll das Verhalten eines geplanten Fahrzeuges in Bezug auf Radkräfte und Torsionshärte in Gleisverwindungen mit den Gegebenheiten des Oberbaus abgestimmt werden.

Weiter wurde festgestellt, dass eine Einschränkung der Gleisverwindung die Anwendung größerer Überhöhungen erlaubt, um in engen Gleisbögen einschneidende Geschwindigkeitsbeschränkungen zu vermeiden.

4.2.1. Charakteristik von Verwindungsentgleisungen

Voraussetzung für eine Verwindungsentgleisung ist das gleichzeitige Auftreten einer horizontalen Führungskraft mit einer Verminderung der vertikalen Radkraft am führenden Rad.

Dadurch kann ein an der Schiene anlaufendes Rad aufklettern vgl. Abb. 1:



Aufsteigen ist das Hinauffahren eines Spurkranzes auf ein Hindernis in seinem Rollweg.



Aufklettern ist das Hinaufdrücken eines mit der Stirn- oder Rückenfläche seines Spurkranzes an der Fahr- bzw. Leitkante anlaufenden Rades unter Reibschluss durch seitliche Spurführungskräfte.

Abbildung 1: Unterschied zwischen Aufsteigen und Aufklettern des Rades

Die entsprechenden Fahrzeugreaktion wird auf Seite Fahrbahn durch die Trassierungsparameter Richtung, Verwindung und Überhöhung beeinflusst.

Die Richtungsänderung des Gleises (geplante Trassierung und Lage im Betrieb) bestimmen zusammen mit den Fahrzeugcharakteristiken (Drehgestellbauart) die Grösse, die Kraftrichtung und den Verlauf der horizontalen Führungskräfte zwischen Rad und Schiene.

Gleisverwindungen werden verursacht durch:

- die theoretische Trassierung in Übergangsbögen von überhöhten Gleisbögen
- durch Höhenfehler verursachte Abweichungen von der geometrischen Sollage der Fahrbahn

Diese Unterschiede in der gegenseitigen Höhenlage der Schiene bewirken die Torsion eines Fahrzeuges und leiten Änderungen in der Verteilung der Radkräfte Y und Q ein.

Zusätzliche Radkraftänderungen werden durch die Gleisüberhöhung verursacht, deren Auswirkungen durch die resultierende Seitenbeschleunigung (Überhöhungsfehlbetrag) bestimmt sind.

Fahrzeugseitig können folgende Faktoren die Radkraft vermindern:

- Torsionsreibung
- Eigenverwindung des Untergestells
- Exzentrizität des Schwerpunktes

Weitere Radkraftabweichungen können aus unsymmetrischer Beladung entstehen.

Wird unter dem Einfluss einer Gleisverwindung die vertikale Radkraft eines führenden Rades vermindert, besteht die Möglichkeit einer Verwindungsentgleisung, wenn gleichzeitig die 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 vorliegen

4.2.2. Einflussgrössen von Verwindungsentgleisungen

Die Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen wird durch zahlreiche Einflussgrössen von Fahrbahn, Fahrzeug und Betriebsführung bestimmt vgl. Abb. 2:

<u>Fahrbahn</u>		<u>Fahrzeug</u>		<u>Betrieb</u>
Ober- / Unterbau	Schiene Schwelle Schotter	Konstruktion	Eigengewicht Schwerpunktslage Torsionssteifigkeit Puffer / Kupplung	Fahrgeschwindigkeit Beladung Witterung Reihung im Zug Zug-/Stoss-Kraft
Trassierung	Krümmung Überhöhung Verwindung Spurweite	mit Drehgestellen	2a*, 2b* Drehpfanne, -zapfen Drehhemmung Feder-/Dämpfer-System	
Gleislage	Richtungs- Längshöhen- Spurweiten- Fehler	mit Laufwerken	2a*, 2b* Feder-/Dämpfer-System Achsführung	
Zustand	Schienenprofil Verschleiss Schmierung	Radsätze	Radprofil Laufleistung Verschleissmasse Radrückenabstand	

Abbildung 2: Einflussgrössen von Verwindungsentgleisungen

Die Einflussgrössen stehen zum Teil in komplexen Beziehungen zueinander und können sich auch überlagern. Eine exakte Ermittlung aller Entgleisungsparameter ist erfahrungsgemäss ausgeschlossen. Zur Beurteilung von Fahrzeugen werden deshalb die wesentlichen Einflussgrössen durch signifikante Grenzwerte, spezifische Eingabedaten und Konstruktionsvorgaben abgedeckt.

Das Modell ORE B55 basiert im Wesentlichen auf folgenden Grundlagen:

- Kriterium der Sicherheit gegen Entgleisen mit dem festgelegten Grenzwert $Y/Q = 1,2$ am führenden Rad
- Mittelwert der Führungskraft Y des führenden bogenäusseren Rades einer bestimmten Laufwerksbauart, ermittelt für einen Gleisbogen mit Radius $R = 150$ m, der Gleisverwindung $N = 0$ ‰ und der Gleisüberhöhung $\ddot{u} = 0$ mm.
- Fahrzeugprüfverwindung $g = f(2a)$ entsprechend einer abgestimmten Verwindung für Güterwagen heutiger Bauart, deren Sicherheit gegen Entgleisen beim Befahren von Gleisverwindungen bekannt ist.

Aus dem Modell resultiert eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. D.h. es ist auch im vollständig bedingungsgemässen Systemzustand Fahrbahn / Fahrzeug eine Resthäufigkeit von Verwindungsentgleisungen zu erwarten. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen erscheint die gewählte Aussagewahrscheinlichkeit bis heute als ausreichend.

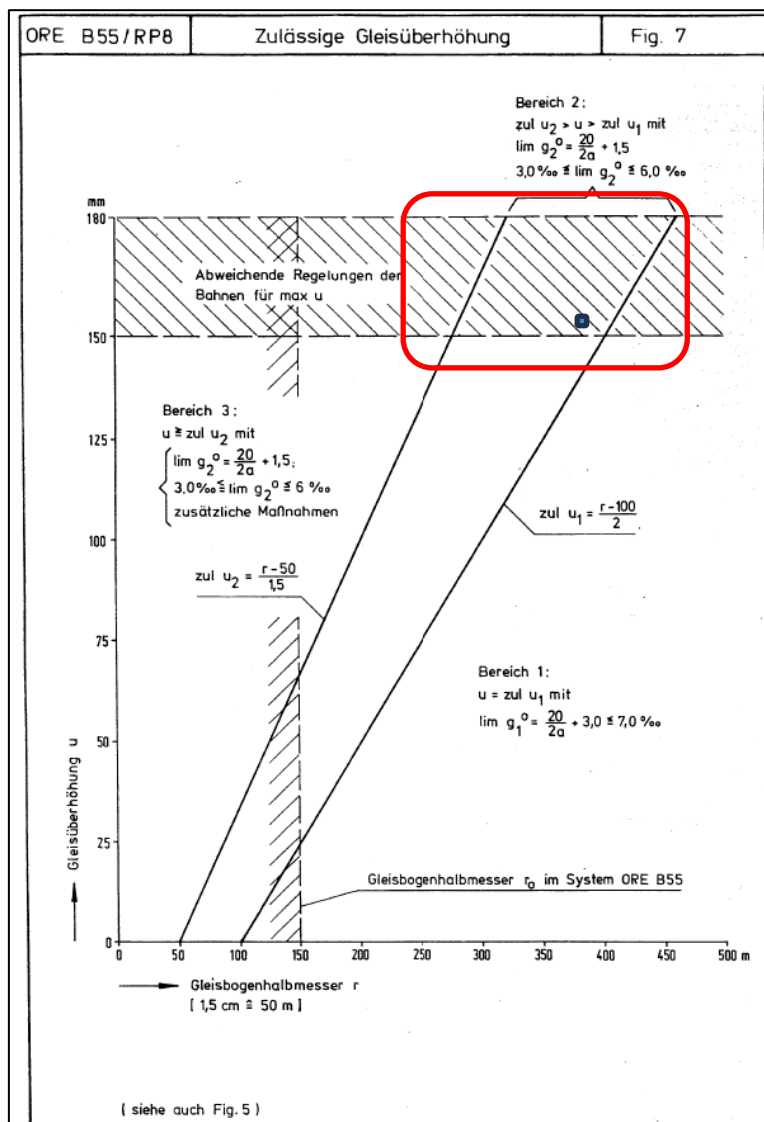


Abbildung 4: Zulässige Gleisüberhöhung Bereich 1 und 2 gemäss [2]

Die Formel für den Bereich 1 wurde in der Schweiz bisher nicht angewendet. In der Schweiz gilt für Gemischtverkehr $\ddot{u}_{\max} = 160$ mm. Dies würde bedeuten, dass der Bereich 1 für $R \leq 420$ m gelten würde. Wenn der gleiche Grenzwert von $\ddot{u}_{\max} = 150$ mm wie im Bereich 2 angewendet werden würde, gälte für den Bereich 1 $R \leq 400$ m.

Für den Radienbereich $R \leq 275$ m gilt für den Grenzwert der Gleisverwindung (vgl. Abb. 3):

$$N2 = 20/2a + 1,5 \leq 6,0 \text{ ‰ mit Längsbasis } 2a \text{ in m}$$

Dabei ist wiederum eine Wirklänge von mindestens 2 m angenommen. Die Werte der Gleisverwindung liegen dabei zwischen mindestens 3 und maximal 6 ‰.

Der Grenzwert der Gleisverwindung für den Bereich 2 gilt unter der Voraussetzung, dass die zulässige Gleisüberhöhung

$$\ddot{u}_2 = (R - 50) / 1.5$$

für den Bereich 2 eingehalten wird vgl. Abb. 3 (Figur 5 von [2])

Diese Einschränkung für den Bereich 2 ist sowohl in der AB-EBV zu Art. 17N in Ziff. 3.4.2.1 [5] als auch in der SBB R I-22046 in Ziff. 3.5.2 [6] aufgeführt.

Zu beachten ist auch, dass die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von Reisezügen unter Umständen eine Vergrößerung des Überhöhungsüberschusses bei langsam fahrenden Güterzügen ergeben kann, was zu einer Entlastung auf dem bogenäusseren Rades des Güterzuges führen kann.

4.3. Gleisverwindung in den EN-Normen

Auf die Zusammenhänge zwischen Verwindung und Überhöhung bei der Entgleisungssicherheit in engen Bögen wird in den beiden Normen EN 13803 [3] und EN 13848-5 [4] verwiesen.

4.3.1. EN 13803

In der EN 13803 werden die Trassierungsparameter für Gleise und Weichen für die Spurweite 1435 mm und grösser definiert.

In Ziffer 6.2 sind die Bestimmungen zur Überhöhung aufgeführt. In der Tabelle 6 der Norm wird für enge Bögen wiederum die Formel gemäss ORE B55 für den Bereich 2 zitiert (vgl. Abb. 5):

Die Obergrenze für die Überhöhung $D_{R,lim}$ als Funktion des Radius im Grundriss R ist in Tabelle 6 festgelegt.

Tabelle 6 — Obergrenze für die Überhöhung $D_{R,lim}$ als Funktion des Radius im Grundriss R

Normaler Grenzwert ^a	Außergewöhnlicher Grenzwert ^a
$D_{R,lim} = \frac{R - 50 \text{ m}}{1,5 \text{ m/mm}}$	

^a Dieser Grenzwert darf unter der Voraussetzung, dass Maßnahmen zur Einhaltung der Sicherheit nach EN 13848-5 umgesetzt werden oder im Falle eines abzweigenden Gleises einer Weiche mit einem mindestens 10 m langen Element mit einer konstanten Überhöhung auf beiden Seiten des engen Bogens gelockert werden.

ANMERKUNG 2 Eine große Überhöhung in engen Bogen erhöht das Risiko einer Entgleisung von Fahrzeugen bei geringer Geschwindigkeit. Unter diesen Bedingungen ist die auf die äußere Schiene wirkende senkrechte Radkraft wesentlich verringert, insbesondere wenn eine zusätzliche Radentlastung durch Gleisverwindungen (festgelegt in EN 13848-1 und EN 13848-5) auftritt.

ANMERKUNG 3 Grenzwerte der Gleisverwindung sind in EN 13848-5 als Funktion der vorhandenen Überhöhung festgelegt. Das Ansetzen hoher Werte für die Überhöhung führt zu geringeren Werten für die Verwindung oder der Anwendung anderer Maßnahmen zur Sicherstellung der Sicherheit.

Abbildung 5: Grenzwert Gleisüberhöhung in Funktion des Radius [3]

Dabei wird nicht direkt auf die ORE B55, sondern auf die EN 13848 verwiesen.

Die Fussnote a in der Tabelle für den ablenkenden Strang von Weichen wird in der Schweiz auch im R SBB I-22046 [6] zugelassen vgl. Abb. 6:

3.5.2. Grösste Überhöhung in Radien $R < 275$ m

Grosse Überhöhungen in kleinen Radien erhöhen das Entgleisungsrisiko der langsam fahrenden Güterzüge. Die Belastung der äusseren, führenden Räder wird insbesondere bei grösseren Verwindungen stark vermindert. Im Hinblick auf torsionssteife Güterwagen ist bei Neuanlagen folgender Grenzwert einzuhalten:

$$\ddot{u}_{\max} = \frac{R - 50}{1,5} \quad \begin{array}{l} \ddot{u}_{\max} \text{ [mm]} \\ R \text{ [m]} \end{array}$$

Ausgenommen davon sind Nebenstränge von Weichen, bei denen in einem solchen Bogen und beidseits davon auf eine Länge von mindestens 10 m unter Einhaltung von $\ddot{u}_{\max}$, eine konstante Überhöhung angeordnet werden kann.

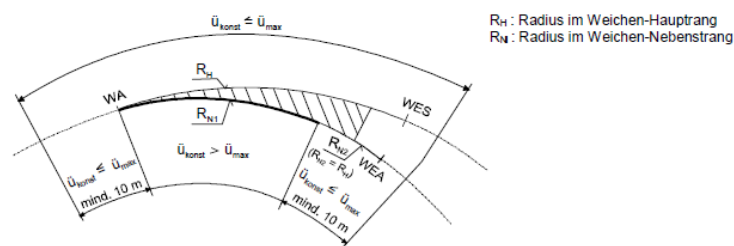


Abbildung 6: Grenzwert Gleisüberhöhung im Weichen-Nebenstrang [6]

4.3.2. EN 13848

Die EN 13848 besteht aus 6 Teilen und beschreibt die Anforderungen zur Qualität der Gleisgeometrie. Die Grenzwerte der Gleislagequalität werden im Teil 5 beschrieben [4].

Hauptzweck der Norm, ist die Festlegung der Mindestanforderungen an die Gleisgeometrie, basierend auf Einzelfehlern, für den sicheren Betrieb der Züge. Sie basiert auf Erfahrungen der unterschiedlichen Infrastrukturbetreiber und den derzeitigen Gleisbedingungen.

Es werden Soforteingriffsschwellen zur Gleisgeometrie definiert und hat die Harmonisierung europäischer Gleislagequalitätsnormen zum Ziel.

In Ziff. 5 wird u.a. auch der ORE 55-Bericht [2] als Grundlage für die Norm zitiert.

Die EN 13848-5 enthält in Ziff. 7.4 [4] keine SES-Werte für die Überhöhung mit der Begründung, dass das mit Überhöhungsfehlern verbundene Risiko von der Verwindung und dem Überhöhungsfehlbetrag abhängt.

Überhöhungsfehlbetragsgrenzwerte sind abhängig von der Trassierung, von den Konstruktionsvorschriften, von der Fahrzeugkonstruktion und der Art des Verkehrs auf dem jeweiligen Streckennetz.

Es sollte auf Schwankungen der Überhöhung mit Wellenlängen um 20 m geachtet werden, die eine höhere Entgleisungsgefahr für Güterwagen aufgrund dynamischer Radentlastungen verursachen können.

In Ziff. 7.6 werden als SES – Werte für die Verwindung die beiden Kurven (Bereich 1 und Bereich 2) aus dem ORE B55 – Bericht [2] zitiert vgl. Abb. 7:

Die Gleisverwindungsgrenze ist eine Funktion der angewendeten Länge der Messbasis der Verwindung (ℓ) nach einer der folgenden Gleichungen (siehe Bild 1):

1) Gleisverwindungsgrenze = $((20/\ell) + 3)$ für $D \leq (R - 100)/2$ (Kurve A)

mit einem Höchstwert von:

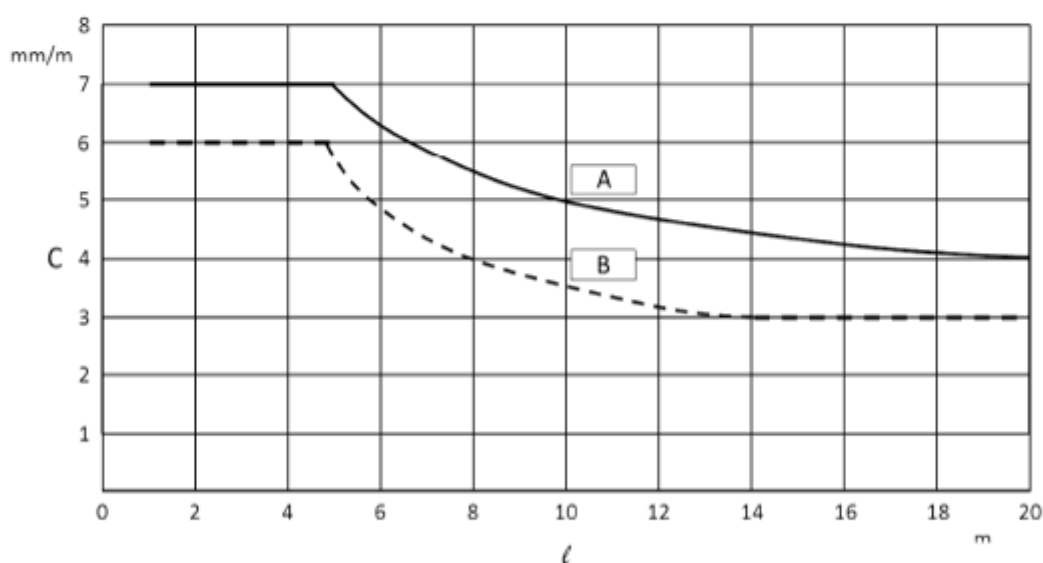
- 7 mm/m für Strecken für Geschwindigkeiten $V \leq 200$ km/h;
- 5 mm/m für Strecken für Geschwindigkeiten $V > 200$ km/h.

2) Gleisverwindungsgrenze = $((20/\ell) + 1,5)$ für $(R - 100)/2 < D < (R - 50)/1,5$ (Kurve B)

mit einem Höchstwert von 6 mm/m und einem Mindestwert von 3 mm/m.

Dabei ist für beide Gleichungen

- ℓ die Länge der Messbasis der Verwindung, mit $1,3 \text{ m} \leq \ell \leq 20 \text{ m}$;
- D die Überhöhung (in mm);
- R der Bogenradius (in m).



Legende

- ℓ Länge der Messbasis der Verwindung (in m) – vergleiche Tabelle 1
- A Kurve A
- B Kurve B
- C IAL-Wert für Verwindung (in mm/m)

Bild 1 — Verwindung — IAL — Einzelfehler — Null zum Spitzenwert

Abbildung 7: Gleisverwindungsgrenzwerte SES gemäss EN 13848-5 [4]

Der obere Grenzwert für die Kurve A (entsprechend Bereich 1 nach ORE B55) wird für $V > 200$ km/h von 7 ‰ auf 5 ‰ reduziert. Eine entsprechende Grundlage dazu wird nicht aufgeführt.

Ein Überschreiten der oberen Grenzwerte kann gemäss Norm erlaubt werden, vorausgesetzt, dass andere Sicherheitsmassnahme umgesetzt werden. Dazu wird die Installation von Leitschienen oder Schienenschmiersystemen aufgeführt.

Zu diesen Bestimmungen in der Ziff. 7.2 enthält die Norm im Anhang D eine A-Abweichung der Schweiz, die zu beachten ist, vgl. Abb. 8:

EN 13848-5:2017 (D)

Anhang D (informativ)

A-Abweichungen

A-Abweichung: Nationale Abweichung, die auf Vorschriften beruht, deren Veränderung zum gegenwärtigen Zeitpunkt außerhalb der Kompetenz des CEN/CENELEC-Mitglieds liegt.

Diese Europäische Norm unterliegt der Richtlinie 2008/57/EG.

ANMERKUNG (aus der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung Teil 2:2015, 2.16): Bei Normen, die unter EU-Richtlinien oder Verordnungen fallen, folgt nach Ansicht der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Amtsblatt Nr. C 59, 9.3.1982) aus dem Urteil des Europäischen Gerichtshofes im Fall 815/79 Cremonini/Vrankovich (Entscheidungen des Europäischen Gerichtshofes 1980, S. 3583), dass die Einhaltung der A-Abweichungen nicht mehr zwingend ist und dass die Freiverkehrsfähigkeit von Erzeugnissen, die einer solchen Norm entsprechen, innerhalb der EU nicht eingeschränkt werden sollte, es sei denn durch das in der entsprechenden Richtlinie oder Verordnung vorgesehene Schutzklausel-Verfahren.

<u>Abschnitt</u>	<u>Abweichung</u>
------------------	-------------------

7.2 und 7.6	Schweiz
-------------	---------

Ergänzend zu den Anforderungen in 7.2 „Spurweite“ und 7.6 „Verwindung“ der EN 13848-5:2017 müssen in der Schweiz die Anforderungen der Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (SR 742.141.11 / http://www.admin.ch/ch/d/sr/c742_141_11.html) und die ergänzenden Bestimmungen des Reglements R 220.46 beachtet werden.

Auf Grund dieser Bestimmungen gilt, dass

- die kleinste Spurweite 1 430 mm beträgt;
- bei bestehenden Gleisbögen mit Radien, in denen die Überhöhung den Wert $u = (r - 50)/1,5$ [mm] überschreitet, die im Betriebsgleis auftretende Gleisverwindung den Wert von 3 mm/m bei Basislängen von 1,3 m und größer nicht überschreiten darf. In solchen Kurven sind keine Leitschienen oder Schienenschmiersysteme erforderlich.

Begründung:

In der Schweiz ist die Überschreitung der oberen Grenzen der Überhöhungswerte bei bestehenden Gleisbögen zulässig, wenn folgende andere Maßnahmen (vergleiche 7.6) vorhanden sind:

- eine gute Gleislage (Verwindung < 3 mm/m);
- Spurkranzschmierung an den Lokomotiven/Triebfahrzeugen.

Abbildung 8: A-Abweichung der Schweiz zur Ziff. 7.6 der EN 13848-5 [4]

Darin wird darauf verwiesen, dass in der Schweiz bei bestehenden Gleisbögen eine Überschreitung der oberen Grenzwerte der Überhöhung in engen Bögen ($ü = (R-50) / 1.5$ mm) zulässig ist, wenn folgende andere Massnahmen vorhanden sind:

- eine gute Gleislage (Verwindung < 3 ‰) bei Basislängen > 1.3 m
- Spurkranzschmierung an den Lokomotiven/Triebfahrzeugen

4.4. Gleisverwindung in engen Bögen in der AB-EBV

In der AB-EBV [5] finden sich Hinweise zur Reduktion der Überhöhung in engen Bögen und zur Verwindung im Art. 17N in den Ziff. 3.4.2.1 sowie Ziff. 4.2

In Ziff. 3.4.2. wird die Formel aus dem ORE B 55 – Bericht für den Bereich 2 für Neuanlagen als verbindlich einzuhalten erklärt vgl. Abb. 9:

3.4.2.1 Grosse Überhöhungen in kleinen Radien erhöhen das Entgleisungsrisiko der langsam fahrenden Güterzüge. Die Belastung der äusseren, führenden Räder wird insbesondere bei grösseren Verwindungen stark vermindert. Im Hinblick auf torsionssteife Güterwagen ist bei Neuanlagen folgender Grenzwert einzuhalten:

$$\ddot{u}_{\max} = \frac{R - 50}{1,5} \quad \begin{array}{ll} \ddot{u}_{\max} & [\text{mm}] \\ R & [\text{m}] \end{array}$$

(siehe Referenz ORE B 55/Rp 5 und 8).

Abbildung 9: Begrenzung der Überhöhung in engen Radien [5]

In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Anwendung der Formel auch für die Erneuerung von bestehenden Anlagen gefordert oder zumindest geprüft wird, wenn die Verhältnismässigkeit gegeben ist. Dies aufgrund der Tatsache, dass es einem torsionssteifen Wagen egal ist, ob er auf einer Neuanlage oder einer erneuerten Anlage verkehrt.

In Ziff. 4.2 von Art. 17N sind für die Verwindung die Werte für Projektierung und Betrieb aufgeführt vgl. Abb. 10:

4.2	Verwindung N (d _ü /dl)		
4.2.1	Für Zuggleise gelten folgende Grenzwerte:		
	Grenzwert im Normalfall:	2 ‰	
	Maximaler Grenzwert:	2,5 ‰	
4.2.2	Für Rangiergleise gilt folgender Grenzwert:		
	Grenzwert im Normalfall:	3 ‰	
4.2.3	Die Verwindungen resultierend aus der geometrischen Linienführung und der real auftretenden Brückendeformation sind gemeinsam zu berücksichtigen.		
4.2.4	Im Betriebszustand sind folgende Grenzwerte einzuhalten:		
	Für Zuggleise:	3 ‰ ^(1,2)	(Basislänge > 8 m)
	Für Rangier- und Anschlussgleise	4 ‰ ⁽²⁾	(Basislänge 4 m)
	⁽¹⁾ Bei Geschwindigkeiten $V_R > 160$ km/h sind auf Grund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug ggf. Einschränkungen notwendig.		
	⁽²⁾ In bestehenden Anlagen gilt in Bögen, die die maximale Überhöhung gemäss Ziff. 3.4.2.1 überschreiten, der Grenzwert von 3 ‰ (unabhängig der Basislänge).		

Abbildung 10: Vorgaben zur Verwindung für Projektierung und Betrieb [5]

In Ziff. 4.2.4 sind die einzigen Vorgaben an die Verwindung für den Betriebszustand aufgeführt. Dabei sind die beiden Fussnoten zu beachten.

Fussnote 1 macht einen Hinweis darauf, dass bei Geschwindigkeiten $V_R > 160$ km/h ggf. Einschränkungen auf Grund von dynamischen Auswirkungen auf das Fahrzeug notwendig sind.

Fussnote 2 bedeutet, dass in bestehenden Anlagen, wo das Kriterium $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ verletzt wird, der Grenzwert von 3 ‰ unabhängig von der Basislänge einzuhalten ist. Diese Vorgabe sollte in den R I-22070 der Bahnen aufgeführt sein vgl. Kap. 4.5.

4.5. Gleisverwindung im Regelwerk der Bahnen

Vorgaben zur Gleisverwindung in engen Bögen resp. zur Einschränkung der Überhöhung sind im R I-22046 [6] sowie im R I-22070 von SBB [11], SOB [12] und BLS [13] zu finden.

Einleitend ist zu bemerken, dass das R I-22046 [6] zwar kein R RTE ist, aber grundsätzlich von allen Normalspurbahnen als Standard angewendet wird. Hingegen haben SBB, SOB und BLS für den Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen je eine separate Regelung I-22070 erstellt.

4.5.1. R I-22046

Wie bereits in Kap. 4.2 erwähnt, wird in Ziff. 3.5.2 des R I-22046 [6] die Beschränkung der Überhöhung in Radien $R \leq 275$ m durch die Anwendung der ORE B 55 – Bedingung $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ vorgegeben.

Dabei wird in bestehenden Gleisen die Überschreitung von $\ddot{u}_{\max}$ toleriert, sofern die folgenden ergänzenden Bedingungen eingehalten sind:

- In den angrenzenden Übergangsbögen darf die max. Verwindung im Betrieb 3 ‰ nicht überschreiten (siehe R I-22070, Ziffer 5.4.1).
- Spurkranzschmierung an den Lokomotiven/Triebfahrzeugen vorhanden.
- Einhaltung der Grenzwerte der Gleislagegüte im Unterhalt (siehe R I-22070).

Diese Bedingungen entsprechen im Grundsatz der nationalen A-Abweichung zur EN 13848-5 [4] vgl. Abb. 8.

Der Verweis auf Ziffer 5.4.1 des R I-22070 bezieht sich auf eine frühere Version und ist nicht mehr aktuell.

Folgender Hinweis bei höheren Geschwindigkeiten:

Für die Länge des Übergangsbogens und der Überhöhungsrampe sind gemäss Ziff. 4.3 folgende Regelwerte kumulativ einzuhalten:

- Verwindung (gemäss Ziffer 4.2)
- Änderung des Überhöhungsfehlbetrages in Funktion der Zeit $[d\ddot{u}/dt]$ (gemäss Ziffer 4.3.1)
- Änderung der Überhöhung in Funktion der Zeit $[d\ddot{u}/dt]$ (gemäss Ziffer 4.3.2)

Daraus lässt sich ableiten, dass ab einer Geschwindigkeit von $V_R > 80$ km/h nicht mehr die Verwindung, sondern die Überhöhung in Funktion der Zeit für die Länge des Übergangsbogens massgebend ist. Dies bedeutet, dass der Grenzwert im Normalfall für die Verwindung von 2 ‰ bei höheren Geschwindigkeiten gar nicht erreicht werden sollte, vgl. Beispiele im Anhang 10.1 des R I-22046 und Abb. 11:

10.1. Regeltrassierung für Kreisbögen mit Übergangsbögen

10.1.1. Geschwindigkeit $V_R \leq 125$ km/h (Planungsgrenzwerte)

V_R	Kreis- bogen [R]	Überhö- hung [ü]	Überhö- hungsfehl- betrag [üf]	Länge Über- gangsbogen [Lb]	Hub [dü/dt]	Verwin- dung [N]	mind. Länge Kreisbogen (1 s)
[km/h]	[m]	[mm]	[mm]	[m]	[mm/s]	[‰]	[m]
40	185	56	46	28	22	2.0	11 ^{*)}
	200	52	42	26			
	250	42	34	21			
	300	35	28	17			
65	245	112	91	56	36	2.0	18 ^{*)}
	300	92	75	46			
	350	78	64	39			
	400	69	56	34			
80	280	149	121	76	44	2.0	23
	300	139	113	70			
	400	104	85	53			
	500	83	68	42			
100	435	149	122	95	44	1.6	28
	500	130	106	82			
	750	87	71	55			
	1000	65	53	41			
110	525	150	122	104	44	1.4	31
	650	121	99	84			
	750	105	86	73			
	850	93	76	64			
125	675	150	123	119	44	1.3	35
	750	136	110	107			
	1000	102	83	81			
	1200	85	69	67			

^{*)} Anzustreben sind Elementlängen von mind. 20m.

Abbildung 11: Auszug Regeltrassierung gemäss R I-22046 Anhang 10.1 [6]

Bei Geschwindigkeiten $V_R > 130$ km/h liegt der Grenzwert der Verwindung unter 1 ‰, wenn beim Hub der Planungsgrenzwert eingehalten wird. Dies war auch der Grund für die Überlegungen, dass im R I-22070 Version 1 die SES für die höheren Geschwindigkeiten ($V_R > 160$ km/h) nicht auf 3 ‰ sondern auf 2 ‰ festgelegt wurde vgl. auch Kap. 4.5.2.

4.5.2. R I-22070 SBB

Die erste Version des R I-22070 entstand aufgrund einer Auflage zur Inbetriebnahme der NBS Mattstetten – Rothrist. Die ersten Versionen aus den Jahren 2005 und 2007 zeigten noch Pilotcharakter und waren auch mit der Umstellung des Diagnosefahrzeuges verbunden. Dies führte 2008 zu einer Überarbeitung, die auch die ersten Ergebnisse der Messungen mit dem neuen Diagnosefahrzeug berücksichtigte, welches auch heute noch im Einsatz ist.

Dabei wurde bei der Festlegung der SES-Werte für die Verwindung erstmals die ORE B55 – Kurve miteinbezogen. Um die Grenzwerte zu validieren, wurden für die vier Geschwindigkeitsbereiche auf typischen Strecken die Messwerte des Diagnosefahrzeuges in Bezug auf die ORE B55 – Kurven abgebildet vgl. Anhang 6.1 – 6.4. In Abb. 12 ist das Beispiel für einen Ausschnitt der NBS dargestellt:

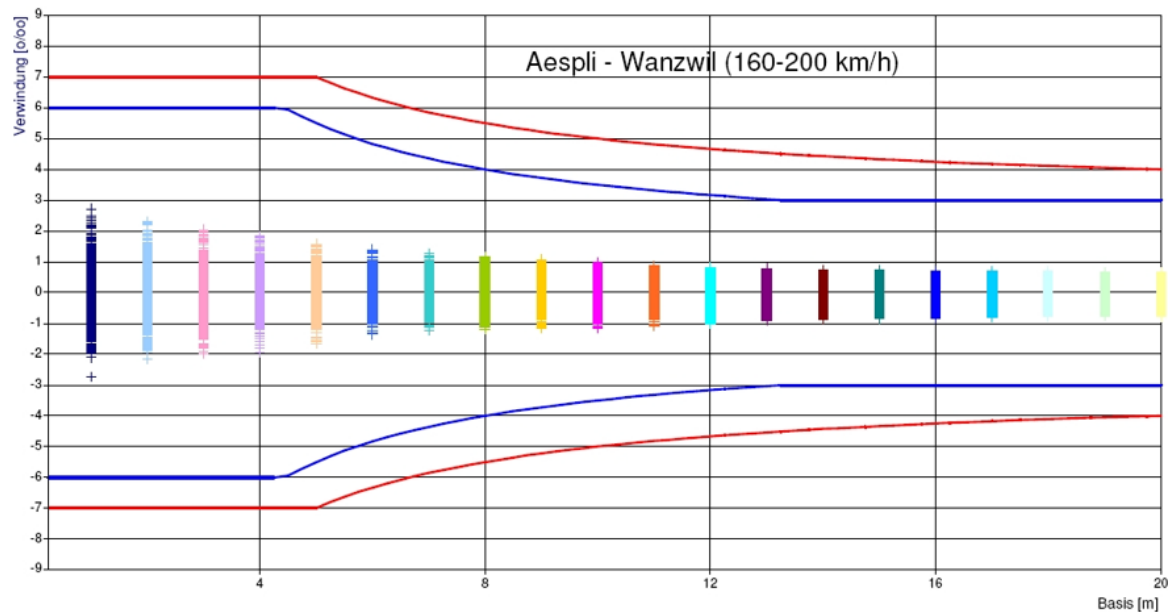


Abbildung 12: Messwerte NBS 2008 im Vergleich zur ORE B55 - Kurven

Auf dieser Basis wurden die SES-Grenzwerte für die Verwindung in der Version 1-0 vom 25.5.2009 [7] festgelegt vgl. Abb. 13 und Anhang 6.5. Dabei wurde bewusst nicht der ganze Bereich der ORE – Kurve ausgenutzt.

5.4.1 Soforteingriffsschwelle (SES)

		$V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 200$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes vom Nennwert über 100 m	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵

¹ Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenutzt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

² Grundlage UIC MB 700 3.2.2: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm

³ λ = Wellenlängenbereich (gemäß EN 13848-1)

⁴ bei Radien $R \leq 275$ m Verwindung max. 3 ‰ (Einschränkung ORE B 55)

⁵ aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁶ aufgrund netzweiter Zulassung Cargoexpress

Abbildung 13: SES-Werte Verwindung SBB R I-22070 Version 1-0 [7]

Die Beschränkung ORE B55 für enge Bögen wurde mit der Fussnote 4 berücksichtigt. Allerdings gilt diese Einschränkung nur, wenn das Kriterium für $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ überschritten wird. Das wurde in der Fussnote aber nicht ganz klar zum Ausdruck gebracht.

Die Fussnote 5 bezieht sich auf die Argumentation, dass bei höheren Geschwindigkeiten zusätzliche dynamische Auswirkungen auf das Fahrzeug zu erwarten sind. Deshalb wurde für die Verwindung z.B. für $V > 160$ km/h basisunabhängig der SES-Wert von 2 ‰ anstelle der gemäss ORE-Kurve möglichen 3 ‰ definiert.

Die Version 2-0 des R I-22070 [8] vom 1.4.2020 enthielt als wesentliche Änderung eine feinere Unterteilung des Geschwindigkeitsbereichs $V_R \leq 80$ km/h sowie die Erweiterung auf den oberen Geschwindigkeitsbereich von 200 auf 230 km/h.

Die SES-Werte für die Verwindung wurden im Bereich zwischen $V_R \leq 40$ km/h und $40 < V_R \leq 65$ km/h derart angepasst, dass sie noch innerhalb der ORE-Kurve liegen, vgl. Abb. 14 und Anhang 6.6.

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq$ 65 km/h	$65 < V_R \leq$ 80 km/h	$80 < V_R \leq$ 120 km/h	$120 < V_R \leq$ 160 km/h	$160 < V_R \leq$ 230 km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
	Überhöhung	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ⁴	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	18 mm	16 mm	14 mm	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						7 mm
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	20 mm	18 mm	16 mm	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						12 mm

1) Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

Die Grenzwerte der Spurweite gelten für eine unbelastete Messung. Belastete Messungen mit einem Schienenfahrzeug sind nach der SES Matrix der SBB zu beurteilen.

Auch für Gleise mit einer konstruktiven Spurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.

2) Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbögen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)

3) entfällt

4) bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{\max} [\text{mm}] = \frac{(R [\text{m}] - 50)}{1.5}$ (Einschränkung AB-EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) beträgt die Verwindung max. 3 ‰

5) aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

Abbildung 14: SES-Werte Verwindung SBB R I-22070 Version 2-0 [8]

Die Fussnote 5 bleibt unverändert bestehen, dafür wird die Fussnote 4 zu präzisieren versucht. Mit dieser Formulierung wird die genaue Formulierung von ORE B55 in engen Radien aber falsch interpretiert. Es ist nicht eine «oder» -, sondern eine «und» - Formulierung:

Es müsste korrekt heissen:

Bei Radien $R \leq 275$ m und einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ beträgt die Verwindung maximal 3 ‰!

Die Version 3-0 des SBB R I-22070 [9] vom 1.12.2020 enthält gegenüber der Version 2-0 bei den SES der Verwindungen keine Veränderungen vgl. Anhang 6.7. Auch die beiden dazugehörigen Fussnoten 4 und 5 werden unverändert übernommen inklusiv der falschen Interpretation der ORE B55 – Formulierung in Radien $R \leq 275$ m.

Die Version 4-0 des SBB R I-22070 [10] vom 1.4.2022 enthält gegenüber den Versionen 2-0 und 3-0 bei den SES der Verwindungen keine Veränderungen vgl. Anhang 6.8. Auch die beiden dazugehörigen Fussnoten 4 und 5 werden unverändert übernommen inklusiv der falschen Interpretation der ORE B55 – Formulierung in Radien $R \leq 275$ m.

Die Version 5-0 des SBB R I-22070 [11] vom 1.12.2025 wurde in Bezug auf die Grenzwerte neu überarbeitet.

In dieser Version werden die bisherigen SES-Tabellenwerte für die Verwindung durch ein Verwindungsdiagramm ersetzt vgl. Abb. 15 und 16 sowie Anhang 6.9:

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		SPERRE	$40 \leq V \leq 65$ km/h	$65 < V \leq 80$ km/h	$80 < V \leq 120$ km/h	$120 < V \leq 160$ km/h	$160 < V \leq 230$ km/h
Spurweite ^{a)}	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 9 mm	+ 35 mm - 9 mm	+ 35 mm - 7 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert		+ 25 mm ^{f)} - 7 mm ^{f)}	+ 25 mm - 5 mm	+ 25 mm ^{b)} - 4 mm	+ 25 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	c)	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm
Äquivalente Konizität	Berechnung gemäss Anhang B				Untersuchung gemäss INF TSI, nach Meldung durch EVU		
Verwindung	Wellenlängen gemäss SN EN 13848-5	Siehe Verwindungsdiagramm					Diagramm, max 5‰ ^{e)}
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$	25 mm 18 mm ^{f)}	22 mm	22 mm	17 mm	14 mm	12 mm
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$	31 mm 24 mm ^{f)}	28 mm	28 mm	26 mm	23 mm	20 mm

Abbildung 15: SES-Werte Verwindung SBB R I-22070 Version 5-0 [11]

In der SES – Tabelle wird auf Wellenlängen gemäss EN 13848-5 verwiesen. Da sind vermutlich die Basislängen und nicht die Wellenlängen gemeint.

Nach dieser Version werden geschwindigkeitsunabhängig als SES die maximalen Werte der Gleisgrenzverwindungskurve 1 aus Abb. 16 definiert.

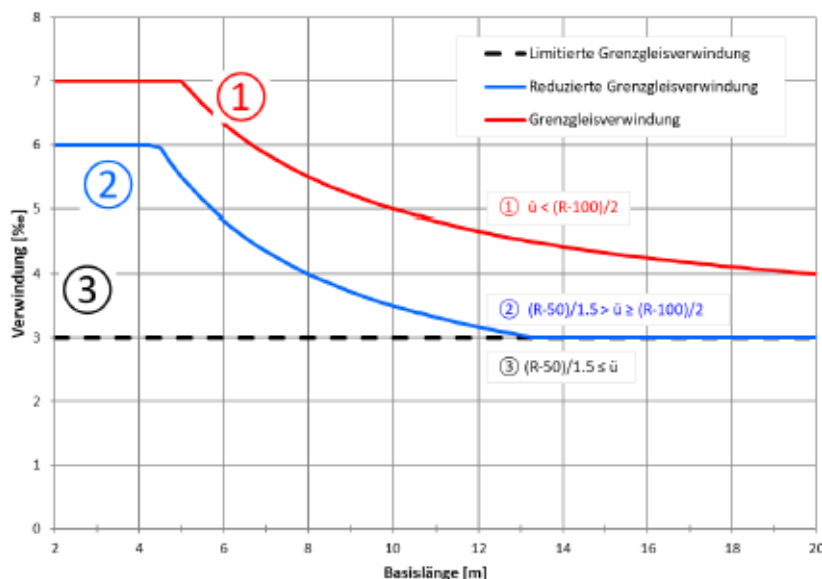
Folgende Einschränkungen werden angeführt:

- In Radien $R \leq 400$ m muss die Überhöhung die Anforderung $\ddot{u}_{\max} \leq R-100/2$ einhalten.
- In Radien $R \leq 275$ m muss die Überhöhung die Anforderung $\ddot{u}_{\max} \leq R-50/1.5$ einhalten ansonsten gilt durchgehend der Grenzwert von 3 ‰.

Damit wird die ORE B55 – Kurve vollständig ausgenutzt. Einzig im oberen Geschwindigkeitsbereich ab $V > 160$ km/h wird der maximale Grenzwert im Diagramm in Anlehnung an die EN 13848-5 [4] auf 5 ‰ begrenzt.

Verwindungsdiagramm

Die Grenzwerte aus dem nachfolgend dargestellten Diagramm sind direkt im Auswertesystem abgebildet und können dort ausgewertet werden.



Verwindungsdiagramm gemäss SN EN 13848-5 und basierend auf ORE B 55.
Hinweis: Die Kurve (2) kann nur in Bögen ≤ 400 m gelten, die Kurve (3) nur ≤ 275 m.
 $\ddot{u}$ = Überhöhung

Abbildung 16: Verwindungsdiagramm gemäss SBB R I-22070 Version 5-0 [11]

Gegenüber der Version 4-0 lassen sich folgende Feststellungen machen:

- Es ist nicht klar, ob die Einschränkung von $\ddot{u}$ in Radien $R \leq 275$ m gegenüber der Version 4-0 jetzt richtig übernommen wurde. Aus dem Text und dem Diagramm geht nicht eindeutig hervor, dass bei Einhaltung von $\ddot{u}_{\max} = (R-50)/1.5$ in Radien $R \leq 275$ m die Verwindung bis zur Kurve 2 ausgenützt werden könnte.
- Es ist ebenfalls nicht klar, ob die Einschränkung von $\ddot{u}$ in Radien $275 < R \leq 400$ m korrekt interpretiert wird. Aus dem Diagramm geht nicht eindeutig hervor, dass bei Einhaltung von $\ddot{u}_{\max} = (R-100)/2$ in Radien $275 < R \leq 400$ m die Verwindung bis zur Kurve 1 ausgenützt werden könnte. Wenn $\ddot{u}_{\max}$ überschritten wird, sollte die Kurve 2 nicht überschritten werden.
- Für die Geschwindigkeitsbereiche $120 < V_R \leq 160$ km/h wurden die zulässigen Grenzwerte der Verwindung teilweise um bis zu 4 ‰ erhöht vgl. Abb. 17.
- Für den Geschwindigkeitsbereich $160 < V_R \leq 230$ km/h wurden die zulässigen Grenzwerte der Verwindung teilweise um 2 bis 3 ‰ erhöht vgl. Abb. 17. Die bisherigen Überlegungen, dass die dynamischen Auswirkungen auf das Fahrzeug zu berücksichtigen sind, werden offenbar nicht mehr als notwendig betrachtet.
- Der in der AB-EBV in Art. 17 Ziff. 4.2 [5] für den Betriebszustand vorgeschriebene Grenzwert von 3 ‰ für Zuggleise und Basislängen > 8 m ist bei der Version 5-0 nicht mehr eingehalten, vgl. Kap. 4.4. Dieser Wert wurde bisher immer im Sinne einer SES behandelt.

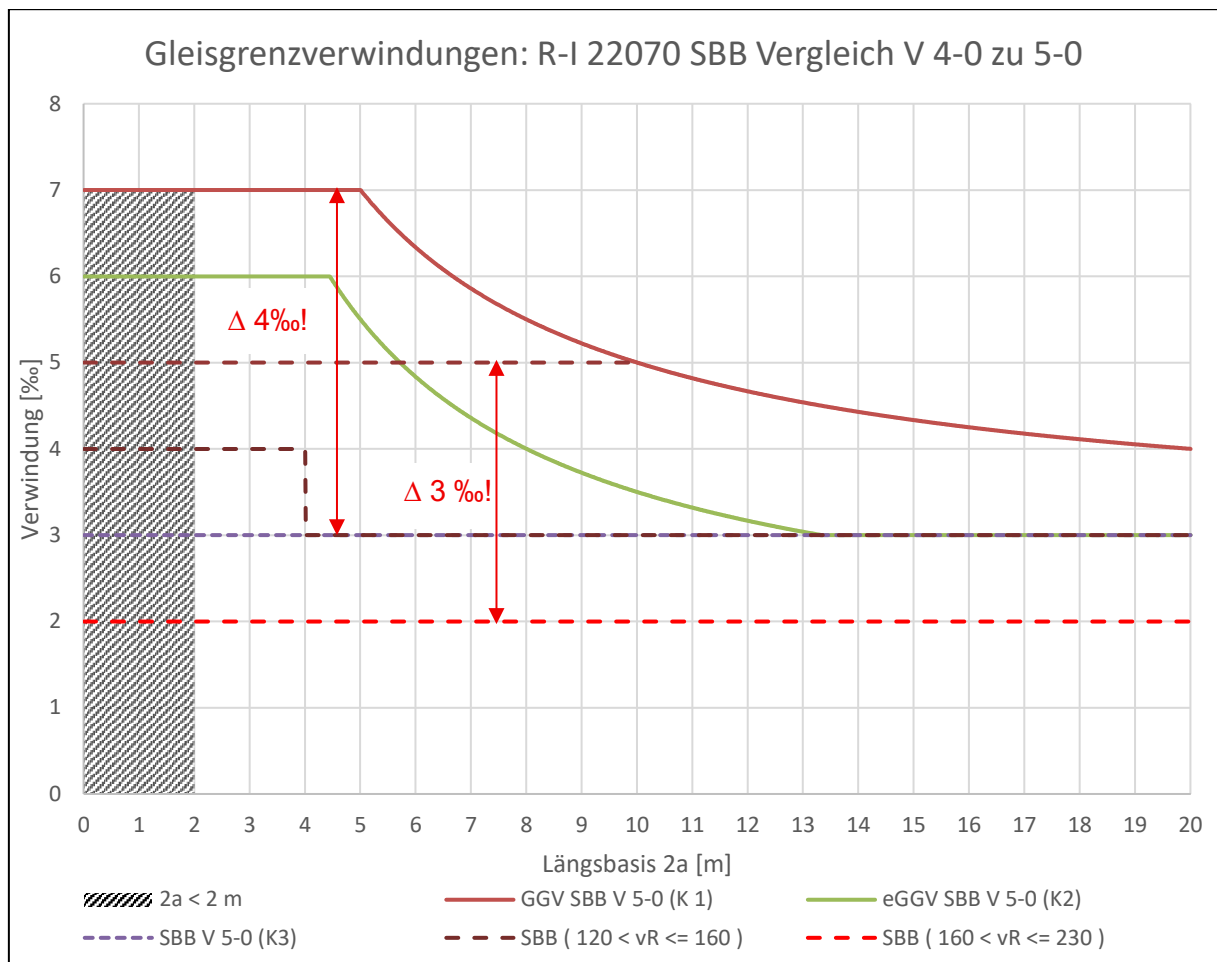


Abbildung 17: Gleisgrenzverwindungen R I-22070 Vergleich Version 4-0 zu 5-0

4.5.3. R I-22070 SOB

Die erste und bis heute gültige Version R I-22070 SOB [12] wurde 2019 erstmals erstellt und ist bis heute in Kraft. Sie gleicht der Struktur der damaligen Version SBB ergänzt mit SOB-spezifischen Vorgaben.

Die SES – Werte für die Verwindung entsprechen der Version 1-0 SBB [7] von 2009, vgl. Abb. 18 und Anhang 6.10.

4.4.1 Soforteingriffsschwelle (SES)

		$V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq$ 120 km/h	$120 < V_R \leq$ 160 km/h	$160 < V_R \leq$ 200 km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennmass 1435mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes vom Nennmass 1435mm über 100m	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵

¹ Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

² Grundlage UIC MB 700 3.2.2: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm

³ λ = Wellenlängenbereich (gemäss EN 13848-1)

⁴ bei Radien $R \leq 275$ m Verwindung max. 3 ‰ (Einschränkung ORE B 55)

⁵ aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁶ aufgrund netzweiter Zulassung Cargoexpress

Abbildung 18: SES-Werte Verwindung R I-22070 SOB [12]

Die Einführung von zwei zusätzlichen Spalten im Geschwindigkeitsbereich $V_R \leq 80$ km/h in der Version 2-0 der SBB (vgl. Abb. 14) wurde von den SOB bis heute nicht übernommen.

Die falsche Interpretation der Fussnote 4 (Einschränkung ORE B55) führte bei den SOB aufgrund der Häufigkeit von engen Bögen im Radienbereich $R \leq 275$ m zu SES – Fehlermeldungen, die keine waren, vgl. Bericht KPZ «SOB Grenzwerte Verwindung in engen Bögen» vom 11.12.2024 [1].

Bei der korrekten Anwendung der ORE B 55 – Bedingung in Radien $R \leq 275$ m hätten von den 2023 festgestellten 60 SES – Überschreitungen effektiv nur 3 betrachtet werden müssen.

Da die Gleisgeometriemessungen der SOB ebenfalls durch das Diagnosefahrzeug SBB durchgeführt werden, stellt sich die Frage wie die SOB mit der Version 5-0 der SBB umgehen soll.

Es ist davon auszugehen, dass die SBB ihre Vorgaben an die Verwindung direkt in das Fahrzeug übernimmt. Ob es da Spielraum für weitere unternehmensspezifischen Grenzwertkurven gibt, hängt von der Bereitschaft der SBB und den technischen Möglichkeiten ab. Die korrekte Anwendung der ORE B55 – Bedingung sollte aber für alle Bahnen implementiert werden.

4.5.4. R I-22070 BLS

Die erste Version des R I-22070 der BLS von 2007 wurde in enger Abstimmung mit den ersten Versionen SBB für die NBS Mattstetten – Rothrist erstellt vgl. Kap. 4.5.2. Die BLS hatte damals die Vorgabe, die Löttschberg-Basisstrecke für den Geschwindigkeitsbereich bis $V_R = 250$ km/h abzudecken. Wie die damalige SBB – Regelung hatte auch diese erste BLS – Regelung Pilotcharakter.

Die aktuelle Version 3-0 des I-22070 BLS [13] ist seit 12.2.2024 in Kraft. Auch diese Regelung ist angelehnt an die Struktur und Inhalte des R I-22070 SBB unter Berücksichtigung der BLS spezifischen Aspekte.

Die SES-Werte für die Verwindung sind in zwei Tabellen für den Geschwindigkeitsbereich $V_R \leq 80$ km/h (Abb. 19 und Anhang 6.11) und $80 < V_R \leq 230$ km/h (Abb. 20 und Anhang 6.12) festgelegt.

3.7.1 Tabelle der SES-Werte für Geschwindigkeiten $V_R \leq 80$ km/h

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq 65$ km/h	$65 < V_R \leq 80$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwerts vom Nennwert über 100 m	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm
Verwindung	Maximalwert bei Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ²	5 ‰ ²	4 ‰ ²
	Maximalwert bei Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ²	4 ‰ ²	4 ‰ ²
	Maximalwert bei Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰

- ¹ Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheits-relevanten Schäden an Komponenten der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse zu kontrollieren. Auch für Gleise mit einer Konstruktionsspurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.
- ² Bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{max} [mm] = \frac{(R [m] - 50)}{1.5}$ (Einschränkung AB EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) darf die Verwindung max. 3 ‰ betragen.
- ³ λ = Wellenlängenbereich gemäss SN EN 13848-1

Abbildung 19: SES-Werte Verwindung R I-22070 BLS $V_R \leq 80$ km/h [12]

3.7.2 Tabelle der SES-Werte für Geschwindigkeiten $80 < V_R \leq 230$ km/h

		$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 230$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwerts vom Nennwert über 100 m	+ 20 mm ² - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert bei Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ³	4 ‰ ³	2 ‰ ³
	Maximalwert bei Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ³	3 ‰ ³	2 ‰ ³
	Maximalwert bei Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰ ³	3 ‰ ³	2 ‰ ³

¹ Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Komponenten der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse zu kontrollieren. Auch für Gleise mit einer Konstruktionsspurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.

² Geschwindigkeitsbegrenzung auf $V = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbögen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten $S > 1455$ mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)

³ Grenzwert aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁴ λ = Wellenlängenbereich gemäss SN EN 13848-1

Abbildung 20: SES-Werte Verwindung R I-22070 BLS $80 < V_R \leq 230$ km/h [12]

Die SES-Werte für die Verwindung entsprechen der Version 4-0 der SBB vgl. Kap. 4.5.2. Die Fussnote 2 in Ziff. 3.7.1 der BLS – Regelung über die Einschränkung ORE B55 in Radien $R \leq 275$ m wurde ebenfalls unverändert von der SBB-Version übernommen und falsch interpretiert vgl. Kap. 4.5.2.

Da die Gleisgeometriemessungen der BLS ebenfalls durch das Diagnosefahrzeug SBB durchgeführt werden, stellt sich wie bei SOB die Frage wie die BLS mit der Version 5-0 der SBB umgehen soll insbesondere mit den höheren Werten im oberen Geschwindigkeitsbereich vgl. Abb. 17.

5. Fazit und Empfehlungen

Die Festlegung der Verwindungsgrenzwerte in engen Bögen basiert auch heute noch auf den Erkenntnissen des ORE-Berichtes B55 [2] zu den Untersuchungen der Entgleisungssicherheit von Güterwagen in Gleisverwindungen. Daraus wurden die beiden ORE-Kurven Bereich 1 und 2 mit den entsprechenden Einschränkungen der Überhöhung gemäss Abb. 3 definiert.

Diese Erkenntnisse wurden auch in die beiden EN-Normen EN 13803 [3] für die Trassierung und die EN 13848-5 [4] für die Anforderungen an die Gleislagequalität übernommen. In der EN 13848-5 wurde für $V > 200$ km/h der obere Grenzwert auf 5 ‰ festgelegt. Die Grundlage dafür ist in der Norm nicht referenziert. Zusätzlich ist in der Schweiz die nationale Abweichung zu beachten, dass in bestehenden Bögen, in denen die Überhöhung $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ überschritten wird, die Verwindung von 3 ‰ nicht überschritten werden darf.

In der AB-EBV [5] wurden im Grundsatz die Erkenntnisse des ORE-Berichtes B55 [2] übernommen. Diese sind in der Ziff. 3.4.2 (vgl. Abb. 9) aufgeführt. Zusätzlich wird in Ziff. 4.2 ein Grenzwert für den Betriebszustand von 3 ‰ bei Basislängen > 8 m für Zuggleise vorgegeben.

Diese Randbedingungen bildeten bis anhin die Grundlage für die Festlegung der Vorgaben von SBB, BLS und SOB in ihren Regelungen R I-22070.

Für die aktuell gültigen Regelungen von SBB, BLS und SOB lassen sich folgende Feststellungen machen:

- Mit der Version 5-0 der SBB wird die ORE B55 – Kurve vollständig ausgenützt. Einzig im oberen Geschwindigkeitsbereich ab $V > 160$ km/h wird der maximale Grenzwert in Anlehnung an die EN 13848-5 [4] auf 5 ‰ festgelegt.
- Für die Geschwindigkeitsbereiche $V > 120$ km/h wurden die zulässigen Grenzwerte in der Version 5-0 der SBB gegenüber der Version 4-0 teilweise um 2 bis 4 ‰ erhöht, vgl. Abb.17. Die bisherigen Überlegungen, dass die dynamischen Auswirkungen auf das Fahrzeug zu berücksichtigen sind, werden offenbar nicht mehr als notwendig betrachtet.
- Der in der AB-EBV in Art. 17 Ziff. 4.2 [5] für den Betriebszustand vorgeschriebene Grenzwert von 3 ‰ für Zuggleise und Basislängen > 8 m wird bei der Version 5-0 der SBB nicht mehr eingehalten, vgl. Kap. 4.4. Dieser Wert wurde bisher immer im Sinne einer SES behandelt.
- Die Einschränkung von $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ für Radien $R \leq 275$ m wurde bei den SBB (bis Version 4-0), SOB und BLS nicht korrekt umgesetzt. Dies führte zu unnötigen Fehlermeldungen.
- Die Interpretation der in der Version 5-0 der SBB zusätzlich eingeführten Einschränkung von $\ddot{u}_{\max} = (R-100) / 2$ für Radien $275 < R \leq 400$ m ist im Verwindungsdiagramm (vgl. Abb. 16) nicht klar genug beschrieben und könnte zu fehlerhaften Interpretationen führen.
- Die I-22070 von SOB und BLS basieren in Bezug auf die Grenzwerte der Verwindungen auf früheren Versionen der SBB. Da die Gleisgeometriemessungen für beide Bahnen durch das Diagnosefahrzeug SBB durchgeführt werden, ist zu klären, ob die Version 5-0 der SBB uneingeschränkt übernommen werden soll oder unternehmensspezifische Grenzwertkurven festgelegt werden können.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

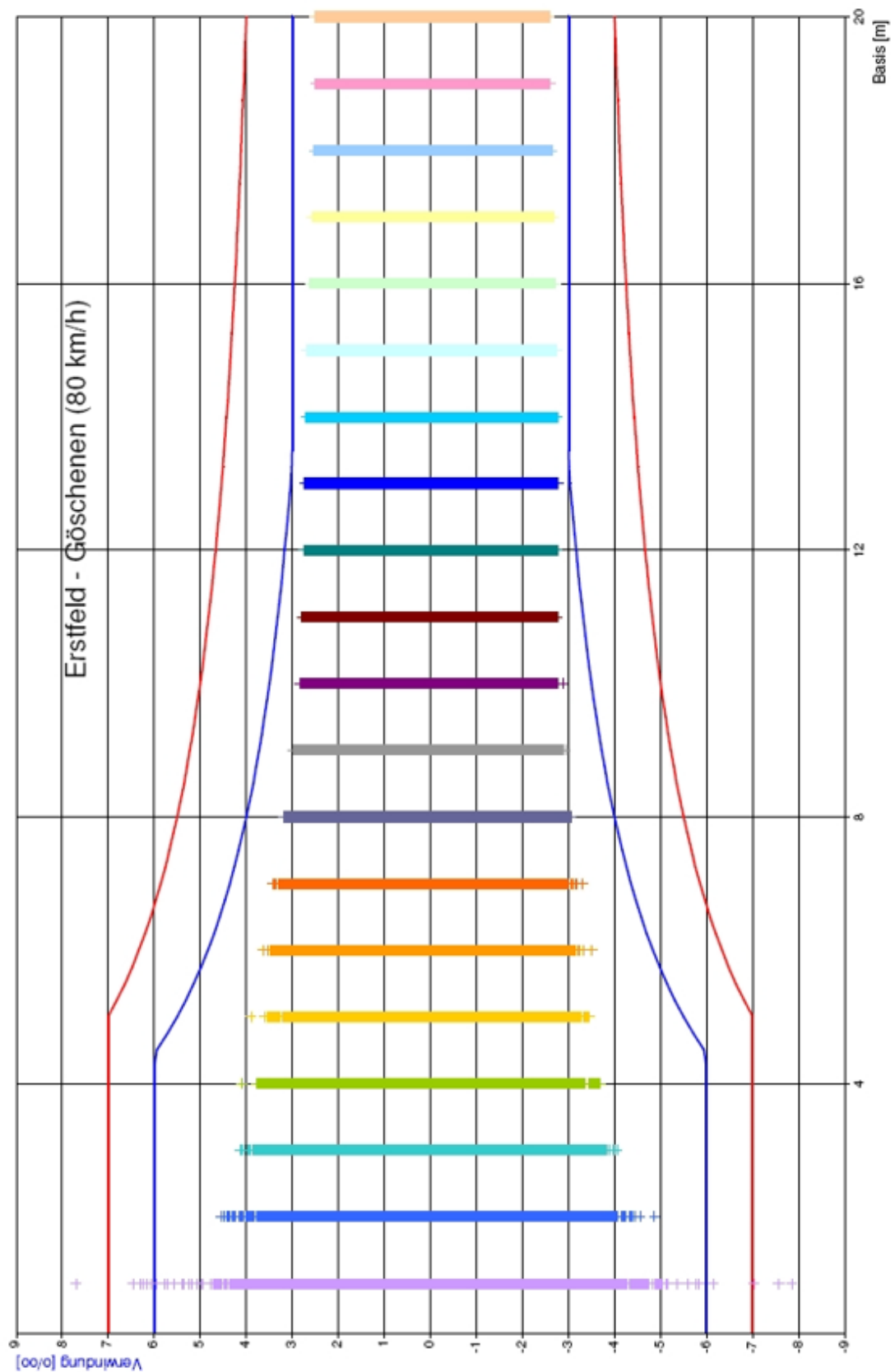
- Die vollständige Ausnützung der ORE B55 – Kurve ist grundsätzlich nicht falsch, birgt aber die Gefahr, dass die bisher gute Gleislagequalität auf ein schlechteres Niveau verschoben wird. Als obere Grenze sollte der Bereich der unteren ORE-Kurve (K2 in Abb. 17) nicht überschritten werden.

- Die Vorgabe der AB-EBV von 3 ‰ für Basislängen > 8 m sollte zwingend eingehalten werden.
- Die Einschränkung von $\ddot{u}_{\max} = (R-50) / 1.5$ für Radien $R \leq 275$ m sollte bei allen Bahnen korrekt umgesetzt werden.
- Die Einschränkung von $\ddot{u}_{\max} = (R-100) / 2$ für Radien $275 < R \leq 400$ m sollte ebenfalls klarer beschrieben werden.
- Für den Geschwindigkeitsbereich $V > 120$ km/h sollten die dynamischen Auswirkungen auf das Fahrzeug wieder besser berücksichtigt werden. D.h. die bisher in der Version 4-0 der SBB definierten Grenzwerte sollten beibehalten werden, da sonst die Gefahr besteht, dass lokale Gleisfehler z.B. Einbaumängel der Festen Fahrbahn erst nach 10 Jahren erkannt und behoben werden.
- Mit der gezielteren Verfolgung der Entwicklung der Verschlechterungsrate sollte eine bessere Prognose über das Erreichen der Eingriffsschwellen ermöglicht werden. Damit können frühzeitig Massnahmen geplant werden, damit bei Erreichen der SES keine sicherheitsrelevanten Situationen entstehen können.

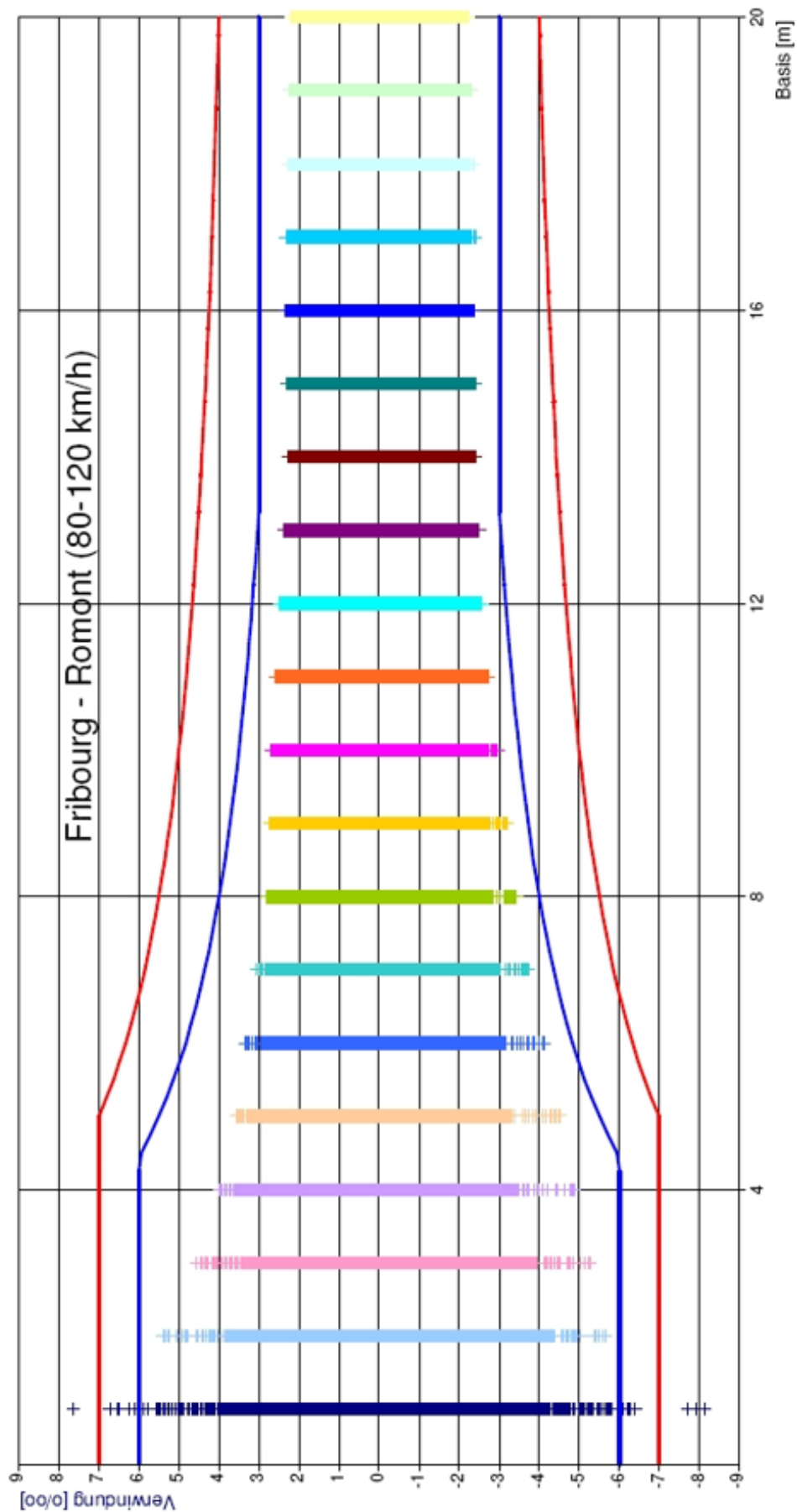
Abschliessend stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoller wäre, die SES – Werte in einem RTE schweizweit verbindlich zur erklären und die ES fallweise unternehmensintern festzulegen. Damit könnten allfällige Doppelspurigkeiten oder Missverständnisse bei der gegenseitigen Übernahme reduziert werden.

6. Anhang

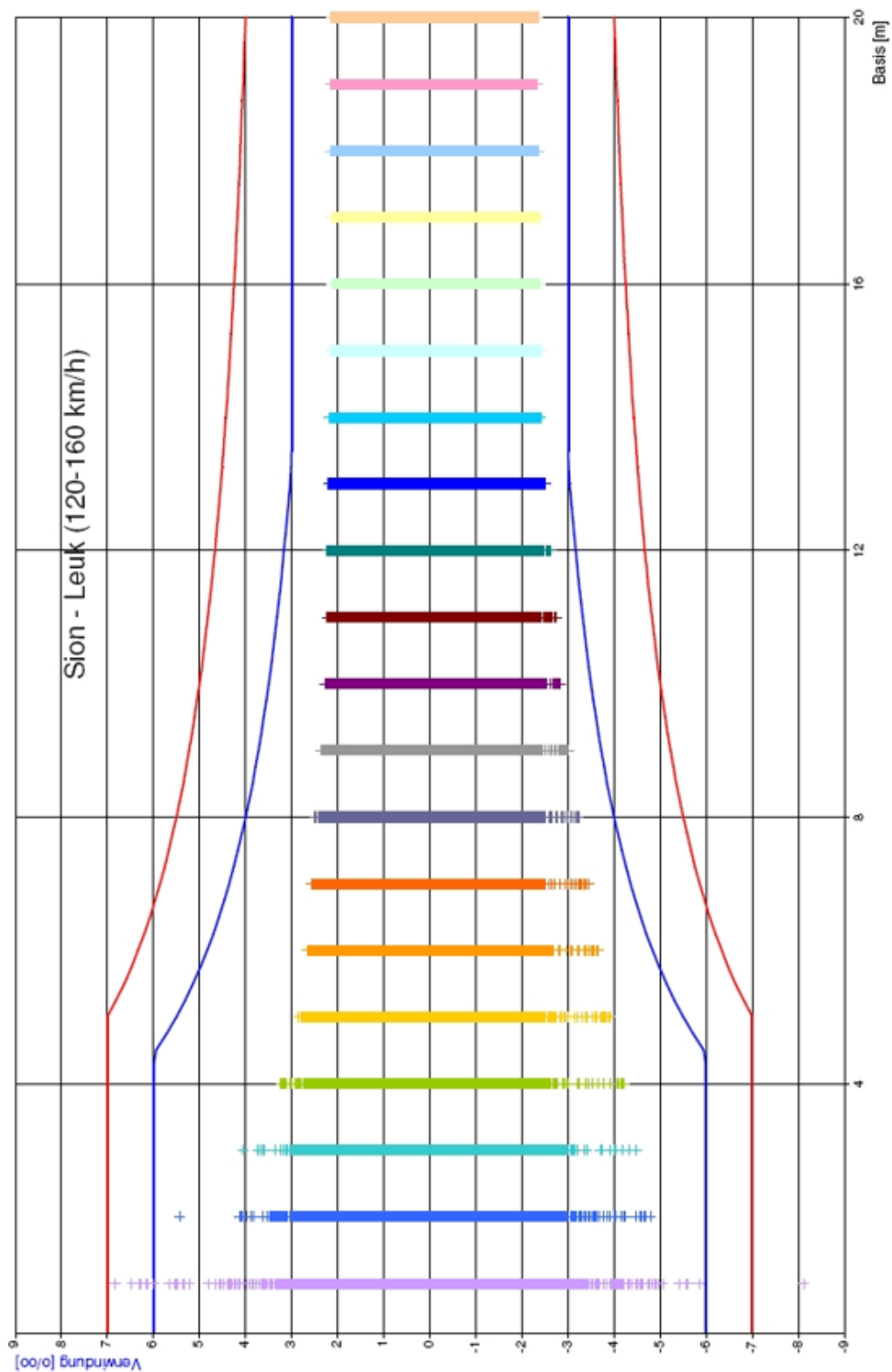
6.1. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (80 km/h)



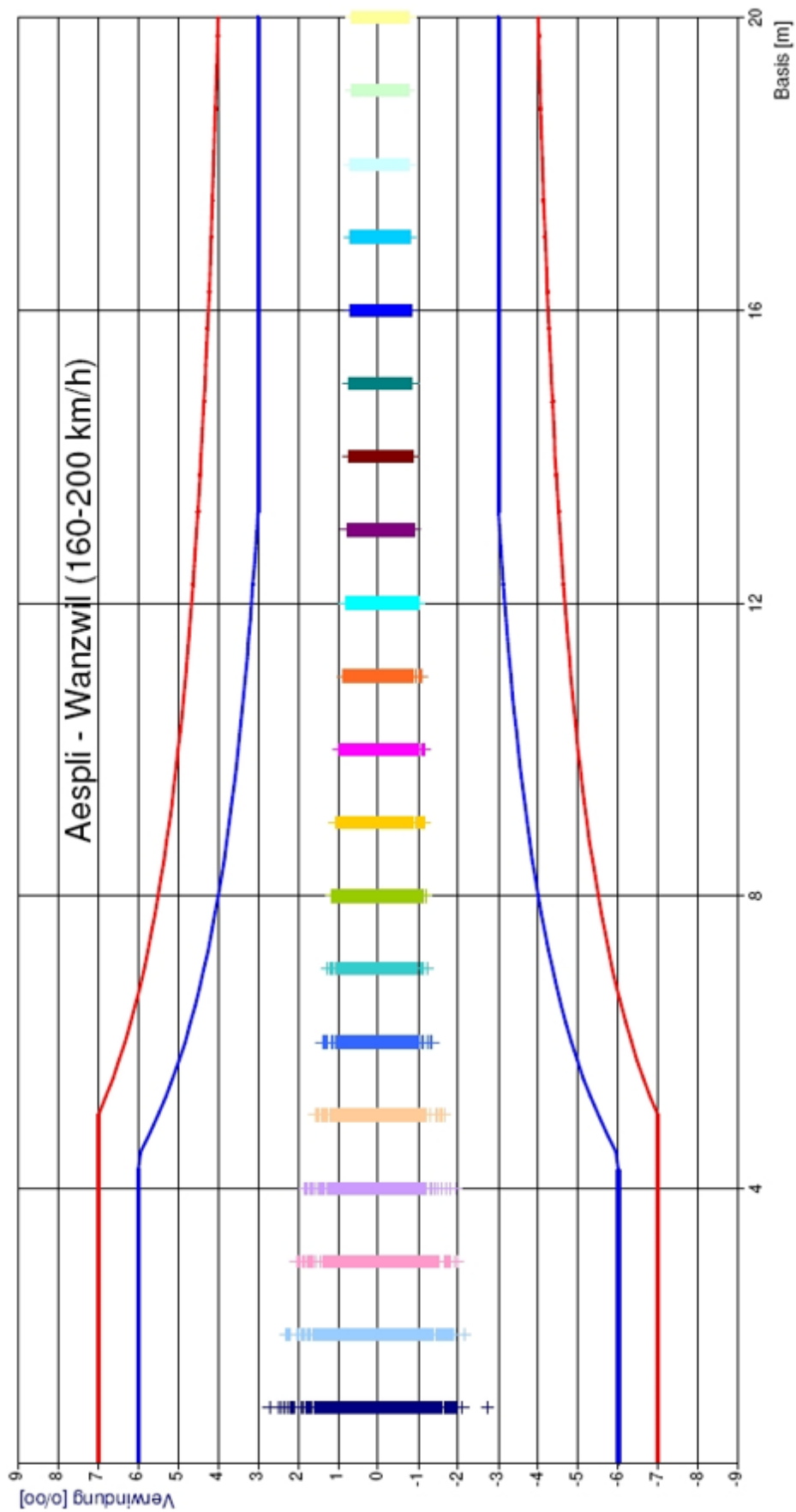
6.2. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (80 - 120 km/h)



6.3. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (120 - 160 km/h)



6.4. Vergleich Messwerte Verwindung zu ORE B55 (160 - 200 km/h)



6.5. R I-22070 SBB Version 1-0 vom 25.5.2009 SES

5.4.1 Soforteingriffsschwelle (SES)

		$V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 200$ km/h
Spurweite¹	max. Abweichung vom Nennwert	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes vom Nennwert über 100 m	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Differenz Spitze bis Mittelwert über eine gleitende Länge				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda^3 \leq 25 \text{ m}$	14 mm	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$				7 mm
	Standardabweichung: Mittelwert über ein symmetrisch gleitendes Intervall von 100m				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda^3 \leq 25 \text{ m}$		1,5 mm ⁶	1,5 mm ⁶	1,5 mm ⁶
Längshöhe	Differenz Spitze bis Mittelwert über eine gleitende Länge				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	16 mm	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$				12 mm
	Standardabweichung: Mittelwert über ein symmetrisch gleitendes Intervall von 100m				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$		2,1 mm ⁶	2,1 mm ⁶	2,1 mm ⁶

¹ Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

² Grundlage UIC MB 700 3.2.2: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm

³ λ = Wellenlängenbereich (gemäss EN 13848-1)

⁴ bei Radien $R \leq 275$ m Verwindung max. 3 ‰ (Einschränkung ORE B 55)

⁵ aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁶ aufgrund netzweiter Zulassung Cargoexpress

6.6. R I-22070 SBB Version 2-0 vom 14.5.2020 SES

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq 65$ km/h	$65 < V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 230$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ⁴	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	18 mm	16 mm	14 mm	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						7 mm
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	20 mm	18 mm	16 mm	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						12 mm

1) Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

Die Grenzwerte der Spurweite gelten für eine unbelastete Messung. Belastete Messungen mit einem Schienenfahrzeug sind nach der SES Matrix der SBB zu beurteilen.

Auch für Gleise mit einer konstruktiven Spurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.

2) Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbögen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)

3) entfällt

4) bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{max}[\text{mm}] = \frac{(R[\text{m}] - 50)}{1.5}$ (Einschränkung AB-EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) beträgt die Verwindung max. 3 ‰

5) aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

6.7. R I-22070 SBB Version 3-0 vom 1.12.2020 SES

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq 65$ km/h	$65 < V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 230$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vornabwert	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ⁴	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$	18 mm 16 mm	16 mm 14 mm	14 mm 10 mm	10 mm 8 mm	8 mm 7 mm	7 mm 7 mm
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$ D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$	20 mm 18 mm	18 mm 16 mm	16 mm 12 mm	12 mm 10 mm	10 mm 9 mm	9 mm 12 mm

- 1) Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.
Die Grenzwerte der Spurweite gelten für eine unbelastete Messung. Belastete Messungen mit einem Schienenfahrzeug sind nach der SES Matrix der SBB zu beurteilen.
Auch für Gleise mit einer konstruktiven Spurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.
- 2) Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)
- 3) entfällt
- 4) bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{max}[\text{mm}] = \frac{(R[\text{m}]-50)}{1.5}$ (Einschränkung AB-EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) beträgt die Verwindung max. 3 ‰
- 5) aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

6.8. R I-22070 SBB Version 4-0 vom 1.4.2022 SES

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq 65$ km/h	$65 < V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 230$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ⁴	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	18 mm	16 mm	14 mm	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						7 mm
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	20 mm	18 mm	16 mm	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$						12 mm

- Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.
Die Grenzwerte der Spurweite gelten für eine unbelastete Messung. Belastete Messungen mit einem Schienenfahrzeug sind nach der SES Matrix der SBB zu beurteilen.
Auch für Gleise mit einer konstruktiven Spurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.
- Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)
- entfällt
- bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{max}[\text{mm}] = \frac{(R[\text{m}] - 50)}{1.5}$ (Einschränkung AB-EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) beträgt die Verwindung max. 3 ‰
- aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

6.9. R I-22070 SBB Version 5-0 vom 1.12.2025 SES

3.5.1. Soforteingriffsschwellen Gleisgeometrie (SES)

		SPERRE	40 ≤ V ≤ 65 km/h	65 < V ≤ 80 km/h	80 < V ≤ 120 km/h	120 < V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 230 km/h
Spurweite ^{a)}	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 9 mm	+ 35 mm - 9 mm	+ 35 mm - 7 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes über 100 m vom Nennwert		+ 25 mm ^{b)} - 7 mm ^{b)}	+ 25 mm - 5 mm	+ 25 mm ^{b)} - 4 mm	+ 25 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	c)	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm
Äquivalente Konizität	Berechnung gemäss Anhang B				Untersuchung gemäss INF TSI, nach Meldung durch EVU		
Verwindung	Wellenlängen gemäss SN EN 13848-5	Siehe Verwindungsdiagramm					Diagramm, max 5‰ ^{a)}
Richtung	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: 3 m < λ ≤ 25 m	25 mm	22 mm	22 mm	17 mm	14 mm	12 mm
	D2: 25 m < λ ≤ 70 m						18 mm ^{f)}
Längshöhe	Definition gemäss SN EN 13848-1						
	D1: 3 m < λ ≤ 25 m	31 mm	28 mm	28 mm	28 mm	23 mm	20 mm
	D2: 25 m < λ ≤ 70 m						24 mm ^{f)}

- a) Die sicherheitsrelevante Funktion der Schienenbefestigung muss jederzeit gewährleistet sein. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.
Auch für Gleise mit einer konstruktiven Spurweite von 1437 mm gelten immer die aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.
Bei Spurerweiterung mit $R \leq 185$ m gilt immer ein Minimalwert von 1430 mm.
- b) Geschwindigkeitsbegrenzung auf $V = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbögen mit Radien $R < 600$ m bei gleitendem Mittelwert der Spurweite > 1455 mm (ehemals UIC MB 700, Ziffer 3.2.2).
- c) Bei Überschreitung der maximalen Überhöhungsabweichung von ± 15 mm ist eine örtliche technische Beurteilung nötig. Sie umfasst die örtliche Bestimmung des effektiven Überhöhungsfehlbetrages $\bar{u}_{\text{eff}}$ mit der gemessenen Überhöhung $\bar{u}_{\text{gemessen}}$ in Abhängigkeit von Geschwindigkeit V (für die Zugreihen A, R und N) und Bogenradius R .

$$\bar{u}_{\text{eff}} = ((11.8 \cdot V^2)/R) - \bar{u}_{\text{gemessen}}$$
 $\bar{u}_{\text{eff}}$ darf die Grenzwerte gemäss AB-EBV zu Art 17 (AB 17) Absatz 3.6.2.1 und für Zwangspunkte Absatz 3.6.2.2 nicht überschreiten.
Ansonsten ist das Gleis zu sperren.
Das Lichtraumprofil ist zwingend zu beachten. Die Lichtraumprofilrechnung geht von einer maximalen Abweichung von 15 mm aus (AB-EBV, AB 18.2, Ziffer 2.1).
Bei Unterschreitung der Überhöhung um mehr als 15 mm ist die Fahrgeschwindigkeit um 10% zu reduzieren, jeweils aufgerundet auf die nächsthöhere, ohne Rest durch 10 teilbare Zahl. Basis für die Reduktion ist die Geschwindigkeit der Zugreihe A mit der höchsten Bremsreihe, normalerweise VA 115. Bei $V_A = 90$ km/h ergibt dies eine LFS 80 km/h.
Eine Überhöhung von 165 mm darf auf Streckenabschnitten mit Überhöhungsgrenzwert im Normalfall (160 mm) nicht überschritten werden.
- d) aufgehoben
- e) Auf Strecken mit $V > 160$ km/h darf die Verwindung max. 5‰ betragen, ansonsten ist umgehend eine Langsamfahrstelle mit $V = 160$ km/h einzurichten (aus SN EN 13848-5:2017, Kapitel 7 für $V > 200$ km/h, hier angewandt ab 160 km/h).
- f) Bei Grenzwerten, welche erst ab einer bestimmten Geschwindigkeit ausgewertet werden, ist bei einer Langsamfahrstelle die Untergrenze der untersten definierten Kategorie als inklusive zu verstehen. So ist beispielsweise bei einer äquivalenten Konizität von 0.90 eine LFS 80 km/h anzuordnen.

6.10. R I-22070 SOB Version vom 1.7.2019 SES

4.4.1 Soforteingriffsschwelle (SES)

		$V_R \leq 80$ km/h	$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 200$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennmass 1435mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwertes vom Nennmass 1435mm über 100m	+ 32 mm - 4 mm	+ 20 ² mm - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	4 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ⁴	4 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
	Maximalwert Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰ ⁵	3 ‰ ⁵	2 ‰ ⁵
Richtung	Differenz Spitze bis Mittelwert über eine gleitende Länge				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	14 mm	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$				7 mm
	Standardabweichung: Mittelwert über ein symmetrisch gleitendes Intervall von 100m				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$		1,5 mm ⁶	1,5 mm ⁶	1,5 mm ⁶
Längshöhe	Differenz Spitze bis Mittelwert über eine gleitende Länge				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$	16 mm	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$				12 mm
	Standardabweichung: Mittelwert über ein symmetrisch gleitendes Intervall von 100m				
	D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$		2,1 mm ⁶	2,1 mm ⁶	2,1 mm ⁶

¹ Die Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenutzt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Teilen der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse diesbezüglich zu kontrollieren.

² Grundlage UIC MB 700 3.2.2: Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbogen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten > 1455 mm

³ λ = Wellenlängenbereich (gemäss EN 13848-1)

⁴ bei Radien $R \leq 275$ m Verwindung max. 3 ‰ (Einschränkung ORE B 55)

⁵ aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁶ aufgrund netzweiter Zulassung Cargoexpress

6.11. R I-22070 BLS Version vom 12.2.2024 SES $V_R \leq 80$ km/hI-22070
Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen

BLS Netz AG

3.7 Soforteingriffsschwellen (SES) der Gleisgeometrie**3.7.1 Tabelle der SES-Werte für Geschwindigkeiten $V_R \leq 80$ km/h**

		$V_R \leq 40$ km/h	$40 < V_R \leq$ 65 km/h	$65 < V_R \leq$ 80 km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwerts vom Nennwert über 100 m	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm	+ 32 mm - 4 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 15 mm	± 15 mm	± 15 mm
Verwindung	Maximalwert bei Basis $2 < L \leq 4$ m	6 ‰ ²	5 ‰ ²	4 ‰ ²
	Maximalwert bei Basis $4 < L \leq 8$ m	5 ‰ ²	4 ‰ ²	4 ‰ ²
	Maximalwert bei Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰	3 ‰	3 ‰
Richtung	D1: $3 \text{ m} < \lambda^3 \leq 25 \text{ m}$	18 mm	16 mm	14 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda^3 \leq 70 \text{ m}$			
Längshöhe	D1: $3 \text{ m} < \lambda^3 \leq 25 \text{ m}$	20 mm	18 mm	16 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda^3 \leq 70 \text{ m}$			

¹ Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheits-relevanten Schäden an Komponenten der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse zu kontrollieren. Auch für Gleise mit einer Konstruktionsspurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.

² Bei Radien $R \leq 275$ m (Einschränkung ORE B 55) oder bei einer Überhöhung grösser als $\ddot{u}_{max} [mm] = \frac{(R [m] - 50)}{1.5}$ (Einschränkung AB EBV zu Art 17, AB 17, Ziffer 4.2.4) darf die Verwindung max. 3 ‰ betragen.

³ λ = Wellenlängenbereich gemäss SN EN 13848-1

6.12. R I-22070 BLS Version vom 12.2.2024 SES $80 < V_R \leq 230$ km/h

I-22070
Einbau, Kontrollen und Unterhalt von Gleisen

BLS Netz AG

3.7.2 Tabelle der SES-Werte für Geschwindigkeiten $80 < V_R \leq 230$ km/h

		$80 < V_R \leq 120$ km/h	$120 < V_R \leq 160$ km/h	$160 < V_R \leq 230$ km/h
Spurweite ¹	max. Abweichung vom Nennwert 1435 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 35 mm - 5 mm	+ 28 mm - 5 mm
	max. Abweichung des Mittelwerts vom Nennwert über 100 m	+ 20 mm ² - 4 mm	+ 20 mm - 4 mm	+ 20 mm - 3 mm
Überhöhung	max. Abweichung vom Vorgabewert	± 14 mm	± 12 mm	± 11 mm
Verwindung	Maximalwert bei Basis $2 < L \leq 4$ m	4 ‰ ³	4 ‰ ³	2 ‰ ³
	Maximalwert bei Basis $4 < L \leq 8$ m	4 ‰ ³	3 ‰ ³	2 ‰ ³
	Maximalwert bei Basis $8 < L \leq 20$ m	3 ‰ ³	3 ‰ ³	2 ‰ ³
Richtung	D1: $3 \text{ m} < \lambda^4 \leq 25 \text{ m}$	10 mm	8 mm	7 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda^4 \leq 70 \text{ m}$			
Längshöhe	D1: $3 \text{ m} < \lambda^4 \leq 25 \text{ m}$	12 mm	10 mm	9 mm
	D2: $25 \text{ m} < \lambda^4 \leq 70 \text{ m}$			

¹ Grenzwerte der Spurweite können nur dann ausgenützt werden, wenn dabei keine sicherheitsrelevanten Schäden an Komponenten der Schienenbefestigung aufgetreten sind. Der Zustand der Schienenbefestigung ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse zu kontrollieren. Auch für Gleise mit einer Konstruktionsspurweite von 1437 mm gelten immer die hier aufgeführten SES-Grenzwerte bezogen auf die Nennspurweite von 1435 mm.

² Geschwindigkeitsbegrenzung auf $V = 80$ km/h für Güterwagen in Gleisbögen mit Radien $R < 600$ m bei Spurweiten $S > 1455$ mm (ehemals UIC Merkblatt 700, Ziffer 3.2.2)

³ Grenzwert aufgrund dynamischer Auswirkungen auf das Fahrzeug

⁴ λ = Wellenlängenbereich gemäss SN EN 13848-1