

Regelwerkversion gültig ab	2-0 19.03.2018	Vertraulichkeitsklassifikation Eigner Betroffene Prozesse verfügbare Sprachen	Intern I-AT-FW-TNZ Netzzugang DE, FR
Betroffene Divisionen Spezifische Empfänger / Verteiler Ersatz für Zuordnung	Infrastruktur, Personenverkehr, Cargo EVU Leitung, Fahrzeughersteller Version 1-0 Siehe Ziffer 1.3.		

Technischer Netzzugang: Regelung Strecken mit Radien $R < 250$ m (Prüfbereich 5)

Infrastruktur-Anforderung Interaktion Rad/Schiene: Technische Spezifikation für den fahrtechnischen Nachweis zur Befahrbarkeit von Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m auf dem normalspurigen Schienennetz der SBB Infrastruktur und anderer Schweizer Infrastrukturbetreiberinnen in Anlehnung an die Europäische Norm EN 14363



Abbildung (Abb.) 1: 200 m-Gleisbogen mit nachfolgendem 178 m-Gegenbogen (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

Inhaltsverzeichnis

1.	Allgemeines	4
1.1.	Ausgangslage, Ziel	5
1.1.1.	Ausgangslage	5
1.1.2.	Ziel	6
1.2.	Geltungsbereich.....	7
1.3.	Übergeordnete und zugehörige Dokumente	9
1.3.1.	Grundlagen für die Beurteilung der Interaktion Rad/Schiene.....	9
1.3.2.	Regelungen	10
1.4.	Begriffe und Abkürzungen	11
2.	Befahrbarkeit, Referenzstrecken, Trassierung und Geschwindigkeit	15
2.1.	Befahrbarkeit von fahrtechnisch anspruchsvollen Strecken mit extra kleinen Radien $R < 250$ m.....	15
2.2.	Geschichtlicher Hintergrund.....	15
2.3.	Referenzstrecken für die fahrtechnische Prüfung $R < 250$ m.....	16
2.3.1.	Referenzstrecke Bern Fischermätteli – Schwarzenburg	16
2.3.2.	Ausweichstrecke Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln.....	17
2.3.3.	Ausweichstrecke Le Day – Le Pont	18
2.4.	Referenzstrecke für den vereinfachten Nachweis $R < 250$ m	19
2.4.1.	Referenzstrecke vereinfachter Nachweis Spiez – Interlaken-Ost	20
2.5.	Spezielle Aspekte von Trassierung und Oberbau in engen Bögen	21
2.5.1.	Besondere Verhältnisse in bestehenden Anlagen (Trassierung der Alpenbahnen)	21
2.5.2.	Oberbau in engen Bögen.....	23
2.6.	Überhöhungsfehlbetrag im Prüfbereich 5	24
2.7.	Geschwindigkeit und Grenzwerteinhaltung.....	25
3.	Anforderungen und Beurteilungskriterien	26
3.1.	Zulässige Radaufstands- und Führungskräfte	27
3.1.1.	Vertikalkräfte gemäss AB-EBV	27
3.1.2.	Horizontalkräfte gemäss AB-EBV	27
3.1.3.	Vertikalkräfte gemäss UIC 57B/9-2 und SBB-Weisung.....	27
3.1.4.	Horizontalkräfte gemäss UIC 57B/9-2 und SBB-Weisung	27
3.1.5.	Zulässige Vertikalkräfte im Prüfbereich 5.....	28
3.1.6.	Zulässige Horizontalkräfte im Prüfbereich 5	28
3.2.	Kombinierte Gleisbeanspruchungskraft B (vertikal und horizontal).....	28
3.2.1.	Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Lokomotiven	29
3.2.2.	Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Wagen	29
3.2.3.	Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Triebzüge.....	29
3.2.4.	Darstellung des Zusammenhangs der Kräfte Y, Q und B	29
3.3.	Zusätzliche für die Fahrwegbeanspruchung zu dokumentierende Parameter	30
3.4.	Gleisverschiebekraft gemäss AB-EBV	31
3.5.	Quotient aus Führungs- und Radaufstandskraft	32
3.5.1.	Quotient für Sicherheit gegen Entgleisen (Y/Q)	32
3.5.2.	Quotient für Beurteilung der Fahrwegbeanspruchung (Y/Q).....	33
3.6.	Prüfbedingungen für Auswertungsabschnitte in Gleisbögen (erweitert).....	34
3.7.	Auszuwertende Messgrössen inkl. Grenzwerte im Prüfbereich 5	35
3.8.	Zusätzlich zu dokumentierende Messgrössen	37
3.9.	Auswertung und Darstellung der Messergebnisse.....	38

3.9.1. Andere Nachweise für den Prüfbereich 5 (bereits geprüfte Fahrzeuge) 39

3.10. Anordnung der Messradsätze, Fahrtrichtung und Fahrzeugkonfiguration 40

3.10.1. Fahrtrichtung..... 40

3.10.2. Fahrzeugkonfiguration 40

3.11. Ausfallverhalten (aussergewöhnliche Fahrzeugzustände)..... 41

3.11.1. Fahrtechnisch relevante Ausfallzustände 41

3.11.2. Ausfall aktiver Systeme..... 41

3.12. Spurkranzschmierung 42

3.13. Pufferschmier- und Kuppelzustand 42

3.14. Fahrzeugzustand 42

3.15. Beladungszustände 43

3.15.1. Beladungszustände für Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszüge 43

3.15.2. Beladungszustände für Personenfahrzeuge mit Ausnahme von
Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszügen 44

3.15.3. Beladungszustände gemäss AB-EBV 44

3.16. Radprofil 45

3.17. Faktoren zur Gleislagekorrektur..... 45

3.18. Simulationen 45

4. Alphabetische Übersicht für die Nachweisführung..... 46

5. Dokumentation..... 47

Anhang A: Strecken mit hoher Radiendichte $R < 250$ m 48

A.1 Übersichtskarte Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra
kleinen Radien $R < 250$ m (ganzes Normalspurnetz) 48

A.2 Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m (ganzes Normalspurnetz).... 49

Änderungsverzeichnis

Version	Kapitel	Änderung
2-0	Alle	Überarbeitung aufgrund Abschluss der Grundlagenuntersuchungen (Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB)
1-0		Erstausgabe (31.10.2014)

1. Allgemeines

Das Schweizer Normalspurnetz als Teil des europäischen Eisenbahnnetzes wird grundsätzlich interoperabel betrieben. Die hoheitliche Zulassung / Bewilligung für den Einsatz von Eisenbahnfahrzeugen obliegt in der Schweiz dem Bundesamt für Verkehr (BAV). Das BAV ist ein Amt innerhalb des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Es befasst sich mit allen Fragen der schweizerischen Verkehrspolitik und erteilt beispielsweise Zulassungen / Bewilligungen nach Prüfung der durch den Antragsteller eingereichten Nachweise. Der Antragsteller ist für die Vollständigkeit und Richtigkeit der eingereichten Nachweise verantwortlich.

Unter Angabe dieser rechtlichen Rahmenbedingungen zeigt die vorliegende Regelung dem Antragsteller auf, wie ein Nachweis für das Befahren von Strecken mit extra kleinen Radien unter den Aspekten Fahrsicherheit und Fahrwegbeanspruchung zu erbringen ist. Diese technische Spezifikation soll dabei möglichst alle Anforderungen und Beurteilungskriterien für sämtliche Varianten von Eisenbahnfahrzeugen aufzeigen. Im Sinne einer Risikobetrachtung sind Evaluationen, beispielsweise bezüglich der Anordnung der Messradsätze oder Push/Pull-Betrieb, durch den Antragsteller durchzuführen und in der Versuchsspezifikation nachvollziehbar zu dokumentieren.

Der Nachweis zu den extra kleinen Radien $R < 250$ m ist ein Bestandteil der Unbedenklichkeitserklärung Interaktion Rad/Schiene, welche durch den Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur ausgestellt wird (siehe auch Ziffer 5.).



Abb. 1-1: Typische Trassierung mit fahrtechnisch anspruchsvollen Gleisbögen mit $R < 250$ m (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

1.1. Ausgangslage, Ziel

1.1.1. Ausgangslage

Die Schweiz verfügt über ein Eisenbahnsystem mit vertaktetem Verkehr und hoher Zugsdichte. Zur Gewährleistung der Anschlüsse und zur optimalen Nutzung der Kapazität auf dem Normalspurnetz müssen die Züge nach den vorgegebenen Zugreihen gemäss Streckentabellen RADN verkehren können.

Um Fahrzeuge zulassen zu können, muss ein fahrtechnischer Nachweis vorgelegt werden. In den europäischen Vorgaben für die fahrtechnische Prüfung von Eisenbahnfahrzeugen, der EN 14363, ist die Prüfung und Beurteilung von Fahrzeugen auf Strecken mit Radien $R \geq 250$ m normativ geregelt. Damit werden die Bedürfnisse des schweizerischen Eisenbahnbetriebs jedoch nicht ausreichend abgedeckt, da die Prüfung von Fahrzeugen auf Strecken mit Radien $R < 250$ m (extra kleine Radien) durch die fahrtechnischen Vorgaben nicht definiert ist.

Die Trassierung des Normalspurschienennetzes der SBB Infrastruktur und anderer Schweizer Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) weist eine verhältnismässig grosse Anzahl an Strecken auf, die Gleisbögen mit Radien $R < 250$ m beinhalten, welche im Vergleich zu anderen europäischen Ländern unter Berücksichtigung der gefahrenen Geschwindigkeiten fahrtechnisch sehr anspruchsvoll sind. Dadurch werden in Kombination mit den betrieblichen Randbedingungen an die Homologation neuer Fahrzeuge besondere Anforderungen gestellt, denen durch gesonderte fahrtechnische Nachweise Rechnung getragen werden muss. In den Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV) wie auch im internationalen UIC-Merkblatt 518 wird auf den nicht normativ zu prüfenden Bereich (Gleisbögen mit Radien $R < 250$ m) hingewiesen (siehe Ziffer 3.).

Früher wurde den besonderen Verhältnissen von Strecken bei der Fahrzeugbeschaffung und beim Fahrzeugeinsatz Rechnung getragen. Umso schwieriger ist es heute, mit standardisierten und oftmals einseitig kostenoptimierten Fahrzeugen alle Bedürfnisse abdecken zu wollen. Aus diesem Grund sind die extra kleinen Gleisbögen mit Radien $R < 250$ m (Prüfbereich 5) kein länderübergreifendes Zulassungskriterium. Für das Fahren auf entsprechenden Strecken wird der Prüfbereich 5 jedoch als technisches Netzzugangskriterium betrachtet und national unterschiedlich abgehandelt.¹

¹ Notifizierte nationale technische Vorschrift (NNTV) Schweiz (CH-TSI LOC&PAS-003).

1.1.2. Ziel

Grundsätzlich geht es bei der fahrtechnischen Prüfung auf Strecken mit Radien $R < 250$ m darum, den Nachweis zu erbringen, dass die Fahrzeuge die gestellten Anforderungen hinsichtlich Fahrsicherheit und Fahrwegbeanspruchung erfüllen. Es gilt also nachzuweisen, dass ein Fahrzeug im Betrieb die spezifischen Anforderungen des Schweizer Normalspurschienennetzes für alle relevanten Betriebszustände erfüllt (Funktionsnachweis).

Die fahrtechnische Prüfung im Prüfbereich 5 orientiert sich an der EN 14363, dem Stand der Technik in Österreich, wo eine entsprechende Prüfung seit vielen Jahren konsequent verlangt und durchgeführt wird, sowie den Erkenntnissen aus den Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB. Die Messung, Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse sind normativ nicht definiert und müssen im Vorfeld durch eine Versuchsspezifikation mit dem BAV sowie dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur festgelegt werden.

Das Ziel des vorliegenden Dokumentes ist es, dem Antragsteller eine Regelung mit den technischen Spezifikationen (Prüfbedingungen und Beurteilungskriterien) zur Verfügung zu stellen, auf dessen Grundlage er den erforderlichen fahrtechnischen Nachweis für den Prüfbereich 5 auf definierten Referenzstrecken erwirken kann. Dieser Nachweis ist einer der geforderten Bestandteile für die Ausstellung einer Unbedenklichkeitserklärung der SBB Infrastruktur, sofern entsprechende Strecken befahren werden sollen.

Die in dieser Regelung enthaltenen Prüfkriterien und Grenzwerte wurden mittels Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB unter der Leitung des BAV zwischen 2014 und 2017 verifiziert.

1.2. Geltungsbereich

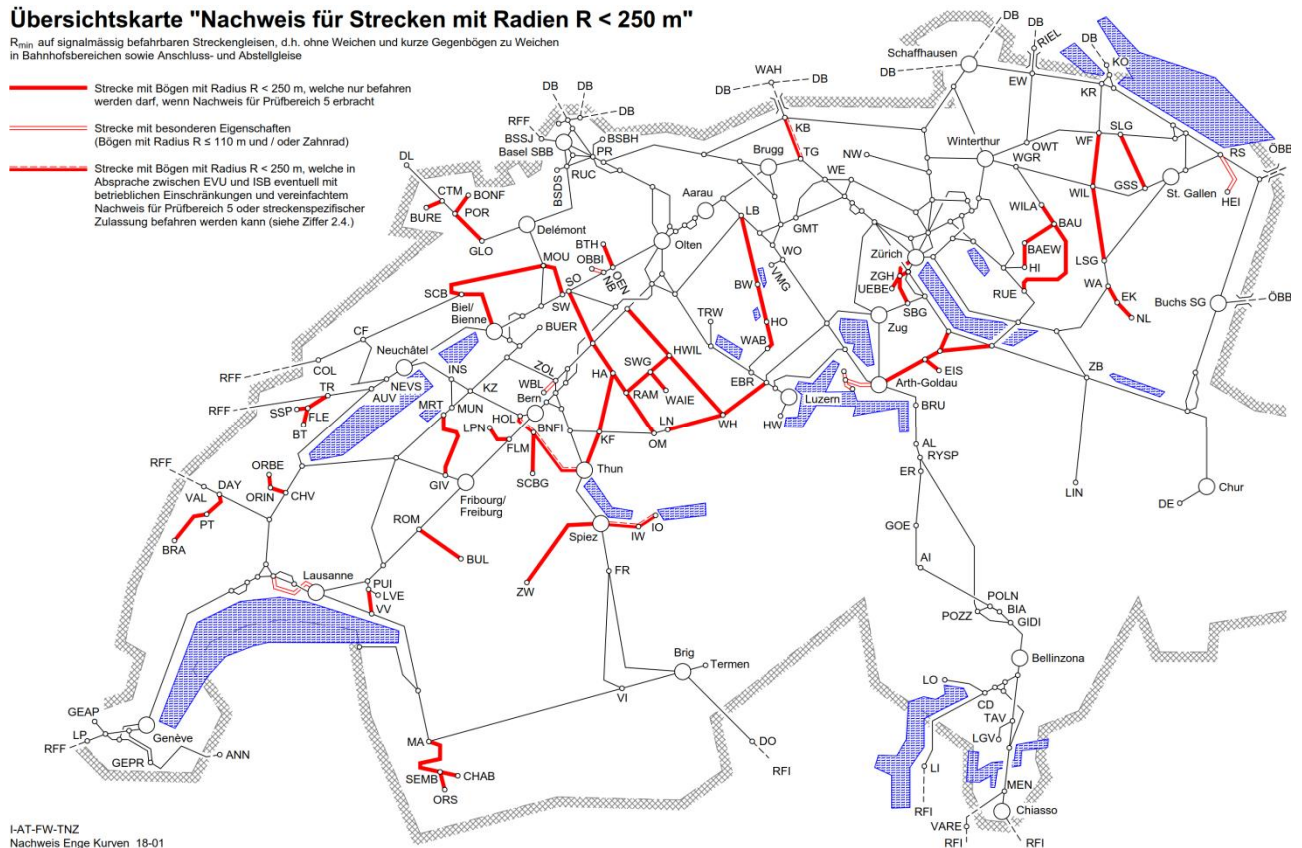
Die vorliegende technische Regelung gilt auf dem ganzen schweizerischen Normalspurschiennetz der SBB Infrastruktur und anderer ISB.

Da das standardisierte Verfahren explizit nur Bogenradien $R \geq 250$ m abdeckt, wird die spezifische fahrtechnische Prüfung im Prüfbereich 5 für viele normgeprüfte Fahrzeuge eine anspruchsvolle Herausforderung darstellen. Da zudem die Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m für den internationalen Verkehr auf den Hauptachsen wenig relevant sind, ist eine Prüfung für $R < 250$ m nur dann zu absolvieren, wenn eine solche Strecke befahren werden soll. Aus diesem Grund sind die Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m von den ISB als solche ausgewiesen und mit spezifischen Netzzugangsbedingungen versehen. Ohne entsprechenden Nachweis können die nachfolgenden in der Übersichtskarte rot eingezeichneten Strecken² nicht befahren werden (ganzes Normalspurnetz, siehe auch Anhang A):

Übersichtskarte "Nachweis für Strecken mit Radien $R < 250$ m"

R_{min} auf eignungsmässig befahrbaren Streckengleisen, d.h. ohne Weichen und kurze Gegenbögen zu Weichen in Bahnhofsbereichen sowie Anschluss- und Abstellgleise

- Strecke mit Bögen mit Radius $R < 250$ m, welche nur befahren werden darf, wenn Nachweis für Prüfbereich 5 erbracht
- Strecke mit besonderen Eigenschaften (Bögen mit Radius $R \leq 110$ m und / oder Zahnrad)
- Strecke mit Bögen mit Radius $R < 250$ m, welche in Absprache zwischen EVU und ISB eventuell mit betrieblichen Einschränkungen und vereinfachtem Nachweis für Prüfbereich 5 oder streckenspezifischer Zulassung befahren werden kann (siehe Ziffer 2.4.)



I-AT-FW-TNZ
Nachweis Enge Kurven_18-01

Abb. 1-2: Übersichtskarte Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

² Die drei Strecken Spiez – Interlaken Ost, Bern Holligen – Belp – Thun (Gürbetal) und Turgi – Koblenz haben eine spezielle Bedeutung für den internationalen Verkehr, insb. auch aufgrund möglicher betrieblicher Umleitungen. Diese drei Strecken können in Absprache zwischen EVU und ISB mit betrieblichen Einschränkungen und vereinfachtem Nachweis für Prüfbereich 5 oder streckenspezifischer Zulassung befahren werden (siehe Ziffer 2.4.).

Ältere Fahrzeugeinstufungen, resp. Fahrzeuge, die gemäss EBV Art. 83 Abs. 4 vor dem 01.01.1999 zugelassen und vor der Bahnreform bereits im gleichen Rahmen eingesetzt wurden, bleiben gültig, solange die technische Befahrbarkeit (z.B. kleinster technisch befahrbarer Bogenradius) und eine hinreichende positive Betriebserfahrung auf entsprechenden Strecken gegeben sind. Dabei sind die Bestimmungen gemäss AB FDV (R I-30111 und R I-30121) zu beachten. Diverse Einschränkungen für die historischen Fahrzeuge können der R 310.4 entnommen werden.

Das gleiche gilt sinngemäss für Fahrzeuge, welche nach dem 01.01.1999 durch das BAV zugelassen wurden.

Die korrekte Handhabung der Strecken mit spezifischen Netzzugangsbedingungen wird mit der Sicherheitsbescheinigung Teil B sichergestellt. Anschliessend haben die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) die betriebliche Handhabung sicherzustellen.

Detaillierte Informationen zu einzelnen Strecken können den Streckendatenbanken der Infrastrukturbetreiberinnen (ISB) und den lokalen Bestimmungen der AB FDV (R I-30121) entnommen werden. Die detaillierten Streckengeschwindigkeiten sind den Streckentabellen RADN (R I-30131) zu entnehmen.

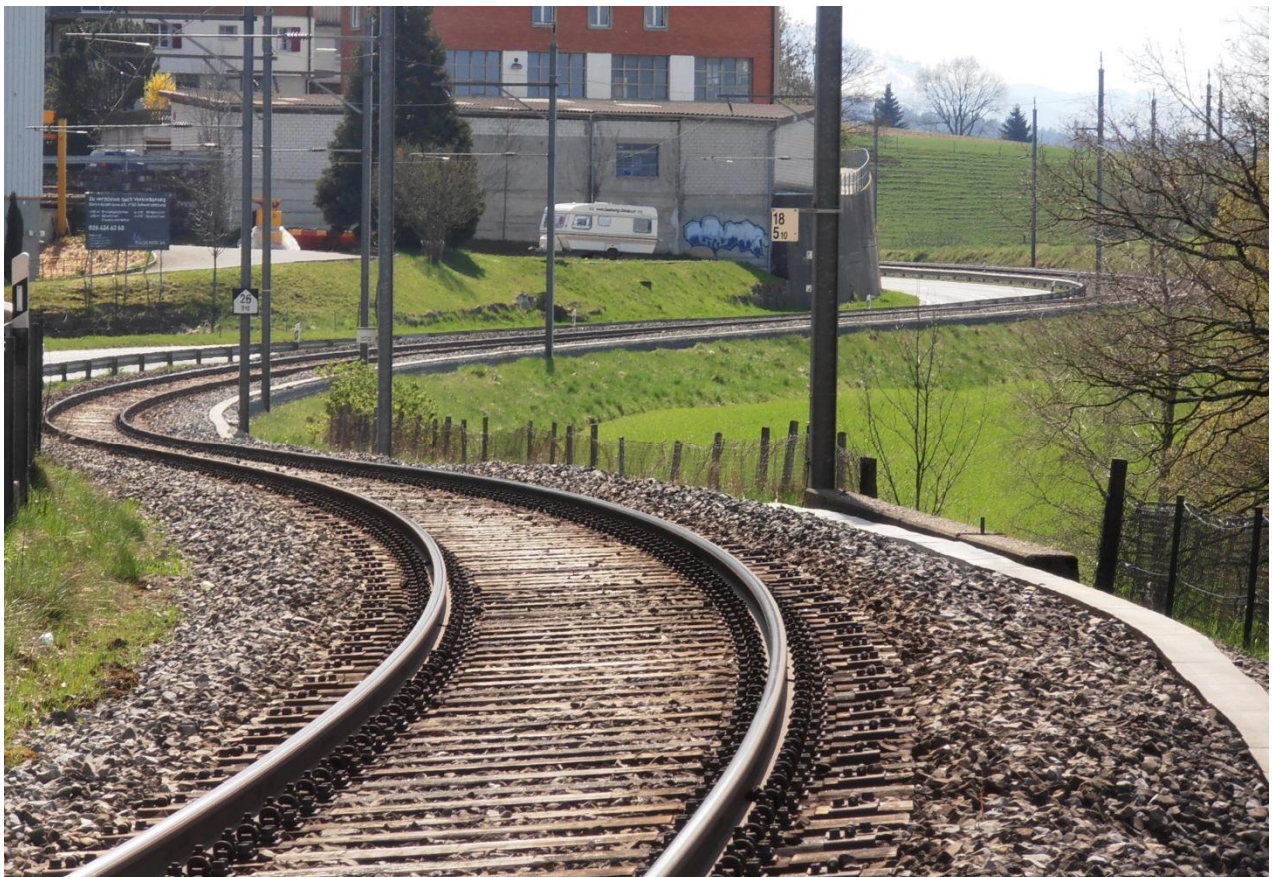


Abb. 1-3: 201 m- und 200 m-Gleisbögen mit dazwischenliegendem 250 m-Gegenbogen (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

1.3. Übergeordnete und zugehörige Dokumente

1.3.1. Grundlagen für die Beurteilung der Interaktion Rad/Schiene

Schweizer Gesetze und Regelwerke:

- Schweizer Eisenbahnverordnung (EBV)
Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen; Dokumentnummer 742.141.1
[Der Schweizerische Bundesrat; vom 23. November 1983 (Stand am 18.10.2016)]
- Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV);
Dokumentnummer SR 742.141.11
[Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) – Bundesamt für Verkehr (BAV); Stand am 01.07.2016]

Geltende Normen, Merkblätter und Berichte:

- Europäische Norm (EN) 14363:2016; Bahnanwendungen –
Fahrtechnische Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von
Eisenbahnfahrzeugen
[Europäisches Komitee für Normung (CEN); Brüssel, März 2016]
- Europäische Norm (EN) 15663:2017; Bahnanwendungen –
Fahrzeugmassedefinitionen
[Europäisches Komitee für Normung (CEN); Brüssel, Juli 2017]
- Europäische Norm (EN) 16235:2013; Bahnanwendungen
Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen –
Güterwagen – Bedingungen für Güterwagen mit definierten Eigenschaften zur
Befreiung von Streckenversuchen nach EN 14363
[Europäisches Komitee für Normung (CEN); Brüssel, Oktober 2013]
- Merkblatt (MB) UIC-Kodex 518
Fahrtechnische Prüfung und Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen –
Fahrsicherheit, Fahrwegbeanspruchung und Fahrverhalten
[Internationaler Eisenbahnverband (UIC); Oktober 2009]
- Technischer Bericht zum UIC-MB 518
Technical report of the Project Group „Development of testing methods“
[UIC SG3 “Vehicle/Infrastructure Interaction”; January 2008]
- Merkblatt (MB) UIC-Kodex 502-1
Aussergewöhnliche Sendungen - Bestimmungen für die Planung und Behandlung
von aussergewöhnlichen Sendungen
[Internationaler Eisenbahnverband (UIC); Oktober 2013]
- ORE, Frage C 138, Bericht Nr. 9
Zulässige Höchstwerte der Y- und Q-Kräfte und Entgleisungskriterien
[Schlussbericht des ORE-Ausschusses C 138/RP 9; Utrecht, September 1986]

- Frage 57B/9-2: Erhöhung der Geschwindigkeit von Güterzügen mit Achslasten von 22.5 t – Kriterien in Berücksichtigung der Fahrwegbeanspruchung Zusammenwirken Fahrzeug/Fahrweg; Studiengruppe „Anwendung“ [Gemischter Unterausschuss UIC 57B; Zusammenwirken Fahrzeug/Fahrweg; Studiengruppe „Anwendung“; Januar 1992]
- Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB
Rad-Schiene-Messungen Prüfbereich 5; Zusammenfassender Bericht; Fahrtechnische Messungen; Bericht-Nr. 02-01194; Projekt-Nr. 15.067.00 [PROSE AG; Revision 0.00; Ausgabedatum 16.01.2018]
- Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB
Arbeitsgruppe R < 250 m (Prüfbereich 5); RSM – Abschluss Grundlagenuntersuchungen; Workshops 1 bis 5 [Zusammenfassende Präsentation; Version 1-0; Ausgabedatum 29.11.2017]

1.3.2. Regelungen

Regelungen SBB Infrastruktur:

- Regelung (R) I-22046: Geometrische Gestaltung der Fahrbahn für Normalspur [Regelwerk SBB Infrastruktur; Version 2-0; Ausgabedatum 01.01.2013]
- Regelung (R) I-30111: AB FDV Infrastruktur [Regelwerk gültig für die Infrastrukturen der SBB, BLS Netz AG, SOB und ETB]
- Regelung (R) I-30121: AB FDV – Lokale Bestimmungen für Zugfahren und Rangierbewegungen [Regelwerk gültig für die Infrastrukturen der SBB, BLS Netz AG, SOB und ETB]
- Regelung (R) I-30131: Streckentabellen RADN [Regelwerk gültig für die Infrastrukturen der SBB, BLS Netz AG, SOB und ETB]
- Regelung (R) I-50064: Technischer Netzzugang: Regelung Streckenklassen Infrastruktur-Anforderung Interaktion Rad/Schiene: Technische Spezifikation für die Werkstellung der Schnittstelle zwischen Lastgrenzen der Fahrzeuge und Infrastruktur in Anlehnung an die Europäische Norm EN 15528 [Regelwerk SBB Infrastruktur; Version 1-0; Ausgabedatum 17.02.2017]
- Regelung (R) 310.4: Historische Fahrzeuge [Regelwerk der SBB Historic; Version 2-0, Ausgabedatum 31.05.2005]
- Weisung SBB Bau GD
22.5 t Achslasten, Zulassungskriterien [SBB Bauabteilung der Generaldirektion, Ausgabedatum 15.11.1988]
- Weisung SBB Bau GD an ZfW
Pflichtenhefte für den Bau von Triebfahrzeugen [SBB Bauabteilung der Generaldirektion, Ausgabedatum 18.05.1990]

1.4. Begriffe und Abkürzungen

a	Formel-Index: bogenäusseres Rad
A	Zugreihe (A), siehe RADN
AA	Auswertungsabschnitt
AB	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausführungsbestimmungen ▪ Appenzeller Bahnen
Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
α (Alpha)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Koeffizient Gleisverschiebekräfte (Prud'homme-Koeffizient) ▪ Anlaufwinkel zwischen Rad und Schiene
AnG	Anschlussgleis
a_q	Unausgeglichene Querbeschleunigung auf Gleisebene
Art.	Artikel
ASm	Verkehrsunternehmen Aare Seeland mobil
AT	SBB-Geschäftsbereich Anlagen und Technologie
B	Gleisbeanspruchungskraft [kN]
BAV	Bundesamt für Verkehr (ein Amt innerhalb des UVEK / Nationale Aufsichtsbehörde der Schweiz)
BLS	BLS AG, ehemals Bern-Lötschberg-Simplon
Brutto	Brutto, auch Brutto-Masse, ist die Masse des beladenen Fahrzeuges.
bzw.	beziehungsweise
C	Streckenklasse (20 t Radsatzlast)
CH	Schweiz
CJ	Eisenbahnen des Jura / Chemins de fer du Jura
D	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Streckenklasse (22.5 t Radsatzlast) ▪ Zugreihe (D), siehe RADN ▪ Dokumentation
Δ (Delta)	Differenz
DFZ	Diagnosefahrzeug
d.h.	das heisst
DVZO	Dampfbahn-Verein Zürcher Oberland
dyn	dynamisch
EBV	Eisenbahnverordnung
Einf	Einfahrbereich
EN	Europäische Norm
ERA	Europäischen Eisenbahnagentur / European Railway Agency
ERRI	Europäisches Eisenbahn-Forschungsinstitut / European Rail Research Institute (Informationen zum Stand der Technik)

ETB	Emmentalbahn GmbH
etc.	et cetera / und so weiter
EU	Europäische Union
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
exkl.	exklusive
FDV	Fahrdienstvorschriften
FW	SBB-Geschäftseinheit Fahrweg
γ (Gamma)	Spurkranzflankenwinkel
GD	Ehemalige Generaldirektion SBB
ges	gesamt
gl	gleitend
h	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stunde ▪ Häufigkeitswert (Statistik)
HB	Hauptbahnhof
Hz	Hertz (Einheit für die physikalische Grösse Frequenz)
I	SBB-Division Infrastruktur
i	Formel-Index: bogeninneres Rad
inkl.	inklusive
insb.	insbesondere
ISB	Infrastrukturbetreiberin
k	Kilo / Tausend (Präfix zur Bezeichnung des Tausendfachen einer Einheit)
kg	Kilogramm (Einheit für die physikalische Grösse Masse)
km	Kilometer
kN	Kilonewton
L	Länge
lim	Grenzwert / Limes
LRP	Lichtraumprofil
max	maximal
MB	Merkblatt
m	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meter (Einheit für die physikalische Grösse Länge) ▪ Milli (Präfix zur Bezeichnung des Tausendstel einer Einheit) ▪ Mittelwert (Statistik)
min	minimal
mm	Millimeter
μ (Mü)	Reibungskoeffizient
MR	Messradsatz
n	Anzahl (Statistik)
N	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Newton (Einheit für die physikalische Grösse Kraft) ▪ Zugreihe (N), siehe RADN

N	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Normalspur ▪ Grösse der Grundgesamtheit (Statistik)
Netto	Netto, auch Netto-Masse, ist die Differenz zwischen der Masse des beladenen (Brutto) und des betriebsbereiten Fahrzeuges (Tara) ohne Beladung.
NNTV	<p>Notifizierte nationale technische Vorschrift, welche durch die nationale Aufsichtsbehörde erlassen wird.</p> <p>NNTV sind nationale Anforderungen, welche von den Anforderungen einer TSI abweichen und die Regeln bezüglich der landesspezifischen Eisenbahnsicherheit und Kompatibilität enthalten.</p>
Nr.	Nummer
O	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bezugslinie nach EBV für den oberen Bereich ▪ Zugreihe (O) der SOB, welche fahrtechnisch der Zugreihe R entspricht
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
OC	Orbe-Chavornay-Bahn / Chemin de fer Orbe-Chavornay
OeBB	Oensingen-Balsthal-Bahn AG
ORE	Forschungs- und Versuchsammt des Internationalen Eisenbahnverbandes (UIC) / Office de Recherches et d' Essais
P / P _F	Vertikale Radsatzlast (Achslast) [t] / Radsatzkraft [kN]
PB	Prüfbereich
prüf	zu prüfende(r)
Q	Vertikale Radlast [t] / Radaufstandskraft [kN]
qst	quasistatisch
R	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gleisbogenhalbmesser / Radius [m] ▪ Zugreihe (R), siehe RADN ▪ Regelung
RADN	<p>Streckentabellen gemäss R I-30131 mit den Geschwindigkeiten für die unterschiedlichen Zugreihen (Streckenklassen siehe R I-50064):</p> <p>R: Zugreihe für Reisezüge A: Zugreihe für Güterzüge mit Radsatzlast ≤ 20.0 t D: Zugreihe für Güterzüge mit Radsatzlast ≤ 22.5 t N: Zugreihe für Neigezüge</p>
RB	Rigi-Bahnen AG (Arth-Rigi-Bahn und Vitznau-Rigi-Bahn)
RBS	Regionalverkehr Bern-Solothurn
red.	reduziert
resp.	respektive
s	Sekunde (Einheit für die physikalische Grösse Zeit)
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
Σ (Sigma)	Summe
SOB	Südostbahn
SR	Systematische Rechtssammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft
STB	Sensetalbahn

Stk.	Stück
STP	Stichprobenverfahren
SZU	Sihltal Zürich Uetliberg Bahn
t	Tonne
T	Radlängskraft [kN]
Tab.	Tabelle
Tara	Tara, auch Tara-Masse, ist die Masse des betriebsbereiten Fahrzeuges ohne Beladung.
TEC	Technik, Abteilung der SBB-Geschäftseinheit FB
TL	Verkehrsbetriebe der Region Lausanne / Transports publics de la région lausannoise
TMR	Verkehrsbetriebe Region Martigny / Transports de Martigny et Régions
TNZ	Technischer Netzzugang, Bestandteil der SBB-Geschäftseinheit FW
TPF	Freiburger Verkehrsbetriebe / Transports publics fribourgeois
transN	Neuenburger Verkehrsbetriebe / Transports Publics Neuchâtelois
TRAVYS	Verkehrsunternehmen Region Yverdon / Transports Vallée de Joux – Yverdon-les-Bains – Ste-Croix (inkl. ehemaliger OC)
TSOL	Strassenbahn-Gesellschaft des Südwestens Lausanne AG / Société du tramway du sud-ouest lausannois SA (bis 2012 Eigentümerin der Stadtbahnlinie Renens – Lausanne Flon, seither mit der TL fusioniert)
TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität, welche durch diverse Gremien erarbeitet und durch die ERA herausgegeben wird. In den EU-Mitgliedstaaten müssen die TSI in nationales Recht überführt werden. Die Schweiz hat per 01.07.2013 eine definierte Auswahl an TSI im Rahmen der Bahnreform 2.2 übernommen.
U	Bezugslinie nach EBV für den unteren Bereich
UEW	SBB-Geschäftseinheit Überwachung (Diagnose und Zustandsbeurteilung der Infrastrukturanlagen)
ü	Überhöhung
üf	Überhöhungsfehlbetrag (stellt den repräsentativen Wert für den durch die Überhöhung nicht ausgeglichenen Anteil der Seitenbeschleunigung dar)
UIC	Internationaler Eisenbahnverband / Union internationale des chemins de fer
usw.	und so weiter
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
V / v	Geschwindigkeit [V = km/h / v = m/s]
x	Fortschrittslänge
Y	Horizontale Führungskraft am Rad (Radführungskraft) [kN]
z.B.	zum Beispiel
ZfW	Ehemaliger SBB-Geschäftsbereich Zugförderung und Werkstätten
zul	zulässig
zzgl.	zuzüglich

2. Befahrbarkeit, Referenzstrecken, Trassierung und Geschwindigkeit

2.1. Befahrbarkeit von fahrtechnisch anspruchsvollen Strecken mit extra kleinen Radien $R < 250$ m

Die generelle fahrtechnische Befahrbarkeit von typischen Strecken mit extra kleinen Radien $R < 250$ m durch ein Eisenbahnfahrzeug soll wenn immer betrieblich möglich auf der in Ziffer 2.3.1. aufgeführten fahrtechnisch anspruchsvollen Referenzstrecke nachgewiesen werden. Falls das Befahren dieser Strecke aus unvorhergesehenen Gründen nicht möglich ist, kann nach Rücksprache mit dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur auch eine der beiden Ausweichstrecken befahren werden. Die drei aufgeführten Strecken sind repräsentativ für alle Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m. Die SBB Infrastruktur und die anderen Schweizer ISB behalten sich das Recht vor, in Zukunft neue / weitere repräsentative Referenzstrecke(n) zu definieren.

2.2. Geschichtlicher Hintergrund

Früher wurde den besonderen Verhältnissen von Strecken bei der Fahrzeugbeschaffung und beim Fahrzeugeinsatz Rechnung getragen. Das Schienennetz der SBB Infrastruktur und anderer Schweizer ISB weist eine verhältnismässig grosse Anzahl an Strecken auf, die Gleisbögen mit Radien $R < 250$ m beinhalten und denen früher durch die Fahrzeugkonstruktion sowie entsprechender streckenbezogener Prüfung Rechnung getragen wurde. Das heute international standardisierte streckenunabhängige Prüfverfahren deckt explizit nur Bogenradien $R \geq 250$ m ab. Der geschichtliche Hintergrund findet sich in der Arbeitsgruppe zum UIC-MB 518 vor rund 25 Jahren: Nur wenige Länder vertraten damals die Interessen der Alpenbahnen und konnten sich nicht gegen die grossen Nationen durchsetzen, d.h. es gelang nicht, einen Nachweis für Strecken mit $R < 250$ m (Prüfbereich 5) in der Norm als kleinster gemeinsamer Nenner für den internationalen (interoperablen) Einsatz zu platzieren³. Jüngste Erfahrungen haben klar gezeigt, dass es sinnvoll und notwendig ist, für die Beurteilung der Fahrzeuge eine Schweiz-spezifische Betrachtung der fahrtechnischen Eigenschaften vorzunehmen und das Fahren auf entsprechenden Strecken als technisches Streckenzugangskriterium zu betrachten⁴. So fordert z.B. auch die Zulassung von Fahrzeugen in Österreich⁵ auf Strecken mit $R < 250$ m konsequent eine ergänzende Prüfung, welche vom internationalen Regelwerk nicht explizit abgedeckt wird.

³ Es gab auch damals keine hinreichenden Untersuchungen, die eine Definition von „allgemein“ gültigen Grenzwerten zuliess.

⁴ EBV Art. 47 Abs. 1: Fahrzeuge sind so zu planen, zu erstellen, zu betreiben und instand zu halten, dass ein sicherer und zuverlässiger Eisenbahnbetrieb auf der zu befahrenden Infrastruktur möglich ist sowie AB-EBV Art. 47 Blatt Nr. 1: Die Fahrzeuge sind auf den Oberbau, die Bauwerke und die Betriebsverhältnisse abzustimmen.

⁵ Siehe Regelwerk 50.02.01 der ÖBB Infrastruktur: Anforderungskatalog an Triebfahrzeuge, Triebzüge und Reisezugwagen.

2.3. Referenzstrecken für die fahrtechnische Prüfung R < 250 m

Damit alle möglichen Fahrzeuge geprüft werden können, ist die für Streckenklasse D und Doppelstockzüge freigegebene Referenzstrecke (2.3.1.) für die fahrtechnische Prüfung vorzusehen. Falls dies nicht möglich ist und es die Fahrzeugeigenschaften erlauben, kann auch eine der beiden Ausweichstrecken befahren werden.

2.3.1. Referenzstrecke Bern Fischermätteli – Schwarzenburg

BAV-Streckennummer:	297.2
Infrastrukturbetreiberin:	BLS Netz AG
Streckenklasse:	D3
Lichttraumprofil (Bezugslinie):	EBV O2 / U1 (doppelstocktauglich)
Streckenlänge (L):	~ 17 km
Kleinster Bogenradius (R _{min}):	179 m (Vollbogen)
Mittlerer Bogenradius (R _m):	~ 197 m
Anzahl Abschnitte mit R < 250 m:	~ 68 Stk. à 50 m (resp. 40 – 60 m / L _{ges} ≥ 40 m) ~ 54 Stk. mit L _{Einf} ≤ 20 m gemäss Ziffer 3.6.
Anzahl Auswertungsabschnitte (N):	~ 408 Stk. ohne L _{Einf} / ~ 324 Stk. mit L _{Einf} (Mehrfachverwendung: 2 x Richtung, 3 Geschwindigkeitsstufen)

Nr.	Str-km [-]	R<250 [m]	V _R [km/h]	ü [mm]	üf [mm]	aq [m/s ²]	L [m]
1	3.667	197	55	60	121	0.79	156
2	4.389	-195	55	-100	-83	-0.54	4
3	6.310	245	55	100	46	0.30	165
4	6.646	190	55	75	113	0.74	72
5	6.795	-181	55	-78	-119	-0.78	249
6	7.134	190	55	74	114	0.74	84
7	8.096	-220	60	-74	-119	-0.78	27
8	9.027	197	60	120	96	0.63	149
9	11.017	195	60	114	104	0.68	0
10	11.136	-195	55	-120	-63	-0.41	45
11	11.355	200	60	120	92	0.60	63
12	13.120	-198	55	-94	-86	-0.56	157
13	13.403	198	55	110	70	0.46	165
14	13.683	-201	55	-112	-66	-0.43	193
15a	13.992	206	55	122	51	0.33	59
15b	14.051	190	55	122	66	0.43	53
16	14.228	-185	55	-126	-67	-0.44	187
17	14.746	-235	55	-110	-42	-0.27	17
18	14.867	199	60	94	119	0.78	210
19	15.848	200	60	100	112	0.73	57
20	16.065	-199	60	-92	-121	-0.79	172
21	16.349	179	55	86	114	0.74	304
22	17.682	198	50	100	49	0.32	27
23	18.461	-200	60	-96	-116	-0.76	18
24	18.929	-200	60	-117	-95	-0.62	137
25	19.257	200	55	117	61	0.40	59
26	20.037	-193	60	-122	-98	-0.64	95
27a	20.258	200	60	120	92	0.60	233
27b	20.491	196	60	120	97	0.63	98

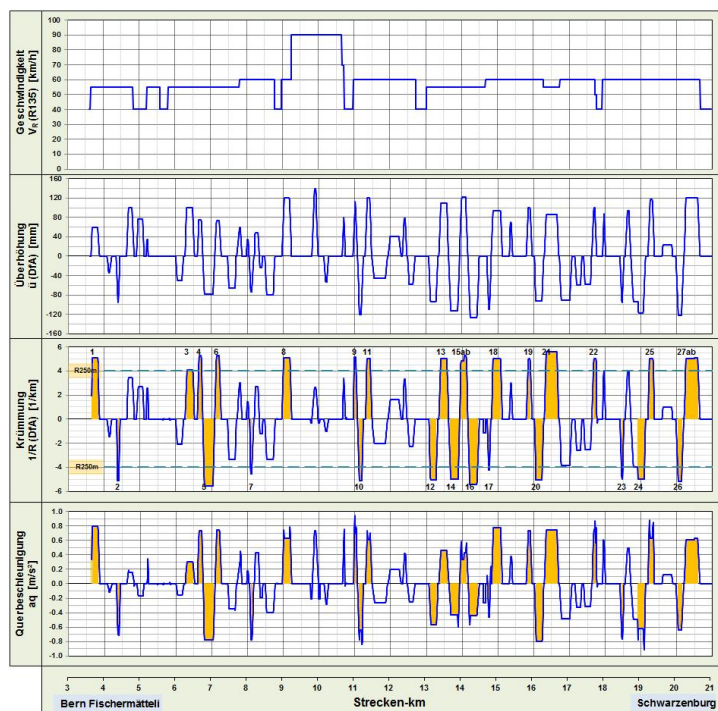
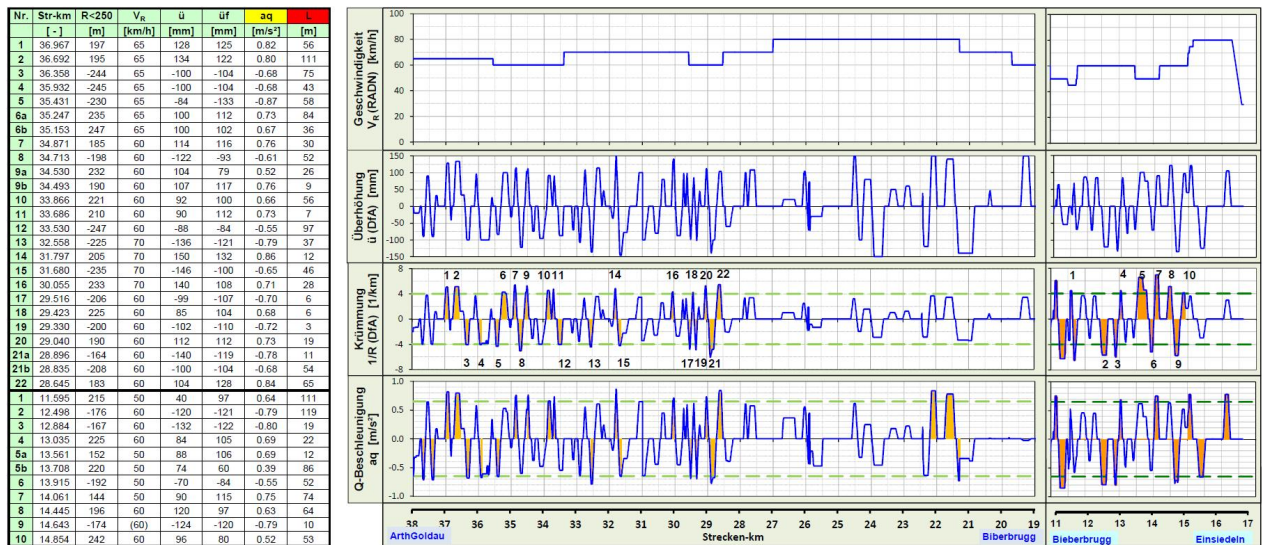


Tabelle (Tab.) 2-1: Eigenschaften der Referenzstrecke Bern Fischermätteli – Schwarzenburg (Stand 12.02.2018)



2.3.2. Ausweichstrecke Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln

BAV-Streckenummer:	670.4 (Arth-Goldau – Biberbrugg) 672.2 (Biberbrugg – Einsiedeln)
Infrastrukturbetreiberin:	SOB
Streckenklasse:	D4
Lichttraumprofil (Bezugslinie):	EBV O2 / U1 (doppelstocktauglich)
Streckenlänge (L):	~ 25 km (~ 19 + 6 km)
Kleinster Bogenradius (R _{min}):	144 m (Vollbogen)
Mittlerer Bogenradius (R _m):	~ 206 m
Anzahl Abschnitte mit R < 250 m:	~ 25 (~15 + 10) Stk. à 50 m (resp. 40 – 60 m / L _{ges} ≥ 40 m) ~ 13 Stk. mit L _{Einf} ≤ 20 m gemäss Ziffer 3.6.
Anzahl Auswertungsabschnitte (N):	~ 150 Stk. ohne L _{Einf} / ~ 78 Stk. mit L _{Einf} (Mehrfachverwendung: 2 x Richtung, 3 Geschwindigkeitsstufen)

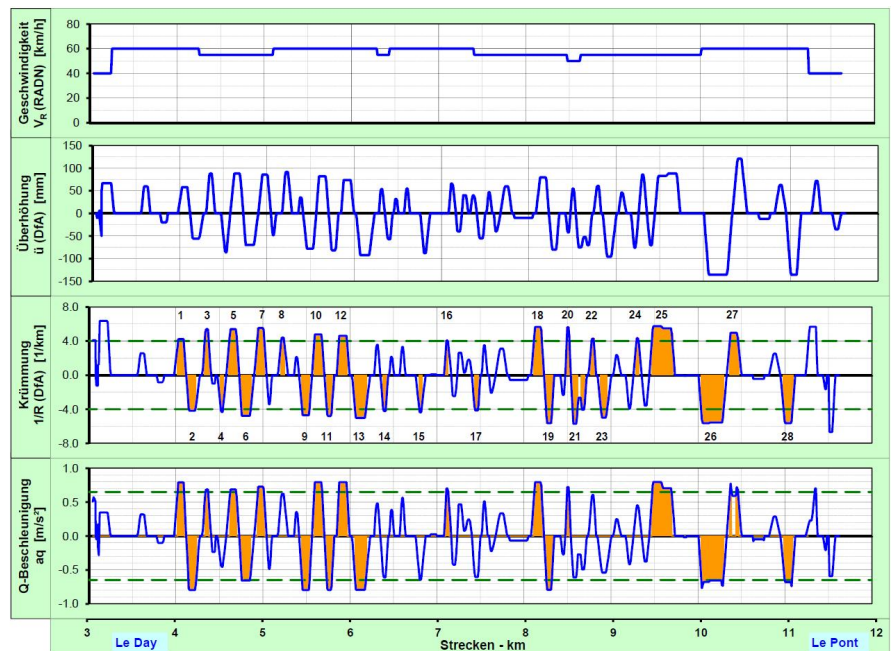


Tab. 2-2: Eigenschaften der Ausweichstrecke Arth-Goldau – Biberbrugg – Einsiedeln (Stand 23.06.2014)

2.3.3. Ausweichstrecke Le Day – Le Pont

BAV-Streckenummer:	201.1
Infrastrukturbetreiberin:	SBB Infrastruktur
Streckenklasse:	C3
Lichttraumprofil (Bezugslinie):	EBV O1 / U1
Streckenlänge (L):	~ 9 km
Kleinster Bogenradius (R_{min}):	150 m (Vollbogen)
Mittlerer Bogenradius (R_m):	~ 195 m
Anzahl Abschnitte mit $R < 250$ m:	~ 28 Stk. à 50 m (resp. 40 – 60 m / $L_{ges} \geq 40$ m) ~ 19 Stk. mit $L_{Einf} \leq 20$ m gemäss Ziffer 3.6.
Anzahl Auswertungsabschnitte (N):	~ 168 Stk. ohne L_{Einf} / ~ 114 Stk. mit L_{Einf} (Mehrfachverwendung: 2 x Richtung, 3 Geschwindigkeitsstufen)

Nr.	Str-km	R<250	V_a	\ddot{u}	\ddot{u}_f	aq	L
[-]	[m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[m/s ²]	[m]	
1	4.028	237	60	58	121	0.79	61
2	4.149	-239	60	56	122	0.80	75
3	4.341	185	55	88	105	0.69	28
4	4.520	-230	55	86	70	0.46	18
5	4.627	185	55	88	105	0.69	66
6	4.757	-209	55	70	101	0.66	95
7	4.948	181	55	86	111	0.73	59
8	5.212	227	60	92	95	0.62	29
9	5.457	-213	60	78	122	0.80	76
10	5.597	209	60	82	122	0.80	77
11	5.740	-209	60	82	122	0.80	47
12	5.878	217	60	74	122	0.80	84
13	6.067	-199	60	92	121	0.79	105
14	6.383	-237	55	57	94	0.61	31
15	6.800	-228	60	88	98	0.64	19
16	7.109	245	60	66	107	0.70	18
17	7.433	-242	55	55	93	0.61	43
18	8.127	177	55	80	122	0.80	70
19	8.265	-177	55	80	122	0.80	49
20	8.498	178	50	55	111	0.73	18
21a	8.568	-175	50	75	94	0.61	36
21b	8.669	-245	55	70	76	0.50	25
22	8.781	232	55	61	93	0.61	23
23	8.895	-200	55	96	82	0.54	51
24	9.297	230	55	86	69	0.45	18
25a	9.482	174	55	83	122	0.80	95
25b	9.595	182	55	88	108	0.71	100
26a	10.049	-178	60	112	127	0.83	78
26b	10.128	-180	60	136	101	0.66	154
27	10.376	201	60	91	120	0.78	75
28	10.999	-177	60	136	104	0.68	76



Tab. 2-3: Eigenschaften der Ausweichstrecke Le Day – Le Pont (Stand 23.06.2014)

2.4. Referenzstrecke für den vereinfachten Nachweis $R < 250$ m

Da der Nachweis zu den extra kleinen Radien $R < 250$ m auf dem Schienennetz der SBB Infrastruktur und anderen ISB nur dann erbracht werden muss, wenn die Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m befahren werden sollen, kann es fahrzeug- und projektspezifisch (beispielsweise für den internationalen Verkehr) ausreichend sein, nur einen vereinfachten Nachweis zu erbringen, um die drei Strecken Spiez – Interlaken Ost, Bern Holligen – Belp – Thun (Gürbetal) und Turgi – Koblenz befahren zu können. Diese haben eine spezielle Bedeutung für den internationalen Verkehr, insb. auch aufgrund möglicher betrieblicher Umleitungen. Die drei Strecken können in Absprache zwischen EVU und ISB mit betrieblichen Einschränkungen und vereinfachtem Nachweis für Prüfbereich 5 oder streckenspezifischer Zulassung befahren werden.

Der vereinfachte Nachweis zu den extra kleinen Radien $R < 250$ m ist auf der dafür festgelegten Referenzstrecke Spiez – Interlaken Ost zu erbringen:

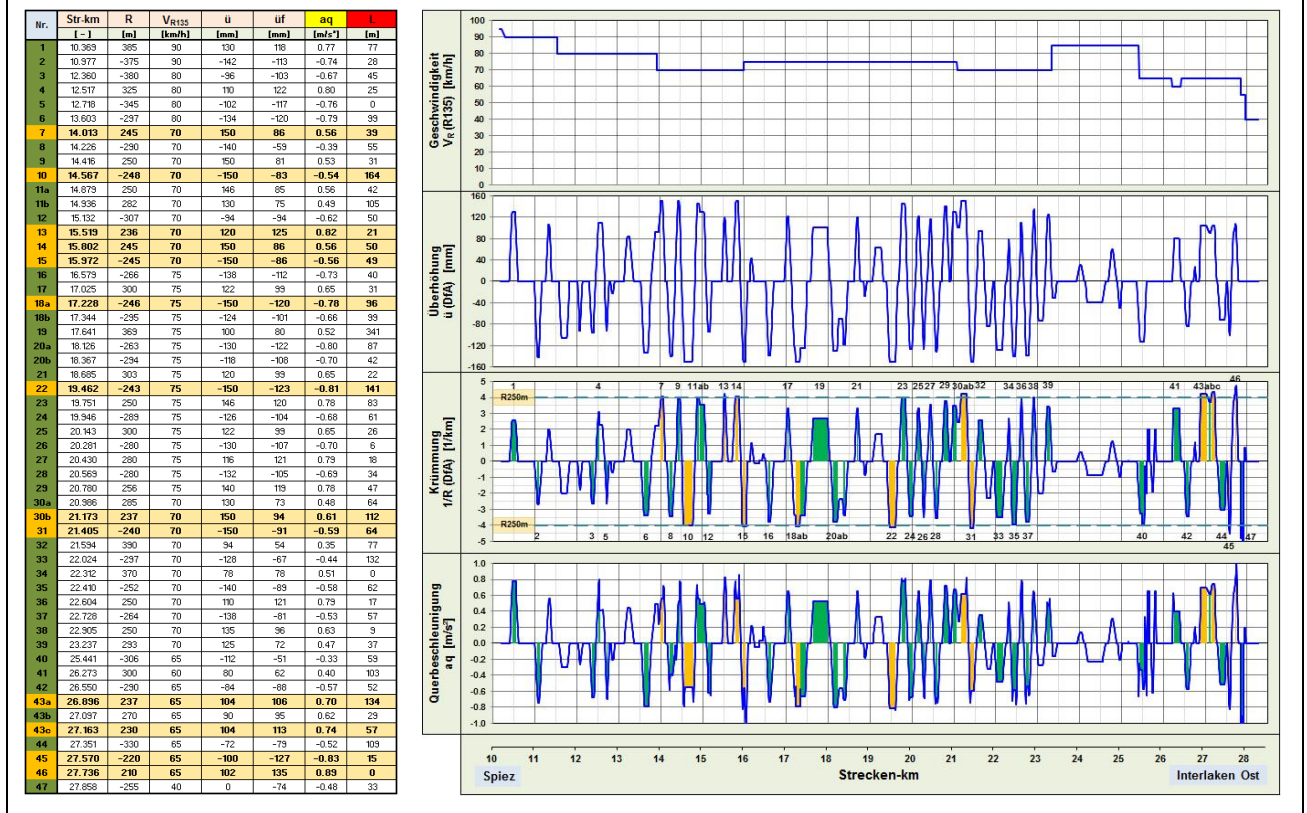
- Prüfbereich 4⁶ nach EN 14363
und
- Prüfbereich 5 gemäss der vorliegenden Regelung.

Die statistische Auswertung der fahrtechnischen Prüfung sowie die darauf basierende fahrtechnische Beurteilung erfolgt getrennt nach Prüfbereich-4- und 5-Abschnitten.

⁶ Die Prüfbereich-4-Abschnitte der Strecke Spiez – Interlaken Ost sind wenn immer möglich gemeinsam mit weiteren PB-4-Abschnitten von anderen Strecken statistisch auszuwerten (die Anzahl dieser Auswertungsabschnitte führt zu keiner aussagekräftigen PB-4-Statistik – siehe auch Ziffer 2.7.).

2.4.1. Referenzstrecke vereinfachter Nachweis Spiez – Interlaken-Ost

BAV-Streckennummer:	301.2
Infrastrukturbetreiberin:	BLS Netz AG
Streckenklasse:	Spiez – Interlaken West: D3 Interlaken West – Interlaken Ost: D2
Lichttraumprofil (Bezugslinie):	EBV O2 / U1 (doppelstocktauglich)
Streckenlänge (L):	~ 17 km
Kleinster Bogenradius (R _{min}):	210 m (Vollbogen)
Mittlerer Bogenradius (R _m):	~ 242 m (Prüfbereich 5-Abschnitte)
Anzahl Abschnitte mit R < 250 m:	~ 18 Stk. à 50 m (resp. 40 – 60 m / L _{ges} ≥ 40 m) ~ 12 Stk. mit L _{Einf} ≤ 20 m gemäss Ziffer 3.6.
Anzahl Auswertungsabschnitte (N):	~ 108 Stk. ohne L _{Einf} / ~ 72 Stk. mit L _{Einf} (Mehrfachverwendung: 2 x Richtung, 3 Geschwindigkeitsstufen)



Tab. 2-4: Eigenschaften der Referenzstrecke für den vereinfachten Nachweis Spiez – Interlaken Ost (Stand 12.02.2018)

2.5. Spezielle Aspekte von Trassierung und Oberbau in engen Bögen

Gemäss der SBB-Regelung I-22046 (Ziffer 4.3.3.) gelten für die SBB Infrastruktur und andere ISB folgende Vorschriften für die geometrische Gestaltung der Fahrbahn:

2.5.1. Besondere Verhältnisse in bestehenden Anlagen (Trassierung der Alpenbahnen)

Sofern die unabänderliche Übergangsbogenlänge kürzer ist als die notwendige Überhöhungsrampe, so ist diese gemäss nachstehender Skizze in den Kreisbogen hineinzuziehen:

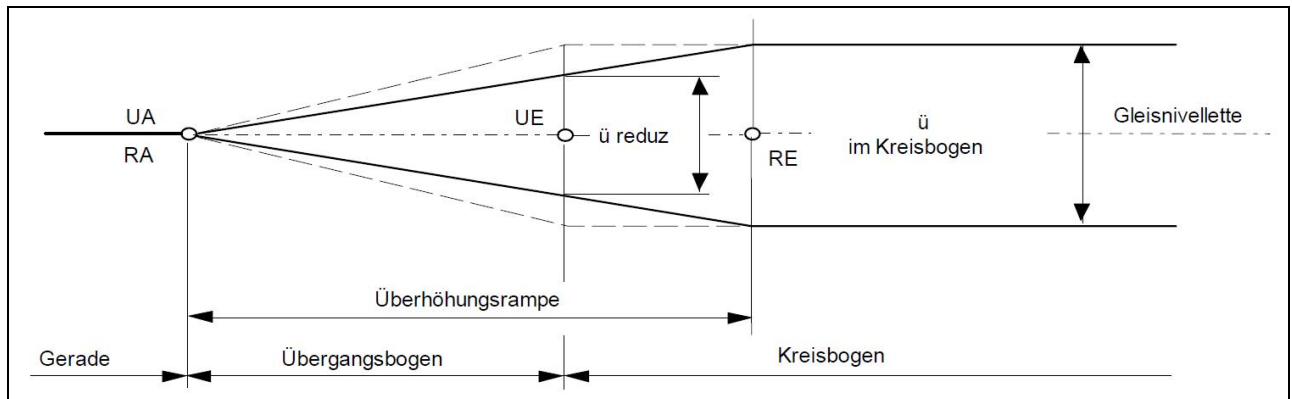


Abb. 2-5: Besondere Verhältnisse in bestehenden Anlagen (Quelle: R I-22046 Ziffer 4.3.3.)

Dabei ist zu beachten, dass für Radien $R < 350$ m

$$\ddot{u}_{red} \geq \frac{11,8 \cdot V_R^2}{R} - 130$$

\ddot{u}_{red}	[mm]
R	[m]
V_R	[km/h]

sein muss (Grenzwert im Normalfall).

Die Mindestelementlänge des Kreisbogens bemisst sich demzufolge zwischen den beiden Punkten RE (Anfang und Ende des Vollbogens mit konstanter Überhöhung).

Da die Verwindung als bezüglich Entgleisung wichtigste Einflussgrösse begrenzt ist, reichen die Platzverhältnisse, sprich die Länge der Übergangsbögen, nicht aus, um am Anfang des Vollbogens die maximale Überhöhung zu erreichen. Die Folgen sind:

- Es bilden sich Spitzen mit hohem Überhöhungsfehlbetrag \ddot{u}_f , auch als „Katzenohren“ bezeichnet (siehe nachfolgende Abbildungen). Die \ddot{u}_f -Spitzen ($\ddot{u}_f \leq \ddot{u}_{f,zul}$) in den Überhöhungsrampen sind oftmals bis zu einem Faktor 1.5 höher als im Vollbogen mit konstanter Überhöhung.
- Bei der fahrtechnischen Prüfung nach EN 14363 sind die Maximalwerte der sicherheitsrelevanten Beurteilungsgrössen für die Übergangsbögen den entsprechenden Grenzwerten gegenüberzustellen. Die Grundlagenuntersuchungen haben zudem gezeigt, dass sich im Übergangsbereich mit oder ohne „Katzenohren“ die Maximalwerte sowohl bezüglich Fahrsicherheit wie auch Fahrwegbeanspruchung nicht wesentlich unterscheiden.

→ Bei zu kurzer verbleibender Bogenlänge wird auch der Vollbogenabschnitt⁷ nach EN 14363 nicht statistisch berücksichtigt.

Nachfolgend zwei reale Trassierungsbeispiele:



Abb. 2-6 und 2-7: Reale Trassierungsbeispiele mit \bar{u} -Spitzen, sogenannte „Katzenoehren“ (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

⁷ Eingeschränkt gilt das auch für den Anfang eines Vollbogens. Die EN 14363 geht auch bei Streckenversuchen von abschnittsweise „fahrtechnisch konstanten“ Bedingungen aus (siehe auch Ziffer 3.6., insb. den Übergangsbereich bei Abb. 3-2).

2.5.2. Oberbau in engen Bögen

Aus den Berechnungen der ORE C 138 kann geschlossen werden, dass die aktuell auf Strecken mit Radien $R < 250$ m eingesetzten Oberbaumaterialien die für $R \geq 250$ m normativ zulässige Fahrwegbeanspruchung (Y_{qst} , Y_{max} , Q_{qst} , Q_{max}) und entsprechend hohe Lastkollektive nicht dauerhaft ertragen können⁸. Bereits das Schienenprofil 54 kg/m wird im Rahmen der ORE C 138 bezüglich der Dauerfestigkeit als grenzwertig betrachtet⁹. Dies gilt bereits für lokal an der Schiene auftretenden Kräfte im Einzelfall und nicht das statistische Ensemble wie es heute für Y_{qst} im standardisierten Prüfverfahren zu Grunde gelegt wird. Das Schienenprofil 46 kg/m (Trägheits- und Widerstandsmomente betragen ca. 75 % eines Schienenprofils 54 kg/m) ist in der Schweiz auf den Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m (Prüfbereich 5) aufgrund der Anforderungen an die Verschweissbarkeit des lückenlosen Gleises im grossen Stil verbaut und soll auch weiterhin eingesetzt werden. Ein kurzfristiger Umbau ist nicht machbar und der Einbau von verlaschten Gleisen mit Schienenprofil 54 kg/m gerade in stark bewohnten Gebieten nicht umsetzbar.

Deshalb gilt auf Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m (Prüfbereich 5) weiterhin $Y_{a,qst,lim} = 60$ kN⁹ und ¹⁰.

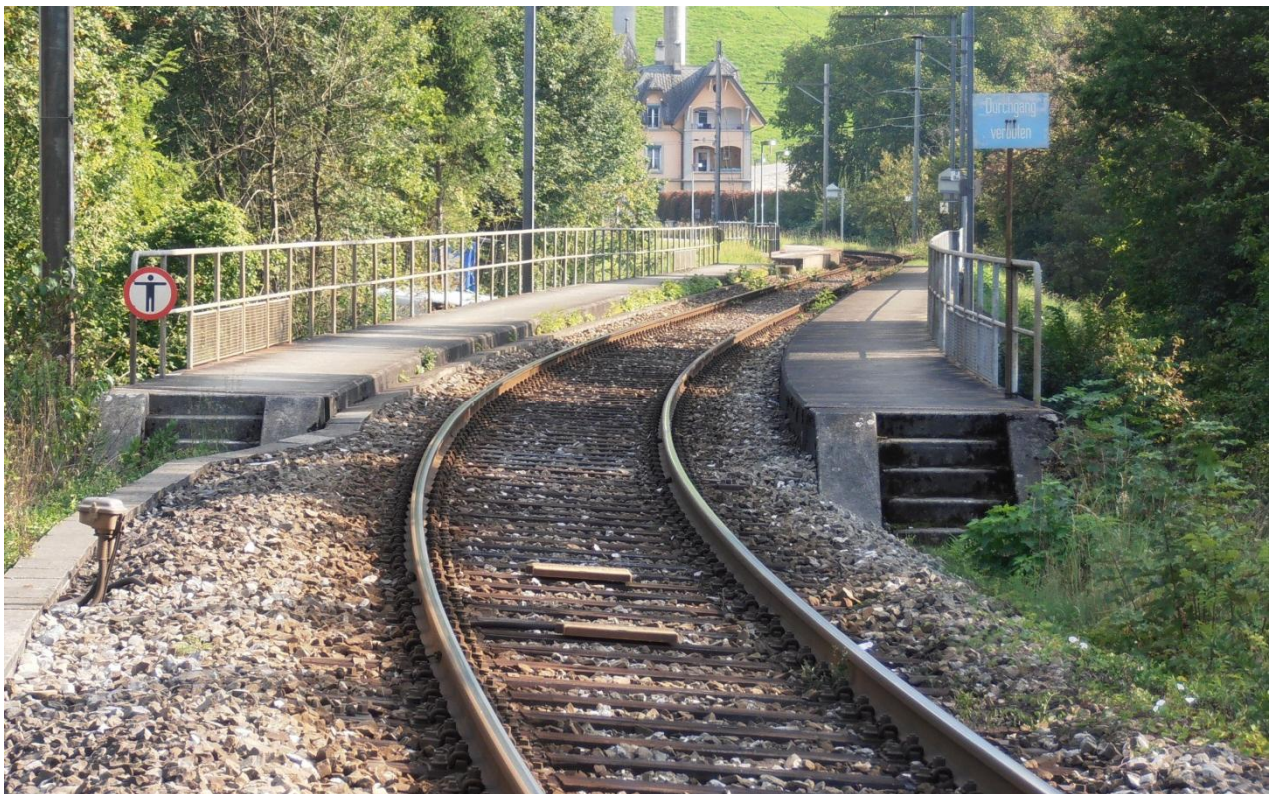


Abb. 2-8: 197 m-Gleisbogen und 190 m-Gegenbogen mit dazwischenliegender Brücke (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

⁸ Siehe auch UIC 57B/9-2 vom Januar 1992 (Schienenprofil 54 kg/m: $Y_{qst} < 60$ kN / $Y_{max} < 110$ kN / $Q_{qst} < 145$ kN / $Q_{max} < 170$ kN).

⁹ Mischverkehr ist bei dieser Betrachtung eine wichtige Voraussetzung. Bei fehlendem Mischverkehr ist zwingend ein höherer Unterhalt durch die ISB notwendig. Der Unterhalt ist streckenspezifisch entsprechend dem realen Belastungskollektiv im Rahmen der Unterhaltsplanung (und -finanzierung) anzupassen, bei exzessiven Lastkollektiven können zusätzliche Massnahmen erforderlich sein.

¹⁰ Ohne weitere Massnahmen gilt der Grenzwert im Normalfall gemäss AB-EBV (siehe auch Ziffer 3.1.).

2.6. Überhöhungsfehlbetrag im Prüfbereich 5

Für die Zugreihe R beträgt der Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}f$ im Betrieb nach AB-EBV Art. 17 Blatt Nr. 8N auf Strecken mit extra kleinen Radien $R < 250\text{ m}$ $\ddot{u}f_{zul} = 130\text{ mm}$ (Grenzwert im Normalfall: 122 mm). Dies entspricht einer unausgeglichene Querbeschleunigung $a_{q,zul} = 0.85\text{ m/s}^2$ (Grenzwert im Normalfall: 0.8 m/s^2).

Die Fahrgeschwindigkeit der Zugreihe A ist nach AB-EBV Art. 17 Blatt Nr. 8N (Fussnote (1) der Ziffer 3.6.2.1) in den entsprechenden Gleisabschnitten generell begrenzt auf $V_{A,max} = V_{(\ddot{u}f = 122\text{ mm})} - 5\text{ km/h}$. Ausnahmsweise werden vom BAV Werte bis $V_{A,max} = V_{(\ddot{u}f = 130\text{ mm})} - 5\text{ km/h}$ zugelassen (z.B. bei Perronkanten, Katzenohren).

Im Vergleich mit den normativen Prüfbereichen 3 (Gleisbögen mit $400\text{ m} \leq R \leq 600\text{ m}$) und 4 (Gleisbögen mit $250\text{ m} \leq R < 400\text{ m}$) gemäss EN 14363 ergibt sich somit bei der spezifischen fahrtechnischen Prüfung im Prüfbereich 5 je nach Zugreihe folgender zulässiger Überhöhungsfehlbetrag:

Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}f$	Prüfbereich		
	3 $400\text{ m} \leq R \leq 600\text{ m}$	4 $250\text{ m} \leq R < 400\text{ m}$	5 $R < 250\text{ m}$
Zugreihe R ¹¹	$\ddot{u}f_{zul} = 150\text{ mm}$ ($a_{q,zul} = 0.98\text{ m/s}^2$)		$\ddot{u}f_{zul} = 130\text{ mm}$ ($a_{q,zul} = 0.85\text{ m/s}^2$)
Zugreihe A ¹²	$\ddot{u}f_{zul} = 130\text{ mm}$ ($a_{q,zul} = 0.85\text{ m/s}^2$)		$\ddot{u}f_{zul} = 110\text{ mm}$ ¹³ ($a_{q,zul} = 0.72\text{ m/s}^2$)
Aussergewöhnliche Sendung ¹⁴	-		$\ddot{u}f_{zul} = 50\text{ mm}$ ($a_{q,zul} = 0.33\text{ m/s}^2$)

Tab. 2-9: Vergleich des Überhöhungsfehlbetrages im PB 3, 4 und 5 zwischen Zugreihe R und A

¹¹ Zugreihe R entspricht Zugreihe O bei der SOB.

¹² Fahrzeuge können entsprechend ihrer technischen Eigenschaften nach Zugreihe R oder A geprüft werden. Falls Fahrzeuge, welche nach Zugreihe R geprüft werden, die entsprechenden Grenzwerte nicht einhalten können, stellt das Verkehren nach Zugreihe A eine betriebliche Rückfallebene dar. Voraussetzung dafür ist die Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte beim für die Beurteilung relevanten Überhöhungsfehlbetrag für Zugreihe A.

¹³ Gilt nur für überhöhte Vollbögen und Änderungen für den Fall $V_R = V_A = 40\text{ km/h}$ bleiben vorbehalten.

¹⁴ Entsprechende Fahrzeuge werden nach den Vorgaben für die Zugreihe A geprüft. Falls die für die Beurteilung der Messresultate herangezogenen Grenzwerte nicht eingehalten werden können, stellt das Verkehren als aussergewöhnliche Sendung gemäss UIC-MB 502-1 unter folgenden Voraussetzungen eine betriebliche Rückfallebene dar:

- Für nicht regelmässige Fahrten auf Basis einer fallweise besonderen Untersuchung zwischen EVU und ISB, z.B. als Dienstfahrzeug für Bau- und Instandhaltungsarbeiten an der Infrastruktur.
- Die maximale Geschwindigkeit ist im Rahmen der Streckentabellen RADN (R I-30131) durch die ISB so festzulegen, dass der maximale Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}f_{zul} = 50\text{ mm}$ in allen Bögen mit $R < 250\text{ m}$ auf der zu befahrenden Strecke eingehalten ist.
- Einhaltung der entsprechenden Grenzwerte beim für die Beurteilung relevanten Überhöhungsfehlbetrag.

2.7. Geschwindigkeit und Grenzwerteinhaltung

Die Geschwindigkeit bei der fahrtechnischen Prüfung im Prüfbereich 5 wird nicht über den Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}f$, sondern über drei Geschwindigkeitsstufen auf den Referenzstrecken definiert:

- [1] $V_{zul} - 5 \text{ km/h}$
- [2] V_{zul} (nominal zulässige Betriebsgeschwindigkeit entsprechend der Zugreihe)
- [3] $V_{zul} + 5 \text{ km/h}$ (jedoch begrenzt durch maximal etwa $1.1 \cdot \ddot{u}f_{zul}$)

Nachfolgend ein Vergleich der Versuchsbedingungen hinsichtlich Geschwindigkeit zwischen den normativen Prüfbereichen 3 und 4 sowie dem spezifischen Prüfbereich 5:

Versuchsbedingungen	Prüfbereich		
	3 400 m ≤ R ≤ 600 m	4 250 m ≤ R < 400 m	5 R < 250m
Geschwindigkeit V [km/h]	$(V_{\text{prüf}} \leq 1.1 \cdot V_{\text{zul}})$		$V_{\text{zul}} - 5 \text{ km/h}$ V_{zul} $V_{\text{zul}} + 5 \text{ km/h}$
Überhöhungsfehlbetrag $\ddot{u}f$ [mm]	$0.75 \cdot \ddot{u}f_{\text{zul}} \leq \ddot{u}f_{\text{prüf}} \leq 1.1 \cdot \ddot{u}f_{\text{zul}}$		$(\ddot{u}f_{\text{prüf}} \leq 1.1 \cdot \ddot{u}f_{\text{zul}})$
Toleranz	$\pm 0.05 \cdot \ddot{u}f_{\text{zul}}$		$\pm 2 \text{ km/h}^{15}$

Tab. 2-10: Vergleich der Versuchsbedingungen hinsichtlich Geschwindigkeit im PB 3, 4 und 5

Die Geschwindigkeitsreserve gegenüber der nominalen Betriebsgeschwindigkeit dient zur Abdeckung zusätzlicher betrieblicher Parameter (Fahrbahn, Fahrzeug, Betrieb, Umwelt und konstruktive Streuung), die prüftechnisch nicht erfasst oder nicht variiert werden können.

Geschwindigkeitserhöhungen haben stufenweise und erst dann zu erfolgen, wenn auf Basis von bereits erstellten und beurteilten Messergebnissen eine Gefährdung der Anlagen und des Bahnbetriebes ausgeschlossen werden kann.

Die Erfahrungen aus den Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB führen zu der Empfehlung, dass es sinnvoll ist, zur Sicherstellung der Übertragbarkeit von Messergebnissen aus anderen Ländern¹⁶ den Prüfbereich 4¹⁷ gemeinsam mit dem Prüfbereich 5 in der Schweiz zu prüfen.

¹⁵ Hängt auch von der möglichen Geschwindigkeitssteuerung des zu prüfenden Fahrzeuges ab.

¹⁶ Bekannte länderspezifische Unterschiede sind z.B.: Durchschnittlicher Gleisbogenradius aller Auswertungsabschnitte R_m des Prüfbereichs, unterschiedliche Oberbau- und Trassierungsstandards.

¹⁷ Empfehlung: Gotthard-Panoramastrecke oder für Doppelstockfahrzeuge Etwilen – Seuzach und Spiez – Interlaken Ost.

3. Anforderungen und Beurteilungskriterien

In der AB-EBV wie auch in dem internationalen UIC-MB 518 wird auf den nicht normativ zu prüfenden Bereich (Gleisbögen mit Radien $R < 250$ m) hingewiesen:

- AB-EBV Art. 31 Blatt Nr. 2N: *„Bei Radien $R < 250$ m sind fallweise besondere Untersuchungen erforderlich.“*
- UIC-MB 518 Kapitel 1: *„Bei Bahnen oder auf besonderen Verbindungen mit verschärften Gleis- (Linienführung, Gleislage) bzw. Betriebsbedingungen (Geschwindigkeit und Überhöhungsfehlbetrag) als sie im UIC-Merkblatt zu Grunde gelegt werden, müssen an erforderlicher Stelle ergänzende Überprüfungen durchgeführt werden, um die beabsichtigte Betriebssicherheit zu gewährleisten.“*

In der EN 14363:2005 war unter Ziffer 5.4.2 folgendes beschrieben:

- *„Die angegebenen Werte von $R = 400$ m und $R = 250$ m beziehen sich auf internationalen Einsatz. Bei Einsatz in einem Netz mit anderen Trassierungsbedingungen können die Gleisbogenhalbmesser für die Prüfbereiche 3 und 4 geändert werden.“*

Zusätzlich fand man unter Ziffer 1 (Anwendungsbereich) folgende Anmerkungen:

- *„Die fahrtechnische Prüfung von Bahnen mit abweichender Gleistrassierung kann in Anlehnung an die Regeln dieser Europäischen Norm durchgeführt werden.“*
- *„Die Prüfung für die fahrtechnische Zulassung geht von einem bestimmten Referenzzustand des Gleises aus. Wird dieser auf bestimmten Strecken nicht eingehalten, so müssen geeignete Massnahmen ergriffen werden (Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit, zusätzliche Versuche usw.).“*

Die aktuelle EN 14363 (Ziffer 1: Anwendungsbereich) geht davon aus, dass ein nach den normativen Anforderungen geprüftes Fahrzeug auf allen Normalspurgleisen sicher verkehren kann. Die Erkenntnisse aus den Grundlagenuntersuchungen zeigen jedoch, dass dies für das Schweizer Normalspurnetz nicht uneingeschränkt zutrifft.

Die Nachweisführung erfolgt grundsätzlich nach dem normalen Prüfverfahren mittels Messradsätzen und Auswertung der gemessenen Rad/Schiene-Kräfte (siehe auch Ziffer 3.9., 3.10. und 3.14.). Dabei sind soweit möglich die messtechnischen Vorgaben (Abtaste, Filterung, etc.) gemäss der fahrtechnischen Prüfung nach EN 14363, bzw. nach UIC-MB 518, anzuwenden (siehe auch Ziffer 3.7.). Zu prüfen sind die Rad/Schiene-Kräfte aller beurteilungsrelevanten Radsätze für die nominalen Betriebszustände des zu untersuchenden Fahrzeuges, welche durch den Antragsteller im Rahmen der Risikobetrachtung definiert wurden (siehe auch Ziffer 3.10. und 3.11.).

In Abhängigkeit vom Fahrzeug, dessen Bauteilen sowie des geplanten Einsatzspektrums ist der Umfang der Prüffahrten und die erforderliche Auswertung auf Grundlage der Risikobetrachtung zu planen. Diese Voruntersuchungen sind durch den Antragsteller vor den Versuchsfahrten mit dem BAV sowie dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur abzustimmen und in einer entsprechenden Versuchsspezifikation zu dokumentieren.

3.1. Zulässige Radaufstands- und Führungskräfte

Gemäss AB-EBV Art. 47 Blatt Nr. 1 ist die zulässige Radsatzlast aufgrund des Oberbaus und die zulässige Meterlast (Masse pro Meter Fahrzeuglänge) aufgrund der Brückenbauwerke zu ermitteln. Weiter gelten gemäss AB-EBV Art. 31 Blatt Nr. 2N folgende fahrzeugbedingten Lasten, resp. Kräfte (für Neigezüge siehe unbedingt auch AB-EBV Art. 17 Blatt Nr. 20N Ziffer 8.2):

3.1.1. Vertikalkräfte gemäss AB-EBV

- Radsatzlast statisch: Einteilung gemäss UIC-MB 700 / EN 15528 / SBB-Regelung I-50064 (Streckenklassen)
- Radkraft quasistatisch: $Q_{qst,lim} = 145 \text{ kN}$ (UIC-MB 518)
- Radkraft dynamisch: $Q_{max,lim} = 200 \text{ kN}$ (UIC-MB 518)
- Spitzenwerte bei Unregelmässigkeiten am Rad oder auf der Schiene (Schlagbeanspruchung): Q_{max} bis 350 kN (ERRI D 170)

Für die untersuchten Beladungszustände sind alle Einzel-Radlasten (Radaufstandskräfte Q_0) des Versuchsobjektes auf einer geeigneten (geeichten) Waage statisch zu messen und in einem Wiegeprotokoll zu dokumentieren.

Die Kalibrierung der mittels Messradsätze gemessenen Radaufstandskräfte ist auf Grundlage des Wiegeprotokolls zu plausibilisieren.

3.1.2. Horizontalkräfte gemäss AB-EBV

- Führungskraft am Rad horizontal:
 - quasistatisch $Y_{a,qst,lim}$ Grenzwert im Normalfall = 60 kN
 - maximal (Spitzen) $Y_{a,max,lim}$ 120 – 140 kN (z.B. Radlenker)

Gemäss dem gemischten Unterausschuss UIC 57B/9-2 und der SBB-Weisung (Bau GD an ZfW) „Pflichtenhefte für den Bau von Triebfahrzeugen“ gilt:

3.1.3. Vertikalkräfte gemäss UIC 57B/9-2 und SBB-Weisung

- Radkraft quasistatisch: $Q_{a,qst,lim} = 145 \text{ kN}$
- Radkraft dynamisch: $Q_{a,max,lim} = 170 \text{ kN}$ ¹⁸

3.1.4. Horizontalkräfte gemäss UIC 57B/9-2 und SBB-Weisung

- Führungskraft quasistatisch: $Y_{a,qst,lim} = 60 \text{ kN}$
- Führungskraft dynamisch: $Y_{a,max,lim} = 110 \text{ kN}$

¹⁸ Dieser Wert (damals noch mit $h = 97.5 \%$) wurde von der SBB auch im Rahmen des Fragebogens UIC UA 7G für die Schienenprofile 54 kg/m und 60 kg/m bestätigt.

Die Erkenntnisse aus den Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB führen zu folgenden Grenzwerten:

3.1.5. Zulässige Vertikalkräfte im Prüfbereich 5

- Radkraft quasistatisch: $Q_{a,qst,lim} = 145 \text{ kN}$
- Radkraft dynamisch: $Q_{a,max,lim} = 180 \text{ kN}$

3.1.6. Zulässige Horizontalkräfte im Prüfbereich 5

- Führungskraft quasistatisch:
 - Lokomotiven: $Y_{a,qst,lim,Loks} = 70 \text{ kN}$
 - Wagen: $Y_{a,qst,lim,Wagen} = 60 \text{ kN}$
 - Triebzüge: $Y_{a,qst,lim,Triebzüge} = 70 \text{ kN}$
- Führungskraft dynamisch: $Y_{a,max,lim} = 110 \text{ kN}^{19}$

Erhöhte Führungskräfte $Y_{a,qst}$ bis zum fahrzeugtypabhängigen Grenzwert $Y_{a,qst,lim}$ bedingen eine Reduktion der Radkraft $Q_{a,qst}$, damit die ebenfalls fahrzeugtypabhängige Gleisbeanspruchungskraft $B_{a,qst,lim}$ eingehalten wird.

3.2. Kombinierte Gleisbeanspruchungskraft B (vertikal und horizontal)

Die kombinierte quasistatische Gleisbeanspruchungskraft $B_{a,qst}$ gilt in der Schweiz als lineare Kombination von gleichzeitig wirkenden $Y_{a,qst}$ - und $Q_{a,qst}$ -Kräften und dient folgendem Zweck:

- Höhere Führungskräfte können akzeptiert werden, wenn die vertikalen Kräfte niedrig sind (leichte Fahrzeuge). Ein Überschreiten des Grenzwertes für $Y_{a,qst}$ ist damit möglich, ohne dass die Beanspruchung der Schienen zu gross wird (Reduktion von $Q_{a,qst}$). Höhere Vertikalkräfte akzeptieren zu können ist nicht notwendig, da auch schwere Fahrzeuge mit hoher unabgefederter Masse den Grenzwert für $Q_{a,qst}$ einhalten können.
- Falls einzelne Kräfte zu gross sind, kann $B_{a,qst}$ bei der Festlegung von Einschränkungen der Geschwindigkeit und/oder des Überhöhungsfehlbetrags unterstützen (Kenngrösse, die proportional zu den Schienenspannungen ist und den lokal verwendeten Schienen²⁰ angepasst werden kann).

Der durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB erarbeitete Grenzwert für das Schienenprofil 46 kg/m beträgt:

- Beanspruchungskraft quasistatisch: $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$
(EN 14363 Anhang J)
- $$B_{a,qst} = |Y_{a,qst}| + 0.83 \cdot Q_{a,qst}$$

¹⁹ Schienenermüdung aufgrund von Biegespannungen ist ein Ergebnis wiederholter Belastung durch maximale Gesamtkräfte, die an derselben Stelle im Gleis auftreten (und nicht der mittleren quasistatischen Werte). Deshalb ist zusätzlich zum quasistatischen Wert $Y_{a,qst}$ auch der Maximalwert $Y_{a,max}$ zu ermitteln.

²⁰ Der Grenzwert für $B_{a,qst,lim}$ ist von der Querschnittsfläche der Schiene abhängig.

3.2.1. Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Lokomotiven

Für Lokomotiven gilt aufgrund der Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB folgender erhöhter Grenzwert:

- Beanspruchungskraft quasistatisch: $B_{a,qst,lim,Loks} = 180 \text{ kN}^{21}$

3.2.2. Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Wagen

Für Wagen gilt folgender reduzierter Grenzwert:

- Beanspruchungskraft quasistatisch: $B_{a,qst,lim,Wagen} = 170 \text{ kN}^{22}$

3.2.3. Gleisbeanspruchungskraft quasistatisch für Triebzüge

Für Triebzüge²³ gilt der normale Grenzwert:

- Beanspruchungskraft quasistatisch: $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$

3.2.4. Darstellung des Zusammenhangs der Kräfte Y, Q und B

Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den quasistatischen Y- und Q-Kräften sowie der daraus kombinierten Gleisbeanspruchungskraft B und $(Y/Q)_{a,qst,lim}$:

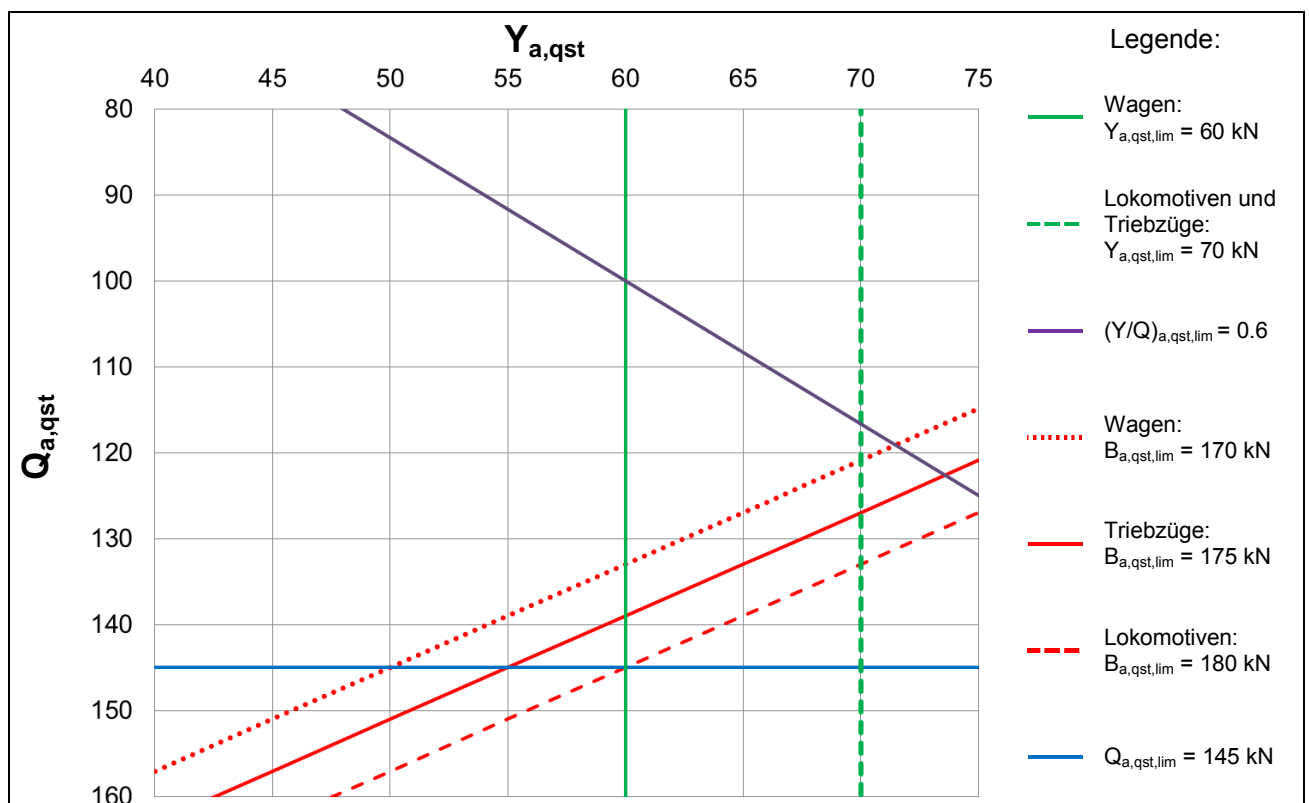


Abb. 3-1: Grafische Darstellung des Zusammenhangs der $Y_{a,qst}$ - und $Q_{a,qst}$ -Kräfte sowie der Kombination $B_{a,qst}$ und $(Y/Q)_{a,qst,lim}$

²¹ $B_{a,qst,lim,Loks} = B_{a,qst,lim} + 5 \text{ kN}$. Die Überschreitung des für die Schiene 46 kg/m gültigen Grenzwertes von $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$ ist nur unter der Voraussetzung von Mischverkehr (siehe auch Ziffer 2.5.2. und Fusszeile 9) möglich.

²² $B_{a,qst,lim,Wagen} = B_{a,qst,lim} - 5 \text{ kN}$. Um die Überschreitung des für die Schiene 46 kg/m gültigen Grenzwertes von $B_{a,qst,lim} = 175 \text{ kN}$ bei Lokomotiven zu begründen und den Mischverkehr sicherzustellen, gilt für Wagen ein entsprechend tieferer Grenzwert.

²³ Triebzüge verkehren als in sich geschlossene Komposition und bringen aufgrund der bisherigen Erfahrungen in der Schweiz immer eine insgesamt höhere Beanspruchung mit sich als lokbespannte Züge. Aus diesem Grund gilt der normale Grenzwert $B_{a,qst,lim}$.

3.3. Zusätzliche für die Fahrwegbeanspruchung zu dokumentierende Parameter

Die Grössen zur Beurteilung der Fahrwegbeanspruchung zielen darauf ab, verschiedene Auswirkungen zu überwachen wie zum Beispiel:

- Ermüdung der als Durchlaufträger betrachteten Schiene aufgrund von Biegespannungen.
- Abrasiver Verschleiss der Schienenflanke.
- Oberflächenermüdung des Schienenkopfes (einschliesslich Rissentstehung) aufgrund hoher Kontaktkräfte.
- Versagen der Befestigungsbauteile aufgrund hoher Führungskräfte oder Torsionsmomente.

Darüber hinaus können folgende zusätzliche Parameter, die nur für die Aussenschiene in Bögen ausgewertet werden, dabei unterstützen, die geeigneten Betriebsbedingungen und Fahrzeugzustände (Überhöhungsfehlbetrag, Geschwindigkeit, Reibungsverhältnisse, Zuladung) in Abhängigkeit von Trassierung, Gleislagequalität und Gleisstandhaltungsstrategie zu bestimmen:

- Gleisbeanspruchungskraft dynamisch $B_{a,max}$:

$$B_{a,max} = |Y_{a,max}| + 0.91 \cdot Q_{a,max} \quad (\text{EN 14363 Anhang J})$$

- Kontaktversatz Δy_R : Berührungspunkt zwischen Rad und Schiene (Messgrösse für die laterale Position des Aufstandspunktes am Radprofil, welche dem Messradsatzsystem entnommen wird)
- Radlängskraft quasistatisch $T_{x,a,qst}$

und

- Schienenoberflächenschädigung quasistatisch $T_{a,qst}$:

$$T_{a,qst} = \frac{Q_{a,qst}}{10000} \cdot (330 \cdot f^2 - 62 \cdot f + 4)$$

$$\text{mit } f = \left(\frac{Y}{Q} \right)_{a,qst} + 0.62 \cdot \left(\frac{|T_x|}{Q} \right)_{a,qst}$$

als Parameter für die Wechselwirkung zwischen Verschleiss und oberflächeninitiiertes Rollkontaktermüdung, wenn T_x -Kräfte gemessen werden können.

(EN 14363 Anhang K)

Entsprechende Grenzwerte sind in dieser Regelung nicht festgelegt. Für die Entwicklung und Festlegung zukünftiger Grenzwerte müssen die Erfahrungen aus ermittelten Messdaten berücksichtigt werden.

3.4. Gleisverschiebekraft gemäss AB-EBV

Generell ist in der Schweiz die zulässige Gleisverschiebekraft gemäss AB-EBV Art. 31 Blatt Nr. 2N zu berechnen:

$$\bullet \quad (\Sigma Y)_{\max, \lim} = \alpha \cdot \left(10 + \frac{P_{F0}}{3} \right) \quad [\text{kN}]$$

► Auswertung gemäss EN 14363 Tab. 5:

Gleitender-Mittelwert-Verfahren mit

– Mittelungslänge 2 m

– Fortschrittslänge ≤ 0.5 m

Dabei ist als Regelwert für die generelle Anwendung und ohne besondere Abklärungen im Prüfbereich 5 für die Berechnung des Grenzwertes der Gleisverschiebekräfte ein Koeffizient von $\alpha = 0.85$ anzusetzen. Die Anwendung des Ausnahmewertes von $\alpha = 1.0$ für den Radienbereich kleiner 250 m ist aufgrund der Trassierung und dem davon abhängigen Oberbau in engen Bögen auch in absehbarer Zukunft ausgeschlossen (siehe auch Ziffer 2.5.).

Falls bei der statischen Auswertung der Messergebnisse besondere Effekte festgestellt werden, ist eine fachlich korrekte Argumentationskette durch einen Sachverständigen mit plausiblen und nachvollziehbaren Interpretationsstufen möglich, z.B. bei:

- Unterscheidung zwischen absoluter Grenzwertüberschreitung und Überschreitung des max. Erwartungswertes (keine Grenzwertüberschreitung von sicherheitsrelevanten Einzelwerten).
- Grosser Streuung der Messergebnisse aufgrund von Fahrwerkskonstruktionen, welche sich radial einstellen können (gute Radialeinstellungsfähigkeit).
- Links-/Rechts-Abweichung.

3.5. Quotient aus Führungs- und Radaufstandskraft

3.5.1. Quotient für Sicherheit gegen Entgleisen (Y/Q)

Der Quotient von Führungs- und Radkraft $(Y/Q)_a$ des bogenäusseren Rades wird als Beurteilungsgrösse für die Sicherheit gegen Entgleisung infolge des Aufkletterns eines Spurkranzes benutzt. Die Verwendung von $(Y/Q)_a$ als Beurteilungsgrösse wurde erstmals von Nadal im Jahr 1908 vorgeschlagen und wird seitdem weltweit von vielen Bahnen genutzt. Der Grenzwert

- $\left(\frac{Y}{Q}\right)_{a,\text{lim}} = 1.2$

zur Sicherheit gegen Entgleisung beim Befahren von Gleisverwindungen wurde nach Untersuchungen der europäischen Eisenbahnen für einen Spurkranzflankenwinkel γ von 70° und einen Reibungskoeffizienten $\mu \geq 0.36$ festgelegt. Für andere Flankenwinkel wird der Grenzwert berechnet nach:

- $\frac{Y}{Q} = \frac{\tan \gamma - 0.36}{1 + 0.36 \cdot \tan \gamma}$

Der sicherheitsrelevante Grenzwert für den Quotienten aus Führungskraft und Radkraft $(Y/Q)_{a,\text{max}}$ eines führenden Rades im Gleisbogen mit Gleisbogenhalbmesser $R \geq 250$ m beträgt:

- $\left(\frac{Y}{Q}\right)_{a,\text{max,lim}} = 0.8$

Nach bisherigen Untersuchungen im Zusammenhang mit der standardisierten fahrtechnischen Prüfung von Eisenbahnfahrzeugen konnte der Grenzwert $(Y/Q)_{a,\text{max,lim}}$ nur für Gleisbogen (konstante Krümmung ohne Übergangsbogen und Rampen) mit Gleisbogenhalbmesser $R \geq 300$ m und bei einigen Beladungszuständen verifiziert werden. Gemäss EN 14363 fehlen bisher Nachweise über die Eignung für Gleisbogenhalbmesser $R < 300$ m.

Bereits im ORE-Schlussbericht C 138/RP 9 wird festgestellt:

„In engen Gleisbögen mit $R \leq 300$ m werden nur für die SBB-Bo'Bo'-Lok grenzwertüberschreitende Häufigkeitswerte registriert (0.86 und 0.92) und bei der NSB-Lok wird der Grenzwert ebenfalls für $R \leq 300$ m nahezu erreicht (0.77). Die Schätzwerte des max. Erwartungswertes liegen bei den Lok SBB und NSB bei 0.99 und 0.92.

Daraus muss geschlossen werden, dass die kumulierten, entgleisungsfördernden Versuchsanordnungen zur Bestimmung eines Grenzwertes für Y/Q gegenüber den normalen, vorherrschenden Betriebsbedingungen sehr streng angesetzt waren und deshalb zu einem tiefen Wert von 0.8 führten. Dieser konnte wohl für Gleisbogenhalbmesser $R > 300$ m verifiziert, für $R \leq 300$ m aber nicht erhärtet werden.

Wie weit er erhöht werden könnte, müssten zusätzliche Untersuchungen über die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von entgleisungsfördernden Einflüssen unter normalen Betriebsverhältnissen aufzeigen. Sehr lange Betriebserfahrungen mit Werten gegen 1 führten immerhin nie zu Entgleisungen.

Die Einhaltung eines Grenzwertes $Y/Q = 0.8$ führt jedenfalls zu einer grossen Sicherheit gegen Entgleisen, die noch einen gewissen Sicherheitsfaktor beinhaltet. Die Grösse desselben liegt im Entscheidungs- und Verantwortungsbereich der einzelnen Bahnen.“

Die Erkenntnisse aus den Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB bestätigen diese Feststellungen. Unter Berücksichtigung der Schweizer Betriebsbedingungen liegt somit für die Beurteilung der Messgrösse $(Y/Q)_{a,max}$ in extra kleinen Bogenradien (Vollbögen $R < 250$ m) der Grenzwert bei $(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.0$.

Weiter kann es vorkommen, dass beim Zielwert für den Überhöhungsfehlbetrag nicht zwingend der höchste Erwartungswert vorliegt, gerade der Quotient (Y/Q) kann sich mit zunehmender Dynamik verbessern. Falls der Verlauf der Regressionsgeraden oder des Vertrauensintervalls bei $\bar{u}f = 0.7 \cdot \bar{u}f_{zul}$ zu höheren Werten als beim Zielwert für den Überhöhungsfehlbetrag führt, gilt dies als Beurteilungsgrundlage und muss entsprechend dokumentiert werden.

Bei der Beurteilung von Übergangsbögen dürfen die Einzelwerte den Grenzwert $(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.2$ nicht überschreiten (Maximalwertbeurteilung ohne statistische Auswertung).

Gemäss EN 14363 gilt ein Fahrzeug als sicher gegen Entgleisen, wenn die Bedingung 99.85 %-Erfahrungswert $\{ (Y/Q)_{a,max} \} \leq (Y/Q)_{a,max,lim}$ bei jedem Versuch erfüllt wird.

3.5.2. Quotient für Beurteilung der Fahrwegbeanspruchung (Y/Q)

Ergänzend zur Beurteilung der Sicherheit gegen Entgleisen wird der Quotient (Y/Q) auch verwendet als Beurteilungsgrösse für die Fahrwegbeanspruchung (insb. Schienenbefestigung). $(Y/Q)_{a,qst}$ ergibt sich aus der Bedingung, dass die Resultierende der Kräfte Y und Q innerhalb der Schienenfussbreite in die Befestigung eingeleitet werden muss:

- Beanspruchungsgrösse quasistatisch: $(Y/Q)_{a,qst,lim} = 0.6$

Das Beurteilungskriterium $(Y/Q)_{a,qst}$ ist in Kombination mit der quasistatischen Gleisbeanspruchungskraft $B_{a,qst}$ eine sinnvolle Beurteilungsgrösse.

3.6. Prüfbedingungen für Auswertungsabschnitte in Gleisbögen (erweitert)

Nachfolgend die Prüfbedingungen für Auswertungsabschnitte in Gleisbögen²⁴ nach EN 14363 Tabelle 2, erweitert mit dem Prüfbereich 5:

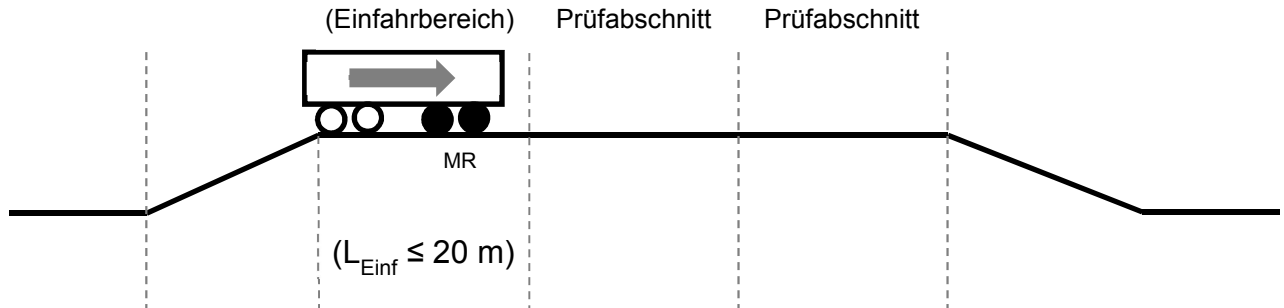


Abb. 3-2: Aufteilung eines Gleisbogens in Übergangsbogen sowie Einfahrbereich und Prüf-, resp. Auswertungsabschnitte

Prüfmerkmal	Prüfbereich			
	2	3 400 m ≤ R ≤ 600 m	4 250 m ≤ R < 400 m	5 R < 250 m
Länge der Auswertungsabschnitte L _{AA} ^{A)}		100 m	70 m	50 m
a) V ≤ 140 km/h	100 m			
b) 140 km/h < V ≤ 220 km/h	250 m			
c) V > 220 km/h	500 m			
Mindestanzahl der auszuwertenden Auswertungsabschnitte n _{AA,min}	25	50	25	Alle gemessenen Abschnitte ²⁵
Mindestlänge der aufsummierten Auswertungsabschnitte ΣL _{AA,min}	10 km			
Durchschnittlicher Gleisbogenradius aller Auswertungsabschnitte R _m ^{B)}		500 m ± 50 m	300 m + 50 m, - 20 m	200 m ± 10 m
A) Toleranz für die Länge des einzelnen Auswertungsabschnittes: ± 20 % B) PB 5: (250 m + 144 m) / 2 = 197 m (Referenzstrecke: ~ 197 m) → R _m ≈ 200 m				

Tab. 3-3: Prüfbedingungen für Auswertungsabschnitte in Gleisbögen inkl. Prüfbereich 5

²⁴ Ergänzend zur EN 14363 (Ziffer 7.3.2):

- Die Aufteilung des Gleisbogens erfolgt in einen Übergangs- und einen Vollbogen. Als Vollbogen gilt der Bereich des Gleisbogens mit konstanter Krümmung und konstanter Überhöhung („Katzenohren“ → Übergangsbogen).
- Es ist immer die gesamte Länge des Gleisbogens auszuwerten, d.h. es darf keine Lücke zwischen dem ersten Abschnitt im Vollbogen und dem vorangehenden Übergangsabschnitt auftreten.
- Zur Berücksichtigung der Fahrzeugdynamik darf fallweise ein Auswertebereich von bis zu einer Fahrzeuglänge und max. 20 m am Anfang des Vollbogens (Einfahrbereich) in die Auswertung des Übergangsbogens einfließen, falls entsprechende fahrzeugspezifische Übergangseffekte auftreten und die statistische Auswertung der Vollbogenabschnitte wesentlich beeinflussen. Entsprechende Übergangseffekte sind im Prüfbericht festzuhalten und zu dokumentieren.
- Die Übergangsbögen / Rampen sind ebenfalls auszuwerten und zu dokumentieren. Aufgrund der sich innerhalb des Übergangsbogens ändernden Fahrparameter erfolgt für den Übergangsbogen jedoch keine statistische Auswertung.

²⁵ Grundsätzlich ist jeweils die ganze Referenzstrecke zu befahren und alle Auswertebereiche sind zu berücksichtigen.

3.7. Auszuwertende Messgrößen inkl. Grenzwerte im Prüfbereich 5

In folgender Tabelle sind die Grenzwerte der auszuwertenden Messgrößen für den Prüfbereich 5 zusammengefasst, die gemäss AB-EBV Art. 31 Ziffer 2.1 Blatt Nr. 2N für die fallweise erforderlichen Untersuchungen auf Strecken mit Radien unter 250 m einzuhalten sind:

Prüfbereich 5				
Radienbereich		144 m ≤ R < 250 m		
Mittlerer Bogenradius R _m		200 m ± 10 m		
Querbeschleunigung a _q für die Auswertung der fahrtechnischen Prüfung ²⁶ (Überhöhungsfehlbetrag üf)		Zugreihe R:	a _{q,prüf} = 0.935 m/s ² (üf _{prüf} = 143 mm)	a _{q,zul} = 0.85 m/s ² (üf _{zul} = 130 mm)
		Zugreihe A:	a _{q,prüf} = 0.8 m/s ² (üf _{prüf} = 122 mm)	a _{q,zul} = 0.72 m/s ² (üf _{zul} = 110 mm)
Messgrösse:	Grenzwert:	Referenz:	Filterung, Statistik:	Bemerkungen:
Fahrsicherheit ²⁷ / Summe der Führungskräfte (Gleisverschiebekräfte): (ΣY) _{2m}				
(ΣY) _{max} [kN]	$(\Sigma Y)_{max,lim} = 0.85 \cdot \left(10 + \frac{P_{F0}}{3}\right)$	AB-EBV Art. 31 Blatt Nr. 2N, EN 14363 Tabelle 4	Tiefpassfilterung 20 Hz Gleitender Mittelwert über 2 m Δx ≤ 0.5 m h = 0.15 % / 99.85 %	Streckengleise Siehe auch R I-50127 Ziffer 3.4.
Fahrsicherheit ²⁷ / Quotient für Sicherheit gegen Entgleisen: (Y/Q) _{2m}				
(Y/Q) _{a,max} [-]	$((Y/Q)_{a,max,lim} = 0.8)$	(EN 14363 Tabelle 4)	siehe oben	(In Vollbögen mit R ≥ 250 m)
	$(Y/Q)_{a,max,lim} = 1.0$	R I-50127 Ziffer 3.5.1.		In Vollbögen mit R < 250 m
	$(Y/Q)_{a,lim} = 1.2$	(Nadal)		In Übergangsbögen

²⁶ Siehe auch Ziffer 2.6. / Überhöhungsfehlbetrag im Prüfbereich 5.

²⁷ Zu beurteilender Erwartungswert bei a_q = 1.1 • a_{q,zul} (a_{q,prüf}). Ist der Erwartungswert bei tieferem a_q höher, gilt a_q = 0.7 • a_{q,zul}.

Fahrwegbeanspruchung (horizontal – vertikal) ²⁸ / Quasistatische Führungskraft Y_{qst} , Führungskraft Y_{max} – Quasistatische Radkraft Q_{qst} , Radkraft Q_{max} – Quasistatische Gleisbeanspruchungskraft B_{qst} – Quasistatische Quotienten $(Y/Q)_{a,qst}$ und $(Y/Q)_{i,qst}$				
$Y_{a,qst}$ [kN]	Wagen: $Y_{a,qst,lim} = 60$ kN Lokomotiven / Triebzüge: $Y_{a,qst,lim} = 70$ kN	R I-50127 Ziffer 3.1.6.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 50$ %	Siehe auch R I-50127 Ziffer 3.9.
$Y_{a,max}$ [kN]	$Y_{a,max,lim} = 110$ kN	R I-50127 Ziffer 3.1.6.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 0.15$ % / 99.85 %	
$Q_{a,qst}$ [kN]	$Q_{a,qst,lim} = 145$ kN	AB-EBV Art. 31 Blatt Nr. 2N, EN 14363 Tabelle 4	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 50$ %	Siehe auch R I-50127 Ziffer 3.1.5.
$Q_{a,max}$ [kN]	$Q_{a,max,lim} = 90$ kN + Q_0 ; 180 kN	EN 14363 Tabelle 4, R I-50127 Ziffer 3.1.5.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 99.85$ %	
$B_{a,qst}$ [kN] $B_{a,qst} = Y_{a,qst} +$ $0.83 \cdot Q_{a,qst}$	Wagen: $B_{a,qst,lim} = 170$ kN Triebzüge: $B_{a,qst,lim} = 175$ kN Lokomotiven: $B_{a,qst,lim} = 180$ kN	R I-50127 Ziffer 3.2.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 50$ %	Siehe auch UIC-MB 518 und EN 14363 Anhang J
$(Y/Q)_{a,qst}$ [-]	$(Y/Q)_{a,qst,lim} = 0.6$	R I-50127 Ziffer 3.5.2.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 50$ %	
$(Y/Q)_{i,qst}$ [-]	Mindestverhältnis $(Y/Q)_{i,qst}$ ist fahrzeugspezifisch festzulegen	R I-50127 Ziffer 3.9.	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP $h = 50$ %	Stellvertretend für den Reibungs- koeffizienten μ

Tab. 3-4: Zielgrößen und Grenzwerte

Solange keine abweichenden Versuchsbedingungen definiert worden sind, sind die Randbedingungen gemäss EN 14363, respektive UIC-MB 518, zu berücksichtigen. Sämtliche Grenzwerte²⁹ wurden im Rahmen der Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB verifiziert.

P_0 , resp. $2Q_0$, ist die statistische Radsatzlast der mit Messradsätzen ausgestatteten Achse(n) gemäss der Messradsatz-Kalibrierung (siehe auch Ziffer 3.1.1.).

²⁸ Zu beurteilender Erwartungswert für Maximalwerte bei $a_q = 1.1 \cdot a_{q,zul}$ ($a_{q,prüf}$) und für quasistatische Werte bei $a_q = 1.0 \cdot a_{q,zul}$.

²⁹ EN 14363, Ziffer 7.5.1, Anmerkung 1: „Die angegebenen Grenzwerte spiegeln den internationalen Einsatz wider und sind von der UIC abgeleitet. Bei nationalem oder multinationalem Einsatz können diese Grenzwerte abweichen. Abweichende Grenzwerte können aufgrund der Fahrwegbedingungen möglich oder notwendig sein, wenn diese von denen abweichen, die von der UIC als Basis verwendet werden. Beispiele sind Systeme mit fester Fahrbahn, stärkeren Schienen oder besondere Bedingungen auf Bergstrecken.“

3.8. Zusätzlich zu dokumentierende Messgrößen

In folgender Tabelle sind die zusätzlichen für die Fahrwegbeanspruchung zu dokumentierenden Messgrößen zusammengefasst:

Fahrwegbeanspruchung / Zusätzliche zu dokumentierende Parameter: Gleisbeanspruchungskraft B_{max} – Kontaktversatz Δy_R – Quasistatische Radlängskraft $T_{x,a,qst}$, Quasistatische Schienenoberflächenschädigung $T_{a,qst}$				
Messgrösse:	Herleitung:	Referenz:	Filterung, Statistik:	Bemerkungen:
$B_{a,max}$ [kN]	$B_{a,max} = Y_{a,max} + 0.91 \cdot Q_{a,max}$ (ohne Grenzwert)	R I-50127 Ziffer 3.3., EN 14363 Anhang J	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP h = 99.85 %	
Δy_R [mm]	Messgrösse aus Messradsatzsystem (ohne Grenzwert)	R I-50127 Ziffer 3.3.	Tiefpass- filterung 1 Hz / STP h = 50 %	
$T_{x,a,qst}$ [kN]	Messgrösse aus T_x (ohne Grenzwert)	R I-50127 Ziffer 3.3., EN 14363 Anhang K	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP h = 50 %	Wenn T_x -Kräfte gemessen werden können
$T_{a,qst}$ [-]	Berechnung aus $T_{x,a,qst}$, $Q_{a,qst}$ und $(Y/Q)_{a,qst}$ (ohne Grenzwert)	R I-50127 Ziffer 3.3., EN 14363 Anhang K	Tiefpass- filterung 20 Hz / STP h = 50 %	Wenn T_x -Kräfte gemessen werden können

Tab. 3-5: Zusätzlich zu dokumentierende Messgrößen

3.9. Auswertung und Darstellung der Messergebnisse

Die Messergebnisse sind gemäss Ziffer 3 in Anlehnung an die EN 14363, bzw. UIC-MB 518, zweidimensional auszuwerten und darzustellen. Die Übergangsbögen sind ebenfalls auszuwerten und zu dokumentieren.

Es dürfen nur die Resultate in die Auswertung miteinbezogen werden, welche aufgrund der Reibungsverhältnisse zwingend auf trockenen Schienen³⁰ ermittelt wurden (hinreichend hoher Reibungskoeffizient, jedoch ohne generelle Mindest-Vorgabe für den Mittelwert des Y/Q-Verhältnisses $(Y/Q)_{i,qst}$ auf der inneren Schiene über den ganzen Abschnitt hinweg). Der Reibungskoeffizient μ , resp. das repräsentative Mindestverhältnis $(Y/Q)_{i,qst}$, ist fallweise zu ermitteln, fahrzeugspezifisch festzulegen und im Prüfbericht nachvollziehbar zu dokumentieren³¹.

Eine einseitige Neuberechnung des statistischen Erwartungswertes für die quasistatischen Radführungskräfte mit Hilfe der Messgrösse $(Y/Q)_{i,qst}$ gemäss EN 14363 und UIC-MB 518 ist im Prüfbereich 5 nicht zulässig³².

Allfällige erhöhte Luftfeuchtigkeit, z.B. infolge von Nachtfahrten, kann in Ausnahmefällen nach Rücksprache mit dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur toleriert werden und ist im Protokoll, resp. im Prüfbericht, ebenfalls festzuhalten.

³⁰ Hinreichend hoher Reibungskoeffizient μ , d.h. trockener Schienenzustand bei dafür geeigneten Wetterbedingungen (idealerweise warme Wetterperiode mit trockenen Witterungsbedingungen).

³¹ Die Messgrösse $(Y/Q)_{i,qst}$ am bogeninneren Rad des führenden Radsatzes wird als „Kraftschlussverhältnis“ zur Feststellung der Reibungsverhältnisse während der fahrtechnischen Prüfung herangezogen. Die Erkenntnisse aus den Grundlagenuntersuchungen durch die Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB zeigen, dass die Messgrösse $(Y/Q)_{i,qst}$ in sehr kleinen ($250\text{ m} \leq R < 400\text{ m}$) und extra kleinen Bogenradien ($R < 250\text{ m}$) massgeblich durch die Fahrwerkskonstruktion (Art der Radsatzführung) beeinflusst wird. So gilt die verbreitete Vorgabe, nur Auswerteabschnitte mit Reibwerten $(Y/Q)_i \geq 0.36$ zu berücksichtigen, nur für starre Fahrwerkskonstruktionen, welche sich nicht oder nur wenig radial einstellen und sich dadurch eine Winkelfehlstellung zwischen der tangentialen Richtung des Gleises und der Rollrichtung des Radsatzes ergibt (sogenannter „Anlaufwinkel α “ zwischen Rad und Schiene). Für weiche, selbstlenkende oder zwangsgesteuerte Fahrwerkskonstruktionen, welche sich radial einstellen können, ist das zutreffende Mindestverhältnis fallweise zu ermitteln und fahrzeugspezifisch festzulegen.

Damit für die Nachweisführung realitätsnah die während der absolvierten fahrtechnischen Prüfung vorherrschenden Reibbedingungen (Reibwerte) wiedergegeben werden, sind die Resultate im Detail zu analysieren und bewerten. Auswerteabschnitte, welche aus der Nachweisführung ausgeschlossen werden, sind im Prüfbericht festzuhalten und zu begründen.

³² „Reibwertnormierung“: Fahrzeuge, welche bei hohen Reibwerten gemessen wurden (trockene Witterungsbedingungen), sollen nicht benachteiligt werden (zur Vergleichbarkeit von Fahrzeugmessresultaten sollten die Witterungsbedingungen keinen Einfluss auf die Erwartungswerte haben). Da die Erkenntnisse der Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB zeigen, dass die Messgrösse $(Y/Q)_{i,qst}$ in extra kleinen Bogenradien mit $R < 250\text{ m}$ nicht nur durch vorherrschenden Reibbedingungen (Reibwerte), sondern auch massgeblich durch die Fahrwerkskonstruktion beeinflusst wird, ist die einseitige Neuberechnung nicht zulässig.

Als ergänzende Information können im Prüfbericht die Ergebnisse nach der Neuberechnung dokumentiert werden. Die einzelnen $(Y_{qst})_i$ -Werte der Gleisabschnitte „i“, auf denen $(Y/Q)_i$ 0.40 überschreitet, sind dabei durch folgende Werte zu ersetzen: $(Y_{qst})_i - 50 \cdot [(Y/Q)_i - 0.4]$.

3.9.1. Andere Nachweise für den Prüfbereich 5 (bereits geprüfte Fahrzeuge)

Wurden für fahrtechnisch bereits geprüfte Fahrzeuge Nachweise für den Prüfbereich 5 unter anderen betrieblichen Randbedingungen (z.B. in Österreich³³) erbracht, ist eine ergänzende Auswertung und Darstellung dieser fahrtechnischen Messergebnisse für schweizerische Betriebsbedingungen möglich.

Da eine Nachweisübertragung von anderen Strecken mit abweichenden Betriebsbedingungen aufgrund der Erkenntnisse aus den Grundlagenuntersuchungen der Gruppe Fahrtechnik BAV / SBB / BLS / SOB prinzipiell jedoch nicht möglich ist, wird fahrzeug- und projektspezifisch festgelegt, ob der bereits erbrachte Nachweis ausreichend oder neu zu erbringen ist.

Neben den spezifischen Zusatzauswertungen gemäss den schweizerischen Betriebsbedingungen gehört auch der ursprüngliche Prüfbericht zum vollständigen Nachweis. Die schweizspezifischen Zusatzauswertungen für den Prüfbereich 5 sind in einem ergänzenden Auswertungsbericht zusammenzufassen, in dem alle beurteilungsrelevanten Grössen, Randbedingungen, etc. plausibel und nachvollziehbar dokumentiert sind (dazu gehört beispielsweise auch die Erläuterung einer allfällig durchgeführten Y-Korrektur der Messradsätze in kleinen Radien).

³³ In Österreich wird der Prüfbereich 5 (R < 250 m) typischerweise auf der Strecke Gloggnitz – Semmering geprüft.

3.10. Anordnung der Messradsätze, Fahrtrichtung und Fahrzeugkonfiguration

Solange keine abweichenden Versuchsbedingungen definiert werden, sind die Randbedingungen gemäss EN 14363, respektive UIC-MB 518, zu berücksichtigen. Als Prüflinge werden vom Antragsteller wie bei der standardisierten Prüfung die fahrtechnisch ungünstigsten Fahrwerke, resp. Radsätze, definiert. Normalerweise werden bei Triebzügen, Lokomotiven und Wagen³⁴ die Radsätze mit den höchsten Radlasten im Brutto-Zustand sowie die Radsätze mit den niedrigsten Radlasten im Tara-Zustand geprüft, da diese erfahrungsgemäss die ungünstigsten Zustände bezüglich Fahrsicherheit $(\Sigma Y)_{\max}$ und $(Y/Q)_{a,\max}$ darstellen. Der fahrtechnisch zu untersuchende Zustand kann jedoch je nach Risikobetrachtung und Spezifizierung des Antragstellers und Rücksprache mit dem BAV sowie dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur auch ein anderer sein.

Falls weitere für die Streckenversuche benötigte Fahrzeuge (z.B. Lokomotiven, Mess- oder Bremswagen) auf Strecken mit extra kleinen Radien $R < 250$ m nicht betriebserprobt³⁵ und nicht mit Messradsätzen ausgerüstet sein sollten, ist seitens des Antragstellers unbedingt sicherzustellen, dass auch diese Fahrzeuge entsprechende Bögen sicher befahren können.

3.10.1. Fahrtrichtung

Für den Erhalt einer möglichst grossen Grundgesamtheit an beurteilungsrelevanten Auswertungsabschnitten ist oder sind die Referenzstrecke(n) in beiden Richtungen mit vor- und nachlaufenden Messradsätzen zu befahren. Das bedeutet, dass die Fahrzeuge gewendet werden müssen.

Da die Referenzstrecke(n) in beiden Richtungen mit vor- und nachlaufenden Messradsätzen befahren werden, können einzelne Auswertungsabschnitte bei der statistischen Auswertung mehrfach verwendet werden, wenn sich der Überhöhungsfehlbetrag der einzelnen Messfahrten um mehr als $0.05 \cdot \text{üf}_{\text{zul}}$ unterscheidet.

3.10.2. Fahrzeugkonfiguration

Da möglichst betriebsnahe Zustände untersucht werden, ist das zu prüfende Fahrzeug in seiner „üblichen“ Position in der Versuchskomposition einzureihen und für angetriebene Fahrzeuge ein Nachweis für den Einfluss der Traktion erforderlich. Angetriebene Fahrzeuge (Triebzüge und Lokomotiven) absolvieren die Messfahrten deshalb grundsätzlich in Eigentraktion³⁶.

³⁴ Güterwagen haben viele standardisierte Komponenten. Die EN 16235 (UIC-MB 432) beschreibt die Bedingungen, unter denen Güterwagen mit Standardlaufwerken ohne Streckenversuche gemäss EN 14363 (UIC-MB 518) zugelassen werden können. Falls Güterwagen diese Bedingungen nicht erfüllen und nicht von Streckenversuchen befreit sind, gelten die Anforderungen für Wagen. Güterwagen mit drei Radsätzen pro Drehgestell (oder mehr) sind spezifisch zu beantragen und fallweise zu beurteilen.

³⁵ Betriebserprobt = Hinreichende positive Betriebserfahrung auf entsprechenden Strecken (siehe auch Ziffer 1.2.).

³⁶ Falls Messfahrten in Eigentraktion nicht möglich sind (z.B. aufgrund stark reduzierter Antriebs- und Bremsleistung), kann das zu prüfende Fahrzeug nach Rücksprache mit dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur geschleppt werden.

3.11. Ausfallverhalten (aussergewöhnliche Fahrzeugzustände)

Die Streckenversuche im Prüfbereich 5 sind in den nominalen Betriebszuständen (ohne Ausfall-Szenarien) durchzuführen.

Ergänzende Untersuchungen bezüglich Ausfallverhalten werden dann notwendig, wenn ein fahrtechnisch negativer Einfluss auf die Fahrsicherheit und Fahrwegbeanspruchung durch den Ausfallzustand nicht ausgeschlossen werden kann.

3.11.1. Fahrtechnisch relevante Ausfallzustände

Entsprechend der durch den Antragsteller gemachten Risikobetrachtung und der davon unabhängigen Beurteilung durch das BAV sowie den Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur kann es erforderlich sein, Prüffahrten in den für die Beurteilungsgrößen fahrtechnisch relevanten Ausfallzuständen durchzuführen, welche die Fahrsicherheit des Fahrzeuges nicht beeinträchtigen dürfen (z.B. Luftfederung ohne Luft aufgrund des veränderten Ausdrehmoments des Drehgestells, Ausfall Schlingerdämpfer, etc.).

In Anlehnung an die EN 14363 sind diese aussergewöhnlichen Fahrzeugzustände (nur) bis zu der entsprechenden betrieblichen Höchstgeschwindigkeit, resp. dem zulässigen Überhöhungsfehlbetrag, zu prüfen.

3.11.2. Ausfall aktiver Systeme

Es sind Prüffahrten in den für die Beurteilungsgrößen fahrtechnisch relevanten Ausfallzuständen der aktiven Systeme durchzuführen (z.B. Neigetechnik, schaltbare Schlingerdämpfer, aktive Drehdämpfer, etc.). Auch hier ist eine Risikobetrachtung durch den Antragsteller, ob diese Ausfallzustände fahrtechnisch zu untersuchen sind, zulässig.

In Anlehnung an die EN 14363 sind diese aussergewöhnlichen Fahrzeugzustände (nur) bis zu der entsprechenden betrieblichen Höchstgeschwindigkeit, resp. dem zulässigen Überhöhungsfehlbetrag, zu prüfen.

3.12. Spurkranzschmierung

Obwohl die Streckenversuche im Prüfbereich 5 in einem möglichst betriebsnahen Zustand durchgeführt werden sollen und der Schmierzustand des Streckengleises als "gesättigt" angesehen werden kann, ist die Spurkranzschmierung nach UIC-MB 518 (Ziffer 6.4.4.) entgegen dem Regelbetrieb für die Prüffahrten auszuschalten, da ihre Einstellung (Schmierintervall/Häufigkeit, Schmiermenge, Schmierfett, etc.) einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Messresultate haben kann (Reibungsverhältnisse).

3.13. Pufferschmier- und Kuppelzustand

Um möglichst betriebsnahe Reibungsverhältnisse zu erzielen wird bei Schraubenkupplungen ein dem ordentlichen Betrieb entsprechender Pufferschmier- und Kuppelzustand³⁷ verlangt.

3.14. Fahrzeugzustand

Das Fahrzeug muss für die fahrtechnische Prüfung im Prüfbereich 5 grundsätzlich mit Messradsätzen³⁸ ausgerüstet sein (normales Messverfahren), da nur mit dieser Messmethode auch eine Beurteilung der Fahrwegbeanspruchung möglich ist, und sich im betriebsbereiten serienkonformen Ausbaurzustand befinden (siehe auch EN 14363 Ziffer 5.3).

Nur in begründeten Ausnahmefällen³⁹ nach Rücksprache mit dem BAV sowie dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur wird eine Prüfung ohne Messradsätze (vereinfachtes Messverfahren), resp. im seriennahen Ausbaurzustand⁴⁰, akzeptiert.

³⁷ Fahrzeuge mit Seitenpuffer und Schraubenkupplungen sind „normal“ zu kuppeln, d.h. Anzug der Schraubenkupplungen in der Geraden bis beide Pufferplatten anliegen. Sollte während den Messfahrten die Vermutung entstehen, dass die Pufferkräfte der Seitenpuffer einen grossen Einfluss auf die gemessenen Führungskräfte haben, können zum besseren Systemverständnis ergänzende Messfahrten mit gelöster Schraubenkupplung durchgeführt und im Prüfbericht dokumentiert werden.

³⁸ Sofern vorhanden sollten ergänzende Auswertungen nach dem vereinfachten Messverfahren dem Prüfbericht hinzugefügt werden (zur Plausibilisierung und zum Systemverständnis).

³⁹ Ein begründeter Ausnahmefall kann beispielsweise die nachträgliche fahrtechnische Modifikation eines bereits im Prüfbereich 5 untersuchten Fahrzeuges sein, bei welchem man technisch plausibel und nachvollziehbar dokumentieren kann, dass die Modifikation keinen negativen Einfluss auf die fahrtechnischen Eigenschaften hat.

⁴⁰ Es gelten die Toleranzgrenzen analog des Parametervergleiches der EN 14363 für den Ausbaurzustand, beziehungsweise das Fahrzeuggewicht, mit Berücksichtigung der unter Ziffer 3.15. dargelegten Beladungszustände.

3.15. Beladungszustände

Gemäss EN 14363 muss der nachgebildete Beladungszustand der üblich betriebmässigen Zuladung entsprechen. Mit dem Inkrafttreten der AB-EBV 2012 per 01.07.2012 wurde die Definition der Beladungszustände grundlegend geändert. In der Schweiz gilt nun im Grundsatz für die Beladung der Fahrzeuge gemäss AB-EBV Art. 47 Blatt Nr. 1 Ziffer 2.6 die EN 15663 (Bahnanwendungen – Fahrzeugmassedefinitionen). Kann betrieblich eine Beschränkung der Zuladung gewährleistet werden, können kleinere Werte als die unten angegebenen zugelassen werden.

3.15.1. Beladungszustände für Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszüge⁴¹

Für Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszüge (Personenwagen und Triebzüge, inkl. der interoperablen Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge, welche nach TSI gebaut und zugelassen werden) gilt die Auslegungsmasse bei normaler Zuladung gemäss EN 15663 Ziffer 7.2 mit einer Abweichung:

Beladung	pro m ² effektive Stehplatz- und Bewirtungsfläche ⁴² :	pro sitzende oder stehende Person inklusive Handgepäck:
Fernverkehr:	Stehplatzfläche: 160 kg (2 Personen) ⁴³ Bewirtungsfläche: 100 kg (1.25 Personen)	Fahrgastmasse = 80 kg 100 % der Sitze besetzt
Gepäckabteile:	<u>pro m² Bodenfläche:</u> 300 kg	
Gepäckbereiche:	<u>pro m² Bodenfläche:</u> 0 kg	

Tab. 3-6: Beladungszustände gemäss EN 15663 für Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszüge

⁴¹ Diese Definition gilt nur für die fahrtechnische Prüfung und kann nicht als massgebende Radsatzlast für die Streckenklassen-Einteilung herangezogen werden. Für den Netzzugang und die Festlegung der massgebenden maximalen Radsatzlast gilt die Auslegungsmasse bei aussergewöhnlicher Zuladung (siehe R I-50064).

⁴² Bei Innentreppen ist die halbe projizierte Fläche zu berücksichtigen (50 % der Stehplatzbeladung).

⁴³ Abweichend zu EN 15663 und gemäss EN 15528. Die Beladung 2 Personen (160 kg) pro m² effektive Stehplatzfläche entspricht den Minimal-Anforderungen und Gegebenheiten des Fernverkehrs in der Schweiz (siehe R I-50064).

3.15.2. Beladungszustände für Personenfahrzeuge mit Ausnahme von Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszügen⁴⁴

Für Personenfahrzeuge, die nicht unter Ziffer 3.15.1. fallen (z.B. Interregio-, S-Bahn- und Regionalverkehr / inkl. der interoperablen Nahverkehrsfahrzeuge, welche nach TSI gebaut und zugelassen werden), gilt die Auslegungsmasse bei normaler Zuladung gemäss EN 15663 Ziffer 7.3:

Beladung	pro m² effektive Stehplatz- und Bewirtungsfläche ⁴⁵:	pro sitzende oder stehende Person inklusive Handgepäck:
Nahverkehr:	280 kg (4 Personen) ⁴⁶	Fahrgastmasse = 70 kg 100 % der Sitze besetzt
Gepäckabteile:	<u>pro m² Bodenfläche:</u> 300 kg	
Gepäckbereiche:	<u>pro m² Bodenfläche:</u> 100 kg	

Tab. 3-7: Beladungszustände gemäss EN 15663 für Personenfahrzeuge mit Ausnahme von Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehrszügen

3.15.3. Beladungszustände gemäss AB-EBV

Die Beladungszustände gemäss AB-EBV Art. 47 Blatt Nr. 2 Ziffer 2.7 sind seit dem 01.07.2012 nur noch für Schmalspurfahrzeuge und Strassenbahnen sowie für Normalspurfahrzeuge, bei welchen das Pflichtenheft durch das BAV vor 01.07.2012 genehmigt wurde, relevant.

⁴⁴ Diese Definition gilt nur für die fahrtechnische Prüfung und kann nicht als massgebende Radsatzlast für die Streckenklassen-Einteilung herangezogen werden. Für den Netzzugang und die Festlegung der massgebenden maximalen Radsatzlast gilt die Auslegungsmasse bei aussergewöhnlicher Zuladung (siehe R I-50064).

⁴⁵ Bei Innentritten ist die halbe projizierte Fläche zu berücksichtigen (50 % der Stehplatzbeladung).

⁴⁶ Gemäss EN 15663 und EN 15528. Die Beladung 4 Personen (280 kg) pro m² effektive Stehplatzfläche entspricht den Minimal-Anforderungen und Gegebenheiten des Nahverkehrs in der Schweiz (siehe R I-50064).

3.16. Radprofil

Entsprechend der EN 14363 (Ziffer 5.4.3.3) ist die fahrtechnische Prüfung auf Strecken mit Radien $R < 250$ m grundsätzlich mit betriebsnahen Radprofilen durchzuführen, die ein bei diesem Fahrzeugtyp im Betrieb entsprechendes repräsentativ verschlissenes Radprofil aufweisen. Diese Radprofile können wie bei allen anderen Streckenversuchen

- im Betriebseinsatz durch Verschleiss entstanden
oder
- für den Streckenversuch aufgedrehte Verschleissprofile sein.

Sollten die Streckenversuche mit neuen Radprofilen durchgeführt werden, muss der Antragsteller durch geeignete Untersuchungen nachweisen, dass die festgestellten fahrtechnischen Eigenschaften sich in Folge der Radprofilentwicklung nicht unzulässig negativ entwickeln.

3.17. Faktoren zur Gleislagekorrektur

Seit Einführung des neuen Diagnosefahrzeuges (DFZ) der SBB Infrastruktur erfolgen die Messungen der Gleislage gemäss der EN 13848-1. Dies bedeutet, dass die in der EN 14363 (Tabelle M.2) angegebenen „Faktoren zur vereinfachten Korrektur der Gleislage“ für aktuelle Gleislagemessungen der SBB Infrastruktur nicht mehr anwendbar sind. Die von der Überwachung der SBB Infrastruktur (I-AT-UEW) aktuell herausgegebenen Daten zur Gleislage benötigen im Rahmen einer fahrtechnischen Beurteilung von Fahrzeugen also keine Korrektur mehr.

3.18. Simulationen

Allfällige theoretische Betrachtungen, beispielsweise Simulationen, basierend auf einem hinreichend validierten Simulationsmodell mit hinreichend grosser Modellierungstiefe, werden nur in begründeten Ausnahmefällen⁴⁷ nach Rücksprache mit dem BAV sowie dem Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur und nur mit zusätzlicher Sicherheitsmarge akzeptiert (Sicherheitsabstand von min. 10 % zum Grenzwert). Oftmals kann es jedoch während der Konstruktionsphase von Fahrzeugen hilfreich sein, eine Simulation zu erstellen um die rechnerische Einhaltung der Grenzwerte abzusichern.

⁴⁷ Ein begründeter Ausnahmefall kann beispielsweise die nachträgliche fahrtechnische Modifikation eines bereits im Prüfbereich 5 untersuchten Fahrzeuges sein, bei welchem man mittels einem hinreichend validierten Simulationsmodell plausibel und nachvollziehbar dokumentieren kann, dass die Modifikation keinen negativen Einfluss auf die fahrtechnischen Eigenschaften hat.

4. Alphabetische Übersicht für die Nachweisführung

Die nachfolgende alphabetische Übersicht (Stichwortverzeichnis) soll helfen, alle für die Nachweisführung relevanten Punkte in dieser Regelung wiederzufinden:

• Achslast (Radsatzlast):	Siehe Ziffer 3.1.
• Ausfallverhalten (aussergewöhnliche Fahrzeugzustände)	Siehe Ziffer 3.11.
• Beladungszustände:	Siehe Ziffer 3.15.
• Fahrtrichtung:	Siehe Ziffer 3.10.1.
• Fahrzeugkonfiguration:	Siehe Ziffer 3.10.2.
• Fahrzeugzustand:	Siehe Ziffer 3.14.
• Führungskraft:	Siehe Ziffer 3.1.
• Geschwindigkeit:	Siehe Ziffer 2.7.
• Gleisbeanspruchungskraft:	Siehe Ziffer 3.2.
• Gleislagekorrektur:	Siehe Ziffer 3.17.
• Gleisverschiebekraft:	Siehe Ziffer 3.4.
• Grenzwerte:	Siehe Ziffer 2.7. und 3.7.
• Kuppelzustand:	Siehe Ziffer 3.13.
• Mehrfachverwendung von Auswertungsabschnitten:	Siehe Ziffer 3.10.1.
• Messgrößen:	Siehe Ziffer 3.7., 3.8. und 3.9.
• Messradsätze:	Siehe Ziffer 3.10. und 3.14.
• Prüfbedingungen:	Siehe Ziffer 3.6.
• Pufferzustand:	Siehe Ziffer 3.13.
• Radaufstandskraft:	Siehe Ziffer 3.1.
• Radprofil:	Siehe Ziffer 3.16.
• Referenzstrecken:	Siehe Ziffer 2.3. und 2.4.
• Schienenzustand:	Siehe Ziffer 3.9. und 3.17.
• Sicherheit gegen Entgleisen:	Siehe Ziffer 3.5.1.
• Simulationen:	Siehe Ziffer 3.18.
• Spurkranzschmierung:	Siehe Ziffer 3.2.
• Traktion (angetriebene Fahrzeuge):	Siehe Ziffer 3.10.2.
• Trassierung und Oberbau:	Siehe Ziffer 2.5.
• Überhöhungsfehlbetrag:	Siehe Ziffer 2.6. und 3.7.
• Vereinfachter Nachweis:	Siehe Ziffer 2.4.

Tab. 3-8: Alphabetische Übersicht für die Nachweisführung (Stichwortverzeichnis)

5. Dokumentation

Die Resultate der Prüffahrten im Prüfbereich 5 sind in einem separaten technischen Prüfbericht oder in einem separaten Kapitel des technischen Prüfberichts gemäss EN 14363 festzuhalten. Der Nachweis zu den extra kleinen Radien $R < 250$ m auf dem Schienennetz der SBB Infrastruktur und anderen ISB ist ein Bestandteil der Unbedenklichkeitserklärung Interaktion Rad/Schiene, welche durch den Technischen Netzzugang der SBB Infrastruktur ausgestellt wird.

Weiter sind für die Erstellung der Unbedenklichkeitserklärung bezüglich Fahrtechnik ein technischer Prüfbericht gemäss EN 14363 unter Einbezug der im Schweizer Regelwerk geforderten besonderen Untersuchungen und gegebenenfalls eine abschliessende fahrtechnische Beurteilung (Gutachten) für die erzielten und im Prüfbericht dokumentierten normativen Prüfergebnisse erforderlich.

Ohne entsprechenden Nachweis zu den extra kleinen Radien $R < 250$ m auf dem Schienennetz der SBB Infrastruktur und anderen ISB können die Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m nicht befahren werden.

I-AT-FW

I-AT-FW-TNZ

sig. Stefan Sommer
Leiter FW

sig. Thomas Falk
Leiter TNZ

Anhang A: Strecken mit hoher Radiendichte $R < 250$ m

A.1 Übersichtskarte Strecken mit einer hohen Dichte von Gleisbögen mit extra kleinen Radien $R < 250$ m (ganzes Normalspurnetz)

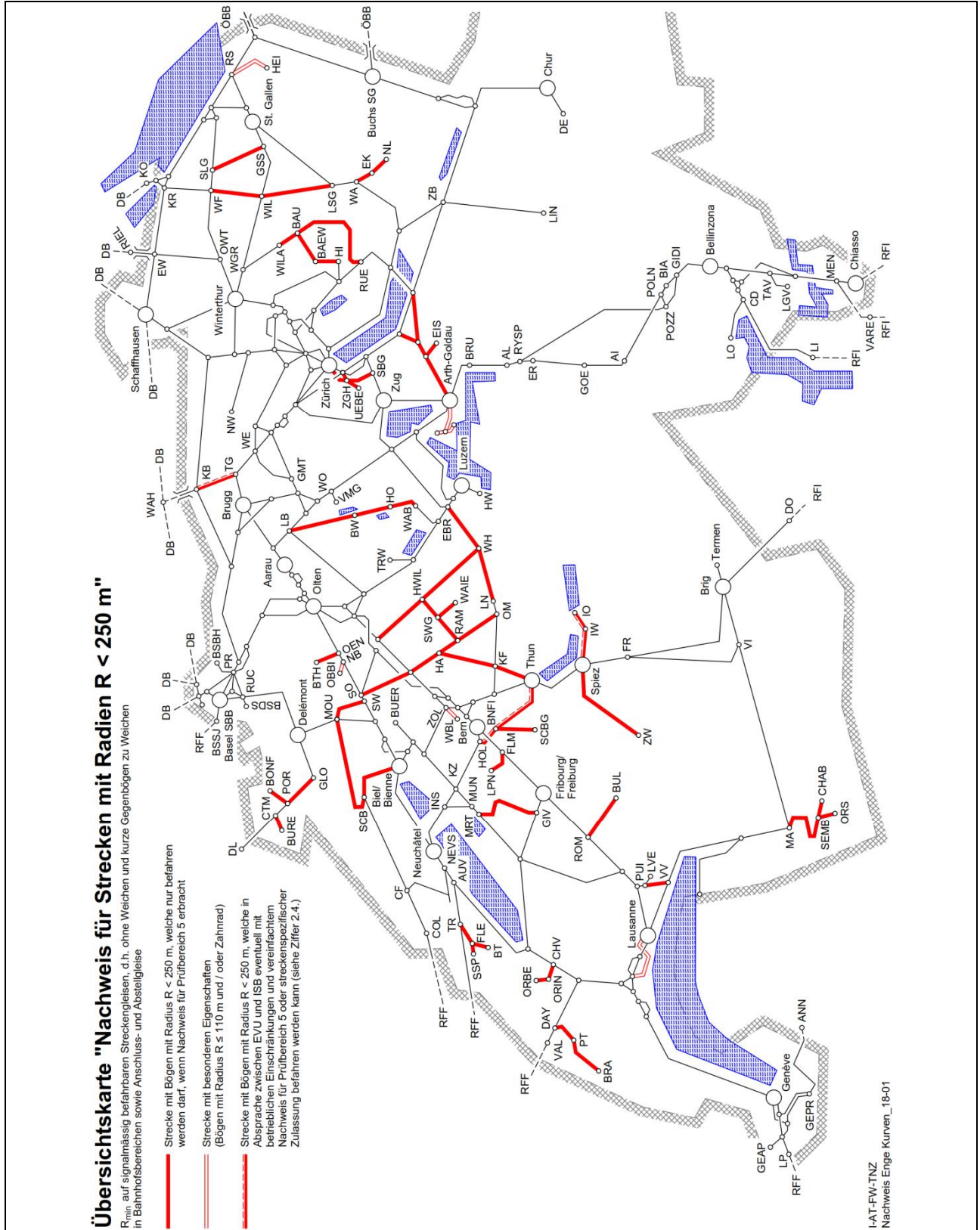


Abb. A-1: Übersichtskarte Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m (Quelle: SBB I-AT-FW-TNZ)

A.2 Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m (ganzes Normalspurnetz)

BAV-Streckennummer:	Von:	Nach:	Minimaler Bogenradius R_{min} . ³¹	ISB (Strecke):
102	Renens VD	Lausanne Flon	78 m	TL (spezielles LRP)
111	Vevey	Puidoux-Chexbres	243 m (180 m)	SBB (ohne AnG Zone Industrielle du Verney)
133.1	Martigny	Sembrancher	179 m	TMR
133.2	Sembrancher	Orsières	150 m	TMR
134	Sembrancher	Le Châble	150 m	TMR
201.1	Le Day	Le Pont	150 m	SBB
201.2	Le Pont	Le Brassus	150 m	TRAVYS
211	Chavornay	Orbe Industrie	130 m	TRAVYS
211	Orbe Industrie	Orbe	150 m	TRAVYS
224.1	Travers	Fleurier	150 m	transN
224.2	Fleurier	Buttes	150 m	transN
224.3	Fleurier	St-Sulpice	150 m	transN
225.1	Biel/Bienne	Sonceboz-Sombeval	242 m (200 m)	SBB
226.2	Moutier – Tavannes	Sonceboz-Sombeval	246 m (185 m)	SBB
238	Porrentruy	Bonfol	222 m	CJ
239	Courtemaîche	Bure	199 m	SBB / Gleis im Besitz der Armee
240.1	Glovelier	Porrentruy	231 m (222 m)	SBB
254	Romont	Bulle	237 m	TPF
255.2	Murten	Givisiez	173 m	TPF
291	Flamatt	Laupen	190 m (158 m)	SBB / STB
297.1	Bern Holligen (Abzweigung)	Bern Fischermätteli	185 m	BLS Netz AG
297.2	Bern Fischermätteli	Schwarzenburg	179 m (126 m)	BLS Netz AG
298	Bern Fischermätteli	Thun	215 m (120 m)	BLS Netz AG
301.2	Spiez	Interlaken Ost	210 m (137 m)	BLS Netz AG
320	Spiez	Zweisimmen	185 m	BLS Netz AG
411	Solothurn West – Weissensteintunnel	Moutier	208 m (111 m)	BLS Netz AG
412	Oensingen	Balsthal	230 m	OeBB
413	Niederbipp	Oberbipp	100 m	ASm (Dreischienen-AnG)
420	Zollikofen	Worblaufen	110 m	RBS (Dreischienen-AnG)
440	Burgdorf	Solothurn	205 m (136 m)	BLS Netz AG
441.1	Burgdorf	Hasle-Rüegsau	225 m (165 m)	BLS Netz AG
441.2	Hasle-Rüegsau	Ramsei	(246 m) (150 m)	BLS Netz AG

441.3	Ramsei	Obermatt (– Langnau)	206 m	BLS Netz AG
442.1	Thun	Konolfingen	228 m	BLS Netz AG
442.2	Konolfingen	Hasle-Rüegsau	225 m (156 m)	BLS Netz AG
444.1	Ramsei	Sumiswald-Grünen	195 m	BLS Netz AG
444.2	Sumiswald-Grünen	Huttwil	180 m	ETB
445.1	Langenthal	Huttwil	196 m (150 m)	BLS Netz AG
445.2	Huttwil	Wolhusen	230 m (210 m)	BLS Netz AG
451	Sumiswald-Grünen	Wasen im Emmental	150 m (130 m)	ETB
460.3	Langnau	Wolhusen	230 m (194 m)	SBB
460.4	Wolhusen	Fluhmühle (Abzweigung) (– Luzern)	241 m (199 m)	SBB
602	Arth-Goldau / Vitznau	Rigi	120 m	RB (Zahnrad)
651.1	(Emmenbrücke –) Waldibrücke	Hochdorf	157 m	SBB
651.2	Hochdorf	Beinwil am See	153 m	SBB
651.3	Beinwil am See	Lenzburg	160 m	SBB
670.2	Pfäffikon SZ	Samstagern	216 m	SOB
670.3	Samstagern	Biberbrugg	150 m	SOB
670.4	Biberbrugg	Arth-Goldau	164 m (150 m)	SOB
672.1	Wädenswil	Samstagern	228 m	SOB
672.2	Biberbrugg	Einsiedeln	144 m	SOB
701.1	Turgi	Koblentz	210 m (178 m)	SBB
712.1	Zürich HB (Gleis 21 – 22)	Zürich Selnau	150 m	SZU
712.2	Zürich Selnau	Zürich Giesshübel	150 m	SZU
712.3	Zürich Giesshübel – Sihlwald	Sihlbrugg	150 m	SZU
713	Zürich Giesshübel	Uetliberg	121 m	SZU
714	Zürich Wiedikon	Zürich Giesshübel	115 m	SBB / SZU
754.1	Wila	Bauma	246 m	SBB
754.2	Bauma	Rüti ZH	221 m (196 m)	SBB
757.1	Bauma	Bäretswil (inkl.)	179 m	DVZO
757.2	Bäretswil (exkl.)	Hinwil	173 m	SBB
830.3	Weinfelden	Wil	236 m	SBB
852	Gossau SG	Sulgen	185 m	SBB
857	Rorschach	Heiden	150 m	AB (Zahnrad)
870.5	Wattwil	Nesslau-Neu St. Johann	170 m	SOB
872	Lichtensteig	Wil	237 m	SBB

 Tab. A-2: Übersicht Strecken mit einer hohen Radiendichte $R < 250$ m

Der minimale Bogenradius R_{\min} bezieht sich auf signalmässig befahrbare Streckengleise⁴⁸, d.h. im Grundsatz ohne Weichen und kurze Gegenbögen zu Weichen in Bahnhofsbereichen sowie ohne Anschluss- und Abstellgleise.

⁴⁸ Werte in Klammern müssen nicht zwingend befahren werden (z.B. mehrgleisiger Streckenabschnitt).