

## DIN EN 15595



ICS 45.040

**Entwurf**

Einsprüche bis 2015-12-23  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN 15595:2011-07 und  
DIN EN 15595  
Berichtigung 1:2013-05

**Bahnanwendungen –  
Bremse –  
Gleitschutz;  
Deutsche und Englische Fassung prEN 15595:2015**

Railway applications –  
Braking –  
Wheel slide protection;  
German and English version prEN 15595:2015

Applications ferroviaires –  
Freinage –  
Anti enrayeur;  
Version allemande et anglaise prEN 15595:2015

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-10-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter [www.entwuerfe.din.de](http://www.entwuerfe.din.de) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [fsf@din.de](mailto:fsf@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/stellungnahme](http://www.din.de/stellungnahme) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) (Hausanschrift: Panoramaweg 1, 34131 Kassel).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 227 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (prEN 15595:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-03 AA „Bremsen“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer englischen Referenzfassung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 15595 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm- Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN 15595:2011-07 und DIN EN 15595 Berichtigung 1:2013-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung der normativen Verweisungen;
- b) Abschnitt 3 wurde überarbeitet und in den Abschnitt 3 „Begriffe“ und den Abschnitt 4 „Symbole und Abkürzungen“ aufgeteilt;
- c) Abschnitt 4 wurde überarbeitet und in Abschnitt 5 umbenannt;
- d) Abschnitt 5 wurde überarbeitet und in den neuen Abschnitt 6 „Spektrum der Prüfungen“ integriert;
- e) Abschnitt 6 wurde überarbeitet und in den Abschnitt 7 „Prüfverfahren“ und den Abschnitt 8 „Auswertung der Prüfung“ aufgeteilt;
- f) Abschnitt 7 wurde überarbeitet und in Abschnitt 9 umbenannt;
- g) Abschnitte 8 und 9 wurden überarbeitet und in den neuen Abschnitt 10 „Routineprüfung und Inspektion“ integriert;
- h) Abschnitt 10 wurde überarbeitet und in Abschnitt 11 umbenannt;
- i) der neue normative Anhang A „Tabellen, die die Anforderungen an den Gleitschutz/die Rollüberwachung mit den Prüfungen und Prüfkriterien verknüpfen“ wurde eingefügt;
- j) Anhang A wurde überarbeitet und in Anhang B umbenannt;
- k) Anhang B wurde überarbeitet und in Anhang C umbenannt;
- l) Anhang C wurde überarbeitet und in Anhang D umbenannt;
- m) Anhang D wurde überarbeitet und in Anhang E umbenannt;
- n) der neue informative Anhang F „Betriebsüberwachung“ wurde eingefügt;
- o) der neue informative Anhang G „Berechnungen des Anhaltewegs“ wurde eingefügt;
- p) der neue informative Anhang H „Beispiele für die Verwendung der Anhaltewegformel (G.1) und Prüfverfahren – Beispiele für die Berechnung des Anhaltewegs“ wurde eingefügt;
- q) der neue informative Anhang I „Bremskonfigurationen“ wurde eingefügt.

## **Bahnanwendungen — Bremse — Gleitschutz**

*Applications ferroviaires — Freinage — Anti enrayeur*

*Railway applications — Braking — Wheel slide protection*

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm  
Dokument-Untertyp:  
Dokument-Stage: CEN-Umfrage  
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.7f

## Inhalt

|                                                               | Seite |
|---------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                    | 6     |
| Einleitung .....                                              | 7     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                     | 8     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                | 8     |
| 3 Begriffe .....                                              | 8     |
| 4 Symbole und Abkürzungen .....                               | 12    |
| 5 Anforderungen .....                                         | 12    |
| 5.1 Anforderungen an die Funktionen .....                     | 12    |
| 5.1.1 Ziele des Gleitschutzes .....                           | 12    |
| 5.1.2 Allgemeine Funktionsanforderungen .....                 | 13    |
| 5.1.3 Steuerung der Bremskraft .....                          | 13    |
| 5.1.4 Sicherheitsschaltung (Sicherheitszeit) .....            | 14    |
| 5.1.5 Luftversorgung .....                                    | 14    |
| 5.1.6 Raddurchmesserunterschiede .....                        | 14    |
| 5.1.7 Rollüberwachung .....                                   | 14    |
| 5.1.8 Diagnoseprogramme .....                                 | 15    |
| 5.2 Konstruktionsanforderungen .....                          | 17    |
| 5.2.1 Umgebungsspezifikation .....                            | 17    |
| 5.2.2 Brandverhalten .....                                    | 17    |
| 5.2.3 RAMS .....                                              | 17    |
| 5.2.4 Mechanische Konstruktion .....                          | 18    |
| 5.2.5 Stromüberwachung .....                                  | 18    |
| 5.2.6 Elektronische Steuereinheit E/A .....                   | 18    |
| 5.2.7 Sensor — Erfassung der Radsatzdrehzahl .....            | 19    |
| 5.2.8 Betätigungseinrichtung — Anpassung der Bremskraft ..... | 19    |
| 5.3 Installationsempfehlungen .....                           | 20    |
| 5.3.1 Allgemeine Installationsanforderungen .....             | 20    |
| 5.3.2 Luftsystem .....                                        | 20    |
| 5.3.3 Stromversorgung und elektrisches System .....           | 20    |
| 5.4 Leistungsanforderungen an den Gleitschutz .....           | 21    |
| 5.4.1 Leistung .....                                          | 21    |
| 5.4.2 Anhalteweg und Verbesserung des Kraftschlusses .....    | 22    |
| 5.4.3 Radsatz-Gleitschutz .....                               | 24    |
| 5.4.4 Schäden an den Schienen .....                           | 25    |
| 5.4.5 Höchstwert der Verzögerung .....                        | 25    |
| 5.4.6 Druckluftverbrauch .....                                | 25    |
| 5.4.7 Geschwindigkeitsbasierte Ausgangssignale des GS .....   | 25    |
| 6 Spektrum der Prüfungen .....                                | 26    |
| 6.1 Allgemeines .....                                         | 26    |
| 6.1.1 Prüfklassifikationen .....                              | 26    |
| 6.1.2 Gutachter .....                                         | 26    |
| 6.2 Typprüfung .....                                          | 27    |
| 6.2.1 Allgemeines .....                                       | 27    |
| 6.2.2 Spektrum der Funktionen für die Typprüfung .....        | 27    |
| 6.2.3 Prüfungen .....                                         | 27    |

|                                                                                                                                                 |                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.4                                                                                                                                           | Typprüfungen von Einzelkomponenten .....                                              | 36 |
| 6.3                                                                                                                                             | Fahrzeugintegrationsprüfung .....                                                     | 37 |
| 6.3.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 37 |
| 6.3.2                                                                                                                                           | Prüfprogramme .....                                                                   | 38 |
| 6.3.3                                                                                                                                           | Konformität früherer Fahrzeugtests.....                                               | 38 |
| 6.4                                                                                                                                             | Wiederholungsprüfung.....                                                             | 38 |
| 6.4.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 38 |
| 6.4.2                                                                                                                                           | Hardware.....                                                                         | 39 |
| 6.4.3                                                                                                                                           | Software .....                                                                        | 40 |
| 7                                                                                                                                               | Prüfverfahren .....                                                                   | 40 |
| 7.1                                                                                                                                             | Allgemeines .....                                                                     | 40 |
| 7.2                                                                                                                                             | Messung .....                                                                         | 40 |
| 7.3                                                                                                                                             | Prüfungen am Fahrzeug.....                                                            | 42 |
| 7.3.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 42 |
| 7.3.2                                                                                                                                           | Erzeugung eines verminderten Kraftschlusses.....                                      | 42 |
| 7.3.3                                                                                                                                           | Umweltbedingungen .....                                                               | 43 |
| 7.4                                                                                                                                             | Prüfung in Simulationsumgebung.....                                                   | 44 |
| 7.4.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 44 |
| 7.4.2                                                                                                                                           | Prüfungen am Simulationsprüfstand.....                                                | 44 |
| 7.4.3                                                                                                                                           | Kundenspezifische Prüfungen am Simulator.....                                         | 45 |
| 7.4.4                                                                                                                                           | Optionale Prüfungen .....                                                             | 47 |
| 7.5                                                                                                                                             | Prüfen der Rollüberwachung.....                                                       | 47 |
| 8                                                                                                                                               | Auswertung der Prüfung .....                                                          | 47 |
| 8.1                                                                                                                                             | Prüfung an Fahrzeugen .....                                                           | 47 |
| 8.1.1                                                                                                                                           | Berichtigung der Anhaltewege.....                                                     | 47 |
| 8.1.2                                                                                                                                           | Anzahl und Gültigkeit von Prüfungen auf trockener Schiene .....                       | 48 |
| 8.1.3                                                                                                                                           | Auswertung der Gleitschutzprüfung.....                                                | 49 |
| 8.2                                                                                                                                             | Prüfungen am Simulationsprüfstand.....                                                | 58 |
| 8.2.1                                                                                                                                           | Allgemeines (Programme und Kriterien von Prüfungen an Simulationseinrichtungen) ..... | 58 |
| 8.2.2                                                                                                                                           | Messungen und Abnahmekriterien .....                                                  | 59 |
| 9                                                                                                                                               | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen .....                         | 60 |
| 9.1                                                                                                                                             | Prüfspezifikation .....                                                               | 60 |
| 9.2                                                                                                                                             | Prüfbericht.....                                                                      | 61 |
| 10                                                                                                                                              | Routineprüfung und Inspektion .....                                                   | 62 |
| 11                                                                                                                                              | Kennzeichnung, Identifikation und Markierung.....                                     | 62 |
| Anhang A (normativ) Tabellen, die die Anforderungen an den Gleitschutz/die Rollüberwachung mit den Prüfungen und Prüfkriterien verknüpfen ..... |                                                                                       | 63 |
| Anhang B (normativ) Mindestanforderungen an einen Gleitschutzsimulator.....                                                                     |                                                                                       | 85 |
| B.1                                                                                                                                             | Allgemeines .....                                                                     | 85 |
| B.1.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 85 |
| B.1.2                                                                                                                                           | Verwendung des Simulatormodells .....                                                 | 85 |
| B.2                                                                                                                                             | Kraftschlussmodell.....                                                               | 87 |
| B.2.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 87 |
| B.2.2                                                                                                                                           | Konstanter Kraftschluss .....                                                         | 88 |
| B.2.3                                                                                                                                           | Wechselnder Kraftschluss.....                                                         | 88 |
| B.2.4                                                                                                                                           | Kraftschlusskonditionierungsfaktoren .....                                            | 88 |
| B.3                                                                                                                                             | Prüf- und Leistungsmodell.....                                                        | 89 |
| B.3.1                                                                                                                                           | Allgemeines .....                                                                     | 89 |
| B.3.2                                                                                                                                           | Simulatorleistung.....                                                                | 89 |
| B.3.3                                                                                                                                           | Prüfanforderungen.....                                                                | 89 |
| B.3.4                                                                                                                                           | Bremsleistung.....                                                                    | 89 |
| B.3.5                                                                                                                                           | Radschäden.....                                                                       | 90 |

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                    |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| B.3.6                                                                                                                                               | Luftsystem.....                                                                                                    | 90  |
| B.3.7                                                                                                                                               | Grenzwerte für die Abnahme.....                                                                                    | 90  |
| B.3.8                                                                                                                                               | Fehlerbedingungen.....                                                                                             | 90  |
| B.3.9                                                                                                                                               | Ausgangssignale des Gleitschutzsystems .....                                                                       | 91  |
| B.4                                                                                                                                                 | Fahrzeugverhaltensmodell.....                                                                                      | 91  |
| B.4.1                                                                                                                                               | Allgemeines .....                                                                                                  | 91  |
| B.4.2                                                                                                                                               | Reibmaterial.....                                                                                                  | 91  |
| B.4.3                                                                                                                                               | Anforderung der pneumatischen Betätigung/Bremsanforderung.....                                                     | 91  |
| B.4.4                                                                                                                                               | Wagenkasten-/Drehgestell-/Rad-Dynamik.....                                                                         | 91  |
| B.5                                                                                                                                                 | Fahrzeugfunktionsmodell .....                                                                                      | 92  |
| B.5.1                                                                                                                                               | Allgemeines .....                                                                                                  | 92  |
| B.5.2                                                                                                                                               | Funktionale Eingangssignale .....                                                                                  | 92  |
| B.6                                                                                                                                                 | Validierung des Simulators.....                                                                                    | 92  |
| B.6.1                                                                                                                                               | Allgemeines .....                                                                                                  | 92  |
| B.6.2                                                                                                                                               | Validierung der Prüfstände .....                                                                                   | 92  |
| B.6.3                                                                                                                                               | Verfahren.....                                                                                                     | 94  |
| B.6.4                                                                                                                                               | Management.....                                                                                                    | 94  |
| Anhang C (informativ) Beispiel für kundenspezifische Simulatorprüfungen .....                                                                       |                                                                                                                    | 95  |
| C.1                                                                                                                                                 | Prüfungen für natürlich entstehenden wechselnden Kraftschluss .....                                                | 95  |
| C.1.1                                                                                                                                               | Allgemeines .....                                                                                                  | 95  |
| C.1.2                                                                                                                                               | Ablauf.....                                                                                                        | 95  |
| C.1.3                                                                                                                                               | Messungen und Abnahmekriterien .....                                                                               | 96  |
| C.2                                                                                                                                                 | Prüfungen bei anhaltend geringem Kraftschluss — SLAC-Prüfungen (SLAC: Sustained low adhesion track condition)..... | 98  |
| C.2.1                                                                                                                                               | Ablauf.....                                                                                                        | 98  |
| C.2.2                                                                                                                                               | Abnahmekriterien für die Messung.....                                                                              | 99  |
| C.2.3                                                                                                                                               | Referenzgeschwindigkeit der Gleitschutzanlage ( $v_{ref}$ ) .....                                                  | 99  |
| C.3                                                                                                                                                 | Betriebsgeschwindigkeiten oberhalb 160 km/h.....                                                                   | 99  |
| C.3.1                                                                                                                                               | Kriterien.....                                                                                                     | 99  |
| C.3.2                                                                                                                                               | Ablauf.....                                                                                                        | 100 |
| C.3.3                                                                                                                                               | Messungen und Abnahmekriterien .....                                                                               | 100 |
| Anhang D (informativ) Optionale Prüfungen.....                                                                                                      |                                                                                                                    | 101 |
| D.1                                                                                                                                                 | Prüfungen der Besandungsanlage — Kriterien.....                                                                    | 101 |
| D.2                                                                                                                                                 | Prüfungen dynamischer Bremssysteme — Kriterien .....                                                               | 102 |
| D.3                                                                                                                                                 | Prüfungen der Ausgangssignale von Peripheriegeräten — Kriterien .....                                              | 102 |
| Anhang E (informativ) Phasen einer Bremsprüfung.....                                                                                                |                                                                                                                    | 104 |
| Anhang F (informativ) Betriebsüberwachung.....                                                                                                      |                                                                                                                    | 106 |
| Anhang G (informativ) Berechnungen des Anhaltewegs .....                                                                                            |                                                                                                                    | 107 |
| G.1                                                                                                                                                 | Verbesserung des Kraftschlusses .....                                                                              | 107 |
| G.1.1                                                                                                                                               | Berechnung des Anhaltewegs .....                                                                                   | 107 |
| G.1.2                                                                                                                                               | Trockene Schiene .....                                                                                             | 108 |
| G.1.3                                                                                                                                               | Geringer Kraftschluss .....                                                                                        | 108 |
| G.2                                                                                                                                                 | Graphische Darstellung der Verlängerung des Anhaltewegs in Abhängigkeit von der Zuglänge.....                      | 109 |
| Anhang H (informativ) Beispiele für die Verwendung der Anhaltewegformel (G.1), und Prüfverfahren—Beispiele für die Berechnung des Anhaltewegs ..... |                                                                                                                    | 110 |
| H.1                                                                                                                                                 | Beispiel 1 .....                                                                                                   | 110 |
| H.2                                                                                                                                                 | Beispiel 2 .....                                                                                                   | 111 |
| H.3                                                                                                                                                 | Beispiel 3 .....                                                                                                   | 112 |
| H.4                                                                                                                                                 | Beispiel 4 .....                                                                                                   | 114 |
| Anhang I (informativ) Bremskonfigurationen .....                                                                                                    |                                                                                                                    | 116 |
| I.1                                                                                                                                                 | Steuerung pro Drehgestell .....                                                                                    | 116 |

|                               |                                                                                                                                 |            |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>I.2</b>                    | <b>Steuerung pro Wagen .....</b>                                                                                                | <b>116</b> |
| <b>Anhang ZA (informativ)</b> | <b>Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den<br/>grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.....</b> | <b>117</b> |
| <b>Literaturhinweise.....</b> |                                                                                                                                 | <b>118</b> |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 15595:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 15595:2009+A1:2011 ersetzen.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

Zum Zusammenhang mit der EU-Richtlinie 2008/57/EG siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

## **Einleitung**

Ein Gleitschutzsystem ist darauf ausgelegt, unter allen Betriebsbedingungen durch kontrollierte Reduzierung und Wiederaufbau der Bremskraft den verfügbaren Kraftschluss bestmöglich auszunutzen bzw. den Kraftschluss zu erhöhen, um Radsatzblockierungen und unkontrolliertes Gleiten des Rades infolge geringen Kraftschlusses zu verhindern. Dadurch wird der Anhalteweg optimiert und das Entstehen von Schäden an den Radsätzen minimiert.

Das Rollüberwachungssystem ist darauf ausgelegt, blockierende Räder zu detektieren und sie in diesem Fall sofort anzeigen.

Züge, die mit Gleitschutzsystemen ausgerüstet sind, können Einzelfahrzeuge, lokbespannte Züge, Hochgeschwindigkeitszüge, Triebzüge, Nahverkehrszüge, Stadtbahnfahrzeuge, Straßenbahnen jeder Spurweite usw. sein. Diese Europäische Norm gilt nicht für Fahrzeuge mit Gummibereifung oder mit hydraulischen Bremsen ausgerüstete Fahrzeuge.

Diese Züge sind mit Reibungsbremsen ausgerüstet und dürfen auch mit zusätzlichen Bremssystemen (z. B. dynamischen Bremsen), kraftschlussunabhängigen Bremsen sowie Systemen zur Verbesserung des Kraftschlusses (z. B. Besandungsanlagen) ausgerüstet sein.

Sind Fahrzeuge mit einem Gleitschutz entsprechend dieser Norm ausgerüstet und geprüft, wird dies als hinreichende Maßnahme angesehen, niedrigen Kraftschluss zu bewältigen.

Jeder Hersteller ist dafür verantwortlich alle notwendigen Schritte zu veranlassen, um eine Entwicklung und Fertigung in Übereinstimmung mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik sicherzustellen.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Kriterien für die Systemzulassung und die Typprüfung eines Gleitschutzsystems fest. Sie legt auch die Kriterien für die Implementierung eines Gleitschutzes bei spezifischen Fahrzeuganwendungen und spezifischen Betriebsbedingungen sowie die Anforderungen an eine Rollüberwachung fest. Dies beinhaltet Ausführung, Erprobung und den Qualitätsnachweis der Gleitschutz- und Rollüberwachungssysteme und ihrer Komponenten.

Es ist nicht beabsichtigt, dass diese Europäische Norm dafür genutzt wird, um die Bremsleistung eines mit Gleitschutz ausgerüsteten Zuges unter allen Umweltbedingungen festzulegen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 14478, *Bahnanwendungen — Bremsen — Oberbegriffe*

EN 15179, *Bahnanwendungen — Bremsen — Anforderungen für die Bremsausrüstung von Reisezugwagen*

EN 15663, *Bahnanwendungen — Definition der Fahrzeugreferenzmassen*

EN 45545, *(alle Teile) Bahnanwendungen — Brandschutz in Schienenfahrzeugen*

EN 50121-3-2, *Bahnanwendungen — Elektromagnetische Verträglichkeit — Part 3-2: Bahnfahrzeuge — Geräte*

EN 50125-1, *Bahnanwendungen — Umweltbedingungen für Betriebsmittel — Teil 1: Betriebsmittel auf Bahnfahrzeugen*

EN 50126-1, *Bahnanwendungen — Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit (RAMS) — Teil 1: Grundlegende Anforderungen und genereller Prozess*

EN 50155, *Bahnanwendungen — Elektronische Einrichtungen auf Bahnfahrzeugen*

EN 60529, *Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989)*

EN 61373, *Bahnanwendungen — Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen — Prüfungen für Schwingen und Schocken (IEC 61373)*

EN ISO 228-2, *Rohrgewinde für nicht im Gewinde dichtende Verbindungen — Teil 2: Prüfung mit Grenzlehren (ISO 228-2)*

EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025)*

ISO 8573-1, *Druckluft — Teil 1: Verunreinigungen und Reinheitsklassen*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14478 und die folgenden Begriffe.

### 3.1 Kraftschlussprofil

festgelegter Datensatz, der den Kraftschlussverlauf eines bestimmten Gleisabschnittes charakterisiert

### **3.2**

#### **relativer Luftverbrauch**

Verhältnis des Gesamtvolumens der verbrauchten Druckluft während einer Haltebremsung mit Gleitschutzaktivität, im Vergleich zum Luftverbrauch einer Haltebremsung ohne Gleitschutzaktivität

### **3.3**

#### **Hilfsluftbehälter**

geschützte und festgeschaltete Bezugsquelle der Druckenergie für die lokale Krafterzeugung

### **3.4**

#### **Zusatzbehälter**

Druckluftbehälter, der zur Bestimmung des relativen Luftverbrauchs während einer Gleitschutzprüfung verwendet wird

### **3.5**

#### **voll beladen**

Fahrzeugbeladung unter außergewöhnlichen Betriebsbedingungen, die über das normale Maß einer Vollbeladung hinausgeht

Anmerkung 1 zum Begriff: Hierbei handelt es sich um die „Auslegungsasse bei außergewöhnlicher Zuladung“ in EN 15663.

### **3.6**

#### **trockene Schiene**

Bedingungen, unter denen 100 % der Bremskraft des Fahrzeugs eingesetzt werden kann, ohne dass es zu einen Schlupf des Radsatzes von mehr als 2 % kommt

### **3.7**

#### **Anhalteweg auf trockener Schiene**

tatsächlich gemessener Anhalteweg bei trockener Schiene

### **3.8**

#### **geringer Kraftschluss**

Bedingungen, unter denen der Rad/Schiene-Kraftschluss im Bereich von 0,08 bis 0,05 liegt

### **3.9**

#### **sehr geringer Kraftschluss**

Bedingungen, unter denen der Rad/Schiene-Kraftschluss im Bereich von 0,05 bis 0,02 liegt

### **3.10**

#### **extrem geringer Kraftschluss**

Bedingungen, unter denen der Rad/Schiene-Kraftschluss unter 0,02 liegt

### **3.11**

#### **wahre Zuggeschwindigkeit**

tatsächliche Ist-Geschwindigkeit des Zuges über Grund

### **3.12**

#### **Radblockierung**

Extremfall des Gleitens eines Radsatzes, bei dem der Radsatz während des Bremsvorganges aufhört zu rollen, während sich der Zug weiterhin in Bewegung befindet

### **3.13**

#### **Gleiten des Rades, auch Radschlupf, Schlupf**

Zustand, bei der die Umfangsgeschwindigkeit des Radsatzes geringer ist, als die wahre Zuggeschwindigkeit

### 3.14

#### **Umfangsgeschwindigkeit**

Produkt aus der Drehzahl des Rades mit seinem Radius

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Fahrzeuge mit voneinander unabhängigen Rädern gelten alle für Radsätze beschriebenen Anforderungen für die Einzelräder.

### 3.15

#### **Referenzgeschwindigkeit**

Signal, das vom Gleitschutz oder der Rollüberwachung erzeugt und üblicherweise vom Gleitschutz oder der Rollüberwachung verwendet wird, um einen Näherungswert an die wahre Zuggeschwindigkeit zu bestimmen

### 3.16

#### **nominelle Bremsausgangsgeschwindigkeit**

festgelegte Geschwindigkeit zu Beginn des Bremsvorgangs bei Bremsprüfungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die wahre Zuggeschwindigkeit kann sich geringfügig unterscheiden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kann als Zielgeschwindigkeit bekannt sein.

### 3.17

#### **Abhängeversuch**

Bremsprüfung, bei der das zu prüfende Fahrzeug vom Ende des Prüfzuges abgekuppelt und separat bis zum Stillstand gebremst wird

### 3.18

#### **Bremsprüfung bis zum Stillstand**

eine Bremsprüfung, die bei einer Ausgangsgeschwindigkeit beginnt und mit dem Stillstand endet, ausgeführt entweder mit einem Einzelfahrzeug (Lokomotive, Reisezugwagen) oder einem Zugverband als zu prüfender Einheit

### 3.19

#### **Absolut-Schlupf**

Differenz zwischen der wahren Zuggeschwindigkeit und der Umfangsgeschwindigkeit [des Rades]

### 3.20

#### **Relativ-Schlupf**

Absolut-Schlupf dividiert durch die wahre Zuggeschwindigkeit

### 3.21

#### **unerwünschte Reduzierung der Bremskraft**

Verminderung der Bremskraft, die nicht durch das Verhalten der Radsätze begründet ist

### 3.22

#### **Blending-Kennlinie der Bremse**

Kennlinie, die die Leistungsmerkmale des Blending von dynamischer und pneumatischer Bremse als Funktion der Geschwindigkeit beschreibt

### 3.23

#### **Gleitschutzregler**

#### **Gleitschutzsteuergerät**

Steuergerät mit elektronischer Hard- und Software, das die Signale von den Geschwindigkeitssensoren verarbeitet und geeignete Ausgangssignale zu den die Bremskraft regelnden Betätigungseinrichtungen, z. B. Gleitschutzventilen zur Bremsdruckregelung, bereitstellt

### **3.24**

#### **Gleitschutzventile**

durch den Gleitschutzregler angesteuerte Einrichtung, die den Bremszylinderdruck regelt

### **3.25**

#### **Geschwindigkeitssensor**

Gerät, das ein die Drehzahl eines einzelnen Rades oder Radsatzes anzeigendes Signal an den Gleitschutzregler ausgibt

### **3.26**

#### **Service-Schnittstelle**

Zugangspunkt für Diagnosedaten und die Instandhaltungsprüfung

### **3.27**

#### **Validierung**

Analyseprozess mit anschließender auf Nachweisen basierender Beurteilung, um festzustellen, ob eine Betrachtungseinheit (z. B. ein Prozess, eine Dokumentation, Software oder Anwendung) den Bedürfnissen der Nutzer entspricht, insbesondere in Bezug auf Sicherheit und Qualität; dabei liegt der Schwerpunkt bei der Eignung der jeweiligen Funktion für den Zweck in der beabsichtigten Umgebung

### **3.28**

#### **Verifizierung**

Überprüfungsprozess mit anschließender auf Nachweisen basierender Beurteilung; geprüft wird, ob vorliegende Betrachtungseinheiten (z. B. ein Prozess, eine Dokumentation, Software oder Anwendung), die sich in einer bestimmten Entwicklungsphase befinden, die Anforderungen dieser Phase in Bezug auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Übereinstimmung erfüllen

Anmerkung 1 zum Begriff: Verifizierung basiert hauptsächlich auf Prüfungen der Unterlagen (Entwurf, Ausführung, Prüfunterlagen usw.)

### **3.29**

#### **vorgesehene Verzögerung**

Höchstwert der Verzögerung des Bremssystems des Fahrzeugs, die in üblicher Weise auf einem ebenen Streckenabschnitt erfolgt Ist durch Berechnung definiert

### **3.30**

#### **Rollüberwachungsfunktion**

Funktion, die das Rollen der Radsätze eines Fahrzeugs vergleicht

### **3.31**

#### **Gleitschutzprüfung**

Prüfung, die bei vermindertem Kraftschluss erfolgt

### **3.32**

#### **Prüfung auf trockener Schiene**

Prüfung, die unter solchen Kraftschlussbedingungen erfolgt, die die Höchstbremskraft unterstützen

### **3.33**

#### **Schleppversuch**

Prüfung, bei der das zu prüfende Fahrzeug bei konstanter Bremsung durch ein Hilfs-Triebfahrzeug auf konstanter Geschwindigkeit gehalten wird

### **3.34**

#### **Bremsprüfung**

Prüfung, bei der die Bremsen angelegt werden, um eine Verzögerung zu erreichen

## 4 Symbole und Abkürzungen

Für die Zwecke dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen:

|                     |                                                                                                                                                          |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $g$                 | Beschleunigung aufgrund des Eigengewichts                                                                                                                |
| $V_{\text{nom}}$    | Nenngeschwindigkeit des Zuges, in km/h                                                                                                                   |
| $v_{0, \text{nom}}$ | nominale Bremsausgangsgeschwindigkeit, in km/h                                                                                                           |
| $v_{\text{ref}}$    | Gleitschutz-Referenzgeschwindigkeit des Fahrzeugs, in km/h                                                                                               |
| $v_t$               | wahre Zuggeschwindigkeit, in km/h                                                                                                                        |
| $\mu$               | Kraftschlusswert                                                                                                                                         |
| $\sigma$            | Trägheitsmoment der rotierenden Massen                                                                                                                   |
| $\tau$              | Anfangshaftwert                                                                                                                                          |
| AR                  | Hilfsluftbehälter (auxiliary reservoir)                                                                                                                  |
| HL                  | Hauptluftleitung                                                                                                                                         |
| BSR                 | Abkürzung für Brake Supply Reservoir (en: BSR) – Vorratsluftbehälter, für ein pneumatisches Bremssystem mit Steuerventil, auch Hilfsluftbehälter genannt |
| SB                  | Schnellbremsung                                                                                                                                          |
| ER                  | Befürchteter Vorfall – angewendet in der Sicherheitsanalyse (événement redouté)                                                                          |
| VB                  | Vollbremsung                                                                                                                                             |
| MMS                 | Mensch-Maschine-Schnittstelle, auch Bedienoberfläche                                                                                                     |
| Mg                  | Magnetschienenbremse                                                                                                                                     |
| Nl                  | Normal-Liter                                                                                                                                             |
| RAMS                | Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (en: reliability, availability, maintainability and safety)                            |
| FIP                 | Fahrzeugintegrationsprüfung                                                                                                                              |
| RÜ                  | Rollüberwachung                                                                                                                                          |
| GS                  | Gleitschutz                                                                                                                                              |

## 5 Anforderungen

### 5.1 Anforderungen an die Funktionen

#### 5.1.1 Ziele des Gleitschutzes

Die Ausrüstung von Zügen mit Gleitschutzsystemen verfolgt die Erfüllung der folgenden Zielsetzung:

- Minimierung von Anhaltewegverlängerungen im Vergleich zum Anhalten auf sauberen, trockenen Schienen (d. h. bei gutem Kraftschluss);
- minimale Schäden an den Radsätzen infolge von Gleiten oder Blockieren der Räder;

- minimale Schäden an den Schienen;
- bei pneumatischen Bremssystemen eine minimale Erhöhung des Luftverbrauchs im Vergleich zu einer Bremsung auf trockener Schiene ohne Gleitschutzaktivität.

Die einzelne Gewichtung dieser Ziele kann je nach Anwendungsklassen oder Art einer einzelnen Anwendung variieren.

### 5.1.2 Allgemeine Funktionsanforderungen

Die Umfangsgeschwindigkeit der Radsätze wird auf der Grundlage der von den Sensoren bereitgestellten Daten berechnet und von Reglern oder automatischen Steuerungssystemen (Gleitschutzregler) überwacht.

Der Gleitschutzregler kann zusätzliche Daten (z. B. Signale von den Drucksensoren) zum Zugstatus für die Gleitschutzsteuerung nutzen.

Der Gleitschutzregler sendet Befehle an die Gleitschutzbetätigungseinrichtungen (z. B. Gleitschutzventile), um die Bremskraft teilweise oder vollständig zu reduzieren, konstant zu halten oder wiederherzustellen.

Der Gleitschutz darf nicht in der Lage sein, unterhalb einer Geschwindigkeitsschwelle die Bremskraft zu reduzieren, Diese Schwelle darf nicht über 5 km/h und nicht unter 0,5 km/h liegen. Sollte die Bremskraft schon reduziert sein, wenn die Zuggeschwindigkeit unter diese Schwelle fällt, muss das Gleitschutzsystem die Bremskraft auf den angeforderten Wert wiederherstellen.

Beim Anfahren des Zugs muss der Gleitschutz betriebsbereit sein, bevor die Geschwindigkeit 6 km/h erreicht. Für Güterzuganwendungen, wo bei niedriger Geschwindigkeit keine Stromversorgung erfolgt, darf diese Schwelle auf bis zu 15 km/h erhöht werden.

Der Gleitschutz darf nicht in der Lage sein, die Bremskraft auf einen Wert zu erhöhen, der oberhalb dem vom Bremssystem angeforderten liegt.

Die Gleitschutzanlage darf die angeforderte Bremskraft bei Fahrzeugstillstand nicht ändern, ausgenommen bei einem Gleitschutzprüflauf.

Wenn die genauen Raddurchmesser bekannt sind, muss der Gleitschutz bei der Geschwindigkeitsberechnung Differenzen der Raddurchmesser im zulässigen Bereich von neuen bis hin zu abgenutzten Rädern ausgleichen.

Alle Geschwindigkeitsschwellen müssen sich auf einen mittleren Nennwert des Raddurchmessers beziehen, wenn der genaue Raddurchmesser nicht bekannt ist.

### 5.1.3 Steuerung der Bremskraft

#### 5.1.3.1 Anforderungen an die pneumatische Betätigung der Reibungsbremse

Gleitschutzbetätigungseinrichtungen (z. B. Gleitschutzventile oder andere pneumatische Steuergeräte — integriertes Bremsventil) werden eingesetzt, um die Bremskraft anzupassen.

Das Gleitschutzsystem darf keine direkte Verbindung zwischen Be- und Entlüftung zulassen.

#### 5.1.3.2 Dynamische Bremse

Dynamische Bremsen müssen entweder über eine Gleitschutzsteuerung in Übereinstimmung mit dieser Norm verfügen oder aber sich bei Schlupf abschalten lassen.

Wenn die dynamische Bremse bei einer SB aktiv sind, muss eine Gleitschutzregelung der dynamischen Bremse bereitgestellt werden.

Die dynamische Bremse darf mit einem eigenen Gleitschutz ausgerüstet werden. Solange die Reibungsbremse nicht betätigt wird, kann der Schlupf allein durch den Gleitschutz der dynamischen Bremse gesteuert werden.

Eine Gleitschutzstrategie ist für die beiden Systeme erforderlich, wenn die dynamische Bremse und die Reibungsbremse durch Blending-Funktion koordiniert oder unabhängig voneinander betrieben werden.

#### **5.1.4 Sicherheitsschaltung (Sicherheitszeit)**

Aus Sicherheitsgründen wird eine Überwachungsfunktion bereitgestellt, damit eine übermäßige Reduktion der Bremskraft verhindert wird.

Diese Sicherheitsschaltung muss für Systeme bereitgestellt werden, die in der Lage sind, eine SB auszuführen, und sie müssen unabhängig vom Gleitschutzsteuerungsalgorithmus und -prozessor sein.

Die Sicherheitsschaltung muss ein Eingreifen des Gleitschutzes unterdrücken, wenn für eine Zeitspanne von maximal 10 s vom Gleitschutz ununterbrochen das Lösen der Bremse angefordert wird.

Die Sicherheitsschaltung muss das Eingreifen des Gleitschutzes unterdrücken, wenn die Bremskraft für eine Zeitspanne von 15 s konstant oder ohne zwischenzeitliche Zunahme kontinuierlich unterhalb des angeforderten Bremskraftniveaus gehalten wird. Die Überwachungsfunktion muss ständig, auch während der Gleitschutzprüfungen, aktiviert sein, damit die angeforderte Bremskraft im Falle einer (wegen des Gleitschutzbetriebs) dauerhaft gelösten oder mit reduzierter Bremskraft laufenden Bremse wiederhergestellt wird. Jedes Auslösen der Sicherheitsschaltung außerhalb des Prüflaufes muss angezeigt und aufgezeichnet werden.

Wenn die Überwachungsfunktion aktiviert ist, darf sie nur zurückgesetzt werden, nachdem der Gleitschutzregler keine Reduzierung der Bremskraft mehr anfordert.

#### **5.1.5 Luftversorgung**

Optional sollte die Gleitschutzaktivität unterdrückt werden können, falls der Druck im Hilfsluftbehälter unter einen definierten Wert fällt.

Bei Einleitungsbremsen muss das Gleitschutzsystem sicherstellen, dass die Gleitschutzaktivität unterdrückt wird, wenn der Hilfsluftbehälterdruck unter 300 mbar über dem höchsten Bremsdrucks ist.

Der Gleitschutz muss sich automatisch wieder einschalten, wenn das Unterdrückungssignal nicht mehr ausgegeben wird.

#### **5.1.6 Raddurchmesserunterschiede**

Das Gleitschutz- und das Rollüberwachungssystem müssen zulässige Raddurchmesserunterschiede des Fahrzeugs bei der Geschwindigkeitsauswertung berücksichtigen, damit keine Gleitschutz- oder Rollüberwachungsaktivität wegen dieser Unterschiede ausgelöst wird.

#### **5.1.7 Rollüberwachung**

##### **5.1.7.1 Allgemeines**

Nachfolgende Anforderungen an Gleitschutzanlagen in Hochgeschwindigkeitszügen gelten zusätzlich zu den in 5.1.1 bis 5.1.6 genannten Punkten. Die Rollüberwachung ergänzt, wenn installiert, die Gleitschutzanlage um eine zusätzliche kontinuierliche Überwachung der Radsatzdrehung und meldet und meldet Anomalien bei der Radumdrehung anzeigt.

##### **5.1.7.2 Funktionsbeschreibung**

Wenn bei der Anfahrt des Zuges ein Radsatz blockiert, muss die Rollüberwachung spätestens als 10 s nach Erreichen einer Geschwindigkeit von 50 km/h ein Signal für die Anzeige des blockierten Radsatzes ausgeben.

Falls die Rollüberwachung während einer Fahrt einen anomalen Unterschied bei den Geschwindigkeiten der Radsätze für eine längere Zeitspanne als 10 s erfasst, muss das Gerät ein entsprechendes Signal ausgeben, wobei ein Unterschied als anomal gilt, wenn er mindestens  $X \text{ km/h} + Y \cdot v_{\text{ref}}$  beträgt. Die Parameter  $X$  und  $Y$  werden dabei von Fall zu Fall definiert, übersteigen aber nicht  $50 \text{ km/h} + 0,3 \cdot v_{\text{ref}}$ .

### **5.1.7.3 Systemanforderungen**

Die Funktion "Rollüberwachung" ist in das Rollüberwachungssystem implementiert und darf zusätzlich im Gleitschutzregler implementiert werden.

Wo es erforderlich ist, Züge mit unabhängigen Rollüberwachungssystemen auszurüsten, können sowohl der Gleitschutz als auch die Rollüberwachung Daten bezüglich blockierender Radsätze an das Zugsystem übermitteln.

Für jeden überwachten Radsatz muss die Rollüberwachung mindestens einen vom Gleitschutz elektrisch unabhängigen Schaltkreis für den Geschwindigkeitssensor umfassen. Gleitschutz und Rollüberwachung dürfen Daten für Diagnosezwecke austauschen.

Die elektrischen/elektronischen Schaltkreise für den Gleitschutz und die Rollüberwachung, einschließlich der Energieversorgung von der Batterie und der Schutzschaltkreise, müssen unabhängig voneinander arbeiten. Elektrische Schnittstellen müssen so beschaffen sein, dass der Ausfall eines Systems nicht die anderen beeinträchtigt, z. B. durch galvanische Trennung.

Die Gleitschutzanlage darf als Rollüberwachungssystem für Radsätze fungieren, für die es nicht die Gleitschutzsteuerung ausführt.

### **5.1.7.4 Empfohlene Eigenschaften**

Es wird empfohlen, die Rollüberwachung auch mit der Funktion auszustatten, die die Bremskraft für den betroffenen Radsatz zurücknimmt (einschließlich dynamischer Bremse von angetriebenen Radsätzen), wenn anomale Unterschiede bei der Umfangsgeschwindigkeit beobachtet werden. Wenn die Rollüberwachung auch über eine Gleitschutzentlüftungsfunktion verfügt, gelten die Gleitschutzanforderungen an die Sicherheitsschaltung, die Gleitschutzventile und die Diagnoseprogramme zur Reduzierung der Bremskraft auch für die Rollüberwachung.

Zudem kann Rollüberwachung bei defektem Gleitschutz dessen Hauptaufgaben übernehmen. In diesem Fall muss es die Anforderungen an den Gleitschutz erfüllen.

## **5.1.8 Diagnoseprogramme**

### **5.1.8.1 Ständige Selbstdiagnose**

Wenn das Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystem in Betrieb ist, werden die Verfügbarkeit und das einwandfreie Funktionieren der Geschwindigkeitssensoren überwacht. Leerlauf (Kabelbruch) und Kurzschluss der Geschwindigkeitssensoren müssen detektiert werden.

Wenn Sensoren für zusätzliche Signale im Gleitschutzsystem eingesetzt werden, muss eine Diagnose dieser Sensoren implementiert werden.

Die Verfügbarkeit sowie Leerlauf und Kurzschluss elektrischen Schaltkreise der Betätigungseinrichtungen (Gleitschutzventile) müssen detektiert werden, wenn von der Steuerung Befehle an die jeweilige Betätigungseinrichtung (Gleitschutzventil) gesendet werden.

Zusätzliche kontinuierliche Diagnosefunktionen, die in die eingesetzte elektronische Systemtechnik integriert sind, müssen das einwandfreie Funktionieren und die Verfügbarkeit des Gleitschutzes überwachen. Diese werden auf Basis der spezifischen Architektur einer jeden Gleitschutzanlage definiert und entsprechend angepasst.

Die Diagnosefunktion darf die Bremsfunktionen während des Betriebs des Fahrzeugs nicht beeinträchtigen.

Dem Zugsystem müssen Daten bereitgestellt werden, um eine Detektion des gleichzeitigen Ausfalls von Gleitschutz und Rollüberwachung an jedem einzelnen Radsatz zu ermöglichen.

#### **5.1.8.2 Manuell eingeleiteter Prüflauf**

Es muss möglich sein, bei Stillstand des Fahrzeugs einen Gleitschutzprüflauf manuell einzuleiten. Eine automatische oder Fernauslösung dieses Prüflaufs darf auch erlaubt sein, vorausgesetzt, dass alle Anforderungen an die manuelle Einleitung erfüllt sind.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf muss abgebrochen werden, wenn der Gleitschutz eine Fahrzeugbewegung von  $\leq 3$  km/h detektiert.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf umfasst Prüfungen auf verborgene Fehler, die detektiert werden können, wenn das Fahrzeug im Stillstand ist.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf muss Prüfungen der Sicherheitsschaltung einschließen.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf muss die Prüfung einer jeden Betätigungseinrichtung einschließen. Gibt es mehr als eine Betätigungseinrichtung pro Gleitschutzsystem, sollte die Prüfung dieser Betätigungseinrichtungen nacheinander erfolgen.

Alle Stellungen der Betätigungseinrichtung müssen geprüft werden, darunter auch das vollständige Lösen der Bremse. Die Funktion der Betätigungseinrichtungen kann auditiv über die Hörbarkeit der bei der Entlüftung entweichenden Luft geprüft werden; es können auch Sicht- oder andere Prüfungen erfolgen.

Bei dem manuell eingeleiteten Gleitschutzprüflauf muss das Lösen der Betätigungseinrichtungen möglichst so ablaufen, dass die Sicherheit des Zuges auch bei Fahrzeugstillstand nicht gefährdet ist.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf muss Fehlercodes und Daten zur Verfügbarkeit bereitstellen, auf die über die Service-Schnittstelle des Gleitschutzsystems zugegriffen werden kann.

Der manuell eingeleitete Gleitschutzprüflauf darf sich nicht nachteilig auf andere Funktionen auswirken, die vom Gleitschutz bereitgestellte Ausgangssignale nutzen.

#### **5.1.8.3 Automatisch ausgelöste Prüfung**

Der Gleitschutz muss bei jedem Start eine automatische Selbstprüfung auslösen, um zumindest die elektrische Betriebsbereitschaft der elektronischen Steuereinheit und der Peripheriegeräte sicherzustellen.

Zusätzlich darf ein Teil dieses Prüflaufs oder der gesamte Prüflauf zu anderen Zeitpunkten automatisch ausgelöst werden, z. B. wenn das Fahrzeug anhält.

Der automatisch ausgelöste Prüflauf darf die Bremsfunktionen nicht beeinträchtigen.

#### **5.1.8.4 Fehlermanagement**

Alle erfassten Fehler müssen an der Service-Schnittstelle als Fehlercode angezeigt und im Fehlerspeicher des Gleitschutzsystems gespeichert werden.

Die Technologie für die Fehlerspeicherung muss so gewählt werden, dass eine Speicherung der Fehlerdaten selbst ohne Stromversorgung für mindestens 3 Monate gewährleistet ist.

Die Fehlercodes und die Instandhaltungsmaßnahmen sollten so ausgelegt und gestaltet sein, dass die kleinste austauschbare ausgefallene Einheit identifiziert werden kann.

#### **5.1.8.5 Service-Schnittstelle**

Die Service-Schnittstelle muss eine MMS sein und/oder ein Anschluss an einen Diagnose-Computer oder ein Diagnosesystem.

Die Service-Schnittstelle sollte mindestens Daten zur Verfügbarkeit des Gleitschutzes in Form einer „Fehler“- oder „OK“-Anzeige bereitstellen.

Die Service-Schnittstelle muss den Zugriff auf Fehlercodes und intern gespeicherte Diagnosedaten ermöglichen.

Die Service-Schnittstelle muss über eine Vorrichtung verfügen, mit der ein Prüflauf eingeleitet werden kann.

### **5.2 Konstruktionsanforderungen**

#### **5.2.1 Umgebungsspezifikation**

Das Gleitschutz-/Rollüberwachungssystem muss den Umweltbedingungen standhalten, wie sie in EN 50125-1 festgelegt sind, abhängig davon, wo am Fahrzeug sich die Komponenten befinden und welche Betriebsbedingungen herrschen.

In Bezug auf die Elektronik gelten auch die Anforderungen an die Umgebungstemperatur nach EN 50155.

Der Betrieb der Gleitschutzsteuereinheit muss im Rahmen der Anforderungen von EN 50121-3-2 erfolgen.

Komponenten, die direkt der Außenumgebung ausgesetzt sind, müssen EN 60529, Schutzart IP65, entsprechen.

#### **5.2.2 Brandverhalten**

Das Gleitschutz-/Rollüberwachungssystem muss mindestens die Anforderungen der Normreihe EN 45545 einhalten.

#### **5.2.3 RAMS**

##### **5.2.3.1 Zuverlässigkeit**

Zum Gleitschutz-/Rollüberwachungssystem ist eine Zuverlässigkeitsstudie nach EN 50126-1 anzufertigen (während der Entwurfsphasenprüfung).

##### **5.2.3.2 Sicherheit**

Für das Gleitschutz/die Rollüberwachung muss eine Sicherheitsanalyse durchgeführt werden, die die folgenden befürchteten Vorfälle (ER) berücksichtigt:

- ER1: Unbeabsichtigtes Reduzieren oder Zurückhalten von Bremskraft auf einem Steuerkanal für eine Zeitspanne, die jene übersteigt, die in 5.1.4 festgelegt ist.
- ER2: Ausfall jeglicher Ausgabe von Geschwindigkeitssignalen, die von sicherheitsrelevanten Funktionen genutzt werden (geschwindigkeitsabhängiger Bremsvorgang, Magnetschienenbremse).

Für Ausrüstung, die für  $v > 200$  km/h zugelassen wird, muss die Sicherheitsanalyse den folgenden befürchteten Vorfall (ER) berücksichtigen:

- ER3: Ausfall der Funktion zur Detektion oder Anzeige eines blockierten Radsatzes.

Die in Stunden gemessene Eintrittswahrscheinlichkeit dieses befürchteten Vorfalls muss den unten angegebenen Werten entsprechen.

$$ER1 \leq 10^{-6}/h$$

$$ER2 \leq 10^{-5}/h$$

für Ausrüstungen, die für  $v > 200 \text{ km/h}$  zugelassen sind  $\leq 10^{-6}/h$

$$ER3 \leq 10^{-5}/h$$

### 5.2.3.3 Instandhaltbarkeit

Der Gleitschutz/die Rollüberwachung sollte modular aufgebaut sein, wobei Module gleicher Funktionalität austauschbar sein sollten. Bei Modulen unterschiedlicher Funktionalität darf es nicht möglich sein, sie physisch an der falschen Stelle anzuschließen.

### 5.2.3.4 Verminderte Betriebsbedingungen

Ein detektierter Ausfall eines einzelnen Radsatzsensors darf sich nicht nachteilig auf die Steuerung der anderen Radsätze auswirken.

In diesem Fall kann ein anderes diesen Gleitschutz betreffendes Geschwindigkeitssignal verwendet werden, um den Radsatz zu steuern. Das Signal kann je nach Fahrzeugkonfiguration von der Rollüberwachung kommen, von der Antriebssteuerung, von dem angrenzenden Radsatz auf demselben Drehgestell oder von einem anderen nächstgelegenen Radsatz usw.

### 5.2.4 Mechanische Konstruktion

Die Systemkomponenten und deren Steckverbinder müssen den Belastungen standhalten, wie sie in EN 61373 festgelegt sind, in Abhängigkeit von ihrer Einbauposition:

Die Einhaltung der Anforderungen darf durch entsprechende Konstruktions- und Prüfdokumentationen belegt werden.

### 5.2.5 Stromüberwachung

Das Gleitschutz-/Rollüberwachungssystem muss so ausgelegt sein, dass es unter Berücksichtigung von Spannungsschwankungen, wie sie nach EN 50155 zulässig sind, einwandfrei funktioniert. Wenn das Gleitschutzsystem seinen eigenen Strom erzeugt sind Ausnahmen zulässig.

Wenn die Spannungsschwankung diese Grenze überschreitet, muss der Gleitschutz/die Rollüberwachung entweder normal weiterarbeiten oder derart herunterfahren, dass ein Zustand erreicht wird, in dem vorher festgelegte Signale an alle angeschlossenen Systeme ausgegeben werden (wie z. B. Bremssystem, Türsteuerung usw.).

Gleitschutzanlagen dürfen über eine Standby-Option verfügen. Wenn der Gleitschutz über eine Standby-Option verfügt, muss die Stromversorgung für den Gleitschutz/die Rollüberwachung so ausgelegt sein, dass der Gleitschutz spätestens hochfährt, wenn seine Funktion benötigt wird. Es ist zulässig, das Lösesignal der Bremse zu nutzen, um den Standby-Modus zu verlassen, ohne direkt eine Fahrzeugbewegung zu erfassen.

### 5.2.6 Elektronische Steuereinheit E/A

Sofern es Anforderungen für eine Verbindung von Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystem mit anderen Fahrzeugfunktionen (Türen, Magnetschienenbremse usw.) gibt, müssen diese Schnittstellen in Übereinstimmung mit EN 50129 ausgelegt sein.

E/A-Signale, die an der Schnittstelle für eine andere Fahrzeugfunktion bereitgestellt werden, müssen die Sicherheitsintegritäts-Level (Safety Integrity Level (SIL)), die von dieser Funktion für solche Signale gefordert werden, einhalten.

Es muss sichergestellt sein, dass es aufgrund von Fehlern oder Kurzschlüssen in den Schnittstellen zwischen Gleitschutz oder Rollüberwachung und anderen Fahrzeugfunktionen nicht zu einer Fehlfunktion des Gleitschutzes oder der Rollüberwachung kommen kann.

#### **5.2.7 Sensor — Erfassung der Radsatzdrehzahl**

Die Geschwindigkeitssensoren müssen als integraler Bestandteil des Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystems angesehen werden.

Der Sensor sollte für Wartungsarbeiten an Drehgestell oder Radsatz leicht entfernbar sein.

#### **5.2.8 Betätigungseinrichtung — Anpassung der Bremskraft**

##### **5.2.8.1 Allgemeine Anforderungen**

Die Betätigungseinrichtungen, die zur Anpassung der Bremskraft eingesetzt werden, müssen als integraler Bestandteil des Gleitschutzsystems und der Rollüberwachung angesehen werden, wenn die Option der Bremskraftanpassung im Rollüberwachungssystem eingeschlossen ist.

##### **5.2.8.2 Pneumatische Systeme**

###### **5.2.8.2.1 Verbleibende Druckluft**

Im Betrieb im spannungsfreien Zustand und mit gelösten Bremsen dürfen durch die Gleitschutzventile oder anderen Bremskraftaktuatoren nicht mehr als 0,1 bar Luftdruck im Bremszylinder verbleiben.

###### **5.2.8.2.2 Luftqualität**

Der Hersteller muss die Anforderungen an die Luftqualität des Gleitschutzsystems in Übereinstimmung mit ISO 8573-1 festlegen.

###### **5.2.8.2.3 Pneumatische Schnittstelle**

Die pneumatische Schnittstelle zu den Rohrleitungen des Fahrzeugs muss über ein Anschlussstück erfolgen, sodass das Gleitschutzventil entfernt werden kann, ohne die Funktion der Rohrleitung zu beeinträchtigen. Die Rohrleitungsanschlüsse müssen als Rohrgewinde nach EN ISO 228-2 ausgeführt sein. Düsen sollten im Ventilträger der Gleitschutzventile montiert sein.

###### **5.2.8.2.4 Dichtheit**

Das Gleitschutzventil muss jedes unzulässige Entweichen der Bremszylinderdruckluft in die Atmosphäre verhindern. Zwischen -25 °C und +70 °C darf bei Prüfungen unter üblichem Betriebsdruck keine größere Luftmenge als 0,01 NI/min durch das Gleitschutzventil entweichen.

Zwischen -40 °C und -25 °C darf bei Prüfungen unter üblichem Betriebsdruck keine größere Luftmenge als 0,1 NI/min durch das Gleitschutzventil entweichen.

Diese Dichtheit wird in Übereinstimmung mit 6.2.4.2.2 geprüft.

##### **5.2.8.3 Elektrischer Anschluss**

Der elektrische Anschluss muss so konstruiert sein, dass ein Eindringen von Staub und Wasser verhindert wird. Dies muss nachgewiesen werden, wenn der Steckverbinder für die Betätigungseinrichtung in Übereinstimmung mit EN 60529, Schutzart IP65 oder IP67, eingestuft wurde. Wenn der Steckverbinder in die Schutzart IP67 eingestuft wurde, muss er für eine vielseitige Anwendung geeignet sein und EN 60529, IP65/IP67, entsprechen.

## **5.3 Installationsempfehlungen**

### **5.3.1 Allgemeine Installationsanforderungen**

Die Konstruktion und Integration des Gleitschutzes/der Rollüberwachung gewährleistet, dass andere Systeme oder Fahrzeugfunktionen nicht den einwandfreien Betrieb des Gleitschutzes/der Rollüberwachung ändern.

Installationsanforderungen des Herstellers müssen bereitgestellt werden, wenn sichergestellt werden muss, dass das installierte System weiterhin die typgeprüften Konstruktionsanforderungen erfüllt.

An die Implementierung der Gleitschutz-/Rollüberwachungssysteme und ihrer Komponenten in die Fahrzeuge werden die Anforderungen gestellt, dass sich das Gleitschutz-/Rollüberwachungssystem und dessen Betrieb (in allen Betriebsarten) nicht nachteilig auf einzelne Bestandteile des Fahrzeugs, des Drehgestells, des Zugs oder der Gleise auswirken.

Falls das Referenzgeschwindigkeitssignal von anderen Funktionen außerhalb der Gleitschutz-/Rollüberwachungsanlage genutzt wird, dürfen diese Funktionen weder die Integrität des Referenzsignals noch die Gleitschutz-/Rollüberwachungsanlage beeinträchtigen.

Die Komponenten des Gleitschutz-/Rollüberwachungssystems sollten so installiert sein, dass ein Risiko für Personen, die im Fahrzeug arbeiten, minimiert ist (z. B. Verletzungen durch scharfe Kanten).

Geschwindigkeitssensoren sollten mit einem Klemmkasten verbunden oder mit einem Stecker ausgestattet sein.

### **5.3.2 Luftsysteem**

#### **5.3.2.1 Druckluftversorgung**

Die Druckluftversorgung des Fahrzeugs (insbesondere die Größe des Hilfsluft-/R-Behälters) sollte so dimensioniert sein, dass der zusätzliche Druckluftverbrauch des Gleitschutzes die Leistung der pneumatischen Bremse nicht beeinträchtigt.

#### **5.3.2.2 Leitungssystem und Anordnung**

Die folgenden Aussagen sind Empfehlungen für die Installation der Fahrzeugleitungen:

- Wo es zweckmäßig ist, sollten die Leitungen die gleichen Maße haben und sollten für jeden Radsatz symmetrisch sein.
- Der Durchmesser der Leitungen sollte auf den Nenndurchmesser der Öffnungen der Gleitschutzventile abgestimmt sein.
- Das Gleitschutzventil sollte so installiert sein, dass die Luftaustrittsöffnungen vor Schnee und Eis geschützt sind.

### **5.3.3 Stromversorgung und elektrisches System**

#### **5.3.3.1 Schutz**

Zur Sicherstellung der Unabhängigkeit der Rollüberwachung vom Gleitschutz, der dieselben Radsätze überwacht, sollte ihre Stromversorgung durch einen eigenen Leistungsschalter geschützt sein.

Die Gleitschutzanlage für die Reibungsbremse sollte über einen eigenen geschützten Stromkreis verfügen, sofern sie kein integraler Bestandteil der Bremssteuerung ist.

Eine Gleitschutzanlage für ein gezogenes (nicht motorisiertes) Fahrzeug, das nicht Bestandteil einer festen Triebzugformation ist, sollte über ihren eigenen abgesicherten Stromkreis verfügen.

Die Sicherungen oder Leistungsschalter für den Gleitschutz/die Rollüberwachung sollten deutlich gekennzeichnet sein, sodass sie nicht verwechselt bzw. in derselben Weise in Betrieb sein können.

### **5.3.3.2 Steuerung**

Der Gleitschutz/die Rollüberwachung sollte immer mit Strom versorgt werden, sobald dieser verfügbar ist.

Eine automatische Abschaltung der Stromversorgung sollte nur im Fall eines Standby zulässig sein oder als Batterieschutz aus Gründen der Batteriesicherheit (schwacher Ladezustand oder zu niedrige Spannung durch eine längere Zeit fehlende Stromversorgung).

Nach einer Abschaltung wegen Spannungsschwankungen sollte der Gleitschutz/die Rollüberwachung automatisch wieder den normalen Betrieb aufnehmen, sobald sich die Versorgungsspannung innerhalb des festgelegten Spannungsbereichs stabilisiert.

## **5.4 Leistungsanforderungen an den Gleitschutz**

### **5.4.1 Leistung**

Die Leistung des Gleitschutzsystems wird daran gemessen, in wieweit es in der Lage ist, die in 5.1.1 genannten Ziele zu erreichen, wenn ein Fahrzeug bei vermindertem Kraftschluss gebremst wird.

Für Typ- und Fahrzeugintegrationsprüfungen muss die Leistung des Gleitschutzsystems durch Fahrversuche oder am Simulationsprüfstand validiert werden. Die Mindestanforderungen für einen Simulationsprüfstand sind in Anhang B festgelegt.

Jede Beurteilung der Leistung eines Gleitschutzsystems hinsichtlich seiner Fähigkeit, diese Ziele in jeder beliebigen Prüfung zu erreichen, muss folgende Kriterien berücksichtigen:

- Den Kraftschlusswert (geringer, sehr geringer, extrem geringer Kraftschluss);
- die Art der Schienenverunreinigung;
- die Fahrzeuggeschwindigkeit bei Beginn des Bremsvorgangs;
- die Zugzusammensetzung, in der das Fahrzeug getestet wird;
- die Konfiguration der Bremsen des Fahrzeugs (, mechanisch und pneumatisch);
- die Druckluftversorgung oder das Druckluftspeichersystem des Fahrzeugs.

Die allgemeinen Leistungskriterien für den Gleitschutz gehen davon aus, dass ein Fahrzeug, das mit Gleitschutz ausgerüstet ist, über eine radsatzselektive Regelung verfügt und eine Druckluftversorgung hat, bei der der Vorratsluftbehälter in der Regel kontinuierlich wiederaufgefüllt wird. Wo das nicht der Fall ist, ist die Leistungsreduktion in den jeweiligen Abschnitten angegeben oder in Anhang I beschrieben.

Die angegebenen Leistungsanforderungen müssen für das Gleitschutzsystem allein bewertet werden, wenn diese nicht durch andere Systeme, wie Antrieb und dynamische Bremse, beeinflusst ist.

Wo Fahrzeuge mehr als ein Gleitschutzsystem und/oder mehr als ein Bremssystem in Betrieb haben, muss es eine abgestimmte Schnittstelle für die Interaktion zwischen diesen geben, um die erforderliche Leistung in allen Betriebsarten für das Fahrzeug zu gewährleisten.

Der Gleitschutz muss von der maximalen Bremsausgangsgeschwindigkeit  $v_t$  aus arbeiten; er muss jedoch auch bei jeder niedrigeren Ausgangsgeschwindigkeit ordnungsgemäß arbeiten.

Die endgültige Entscheidung über den Status „Bestanden/Nicht bestanden“ (Pass/Fail) als Abnahmekriterium für ein Gleitschutzsystem hinsichtlich der Leistungsanforderungen, muss unter Bezugnahme auf die jeweilig angewendeten Prüfverfahren, die Prüfbedingungen und nach einer Analyse der Prüfergebnisse, erfolgen.

## 5.4.2 Anhalteweg und Verbesserung des Kraftschlusses

### 5.4.2.1 Geringer Kraftschluss

Bei geringem Kraftschluss ist es in der Regel möglich, den verfügbaren Kraftschluss so weit zu verbessern, dass die Anhaltewegsleistung gegenüber dem verbessert wird, was ohne eine Gleitschutzanlage zu erwarten wäre. Die untenstehenden Anhaltewegtabellen (Tabellen 1, 2 und 3) geben die Verbesserungen wieder, die bei geringem Kraftschluss erreicht werden müssen.

Die unten stehenden Tabellen wurden anhand der in Anhang G aufgeführten Formel sowie auf der Basis von Prüfdaten einer Reihe von europäischen Eisenbahnen erstellt. Die Tabellen zeigen die Höchstwerte der zulässigen Verlängerung des Anhaltewegs im prozentualen Verhältnis zum Anhalteweg auf trockener Schiene von Bremsausgangsgeschwindigkeiten bis einschließlich 160 km/h. Die Tabellen geben die Kraftschlusswerte bei trockener Schiene an, die für das zu prüfende Fahrzeug oder den zu prüfenden Zug erforderlich sind und die von der Anzahl der Radsätze des Zugs abhängen. Ungebremste Radsätze sind weder als Radsätze mit einem geringen Kraftschluss zu betrachten noch in die Gesamtzahl der Radsätze mit einzuschließen. Diese Werte gelten nur für eine Sprühvorrichtung vor dem Treibradsatz.

Für Prüfungen am Simulationsprüfstand darf die Anhaltewegverlängerung alternativ gemessen werden, indem sie mit einem vom Prüfstand auf der Basis eines Kraftschluss Spitzenwertmodells berechneten Anhaltewegs abgeglichen wird.

Wenn es mehrere Sprühvorrichtungen am Zug gibt, gelten die Zahlen in den Tabellen für die Anzahl der Radsätze zwischen jeder Sprühvorrichtung oder der letzten Vorrichtung und dem Zugende. Die Verlängerung des Anhaltewegs mit mehreren Sprühvorrichtungen ist ein Durchschnittswert der Verlängerung des Anhaltewegs für die entsprechende Anzahl der Radsätze wie in Gleichung (1).

$$s_w = \frac{A_1 \times e_1 + \dots + A_n \times e_n}{e_{\text{tot}}} \quad (1)$$

Dabei ist

$s_w$  die gewichtete Verlängerung des Anhaltewegs, in %;

$A_1$  die Radsätze hinter Sprühvorrichtung 1;

$A_n$  die Radsätze hinter Sprühvorrichtung  $n$ ;

$e_1$  die Verlängerung durch Sprühvorrichtung 1, in %;

$e_n$  die Verlängerung durch Sprühvorrichtung  $n$ , in %;

$n_{\text{tot}}$  die Gesamtzahl der Radsätze.

**Tabelle 1 — Kraftschluss bei trockener Schiene 0,08 bis 0,10**

| Anzahl der Radsätze | Verlängerung<br>% |
|---------------------|-------------------|
| 2 bis 5             | 17                |
| 6 bis 7             | 14                |
| 8 bis 10            | 11                |
| 11 bis 16           | 8                 |
| 17 oder mehr        | 5                 |

**Tabelle 2 — Kraftschluss bei trockener Schiene > 0,10 bis 0,13**

| <b>Anzahl der Radsätze</b> | <b>Verlängerung<br/>%</b> |
|----------------------------|---------------------------|
| 2 bis 5                    | 32                        |
| 6 bis 7                    | 26                        |
| 8 bis 10                   | 20                        |
| 11 bis 16                  | 14                        |
| 17 oder mehr               | 9                         |

**Tabelle 3 — Kraftschluss bei trockener Schiene > 0,13 bis 0,15**

| <b>Anzahl der Radsätze</b>                                                                            | <b>Verlängerung<br/>%</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 2 bis 5                                                                                               | 40                        |
| 6 bis 7                                                                                               | 32                        |
| 8 bis 10                                                                                              | 24                        |
| 11 bis 16                                                                                             | 16                        |
| 17 oder mehr                                                                                          | 10a                       |
| <sup>a</sup> Gültig für eine obere Grenze von 0,17, wo Fahrzeuge mindestens 20 Radsätze haben müssen. |                           |

Der Anhalteweg bei geringem Kraftschluss muss bei SB gemessen werden.

Anhaltewege bei SB werden bewertet, der Gleitschutz muss allerdings mit jedweder geringeren Verzögerung ordnungsgemäß arbeiten.

#### **5.4.2.2 Sehr geringer Kraftschluss**

Bei sehr geringem Kraftschluss kann durch den Gleitschutz oft keine Verbesserung des Kraftschlusswerts erreicht werden.

Bei sehr geringem Kraftschluss muss der Gleitschutz weiterhin in üblicher Weise arbeiten, allerdings können keine Kriterien für den Anhalteweg definiert werden.

Alternative Strategien zur Gleitschutzsteuerung dürfen unter diesen Bedingungen zum Einsatz kommen, wenn der Kraftschluss sehr gering bleibt.

#### **5.4.2.3 Extrem geringer Kraftschluss**

Bei extrem geringem Kraftschluss kann durch Gleitschutz üblicherweise keine Verbesserung des Kraftschlusswerts normalerweise nicht durch Gleitschutz erreicht werden.

Bei extrem geringem Kraftschluss muss der Gleitschutz weiterhin in üblicher Weise arbeiten, allerdings kann der Anhalteweg nicht definiert werden.

Unter diesen Bedingungen, wenn der Kraftschluss so extrem gering bleibt, dürfen alternative Strategien zur Gleitschutzsteuerung zum Einsatz kommen. Zum Beispiel eine Steuerung der Radsätze in verschiedenen Stadien des Gleitens oder ein Zulassen des Blockierens der Radsätze.

### 5.4.3 Radsatz-Gleitschutz

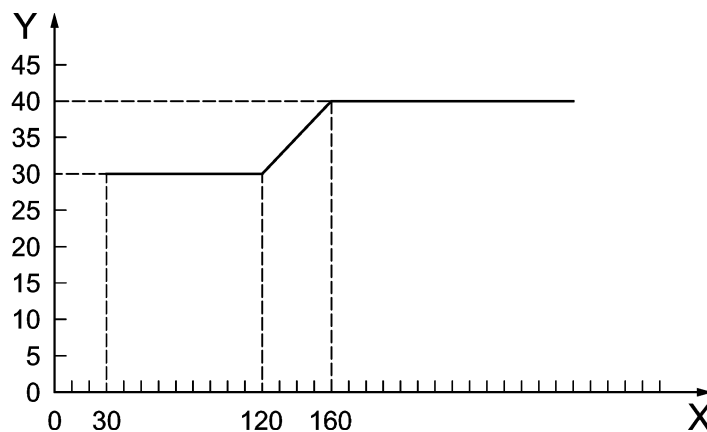
#### 5.4.3.1 Gleitschutz bei niedrigem Kraftschluss

Es darf keinen Absolut-Schlupf für eine Dauer von mehr als 3 s von über 30 km/h, wenn die Geschwindigkeit zwischen 40 km/h und 120 km/h liegt, von mehr als 25 % der Fahrzeuggeschwindigkeit, wenn die Geschwindigkeit zwischen 120 km/h und 160 km/h und von über 40 km/h, wenn die Geschwindigkeit über 160 km/h liegt, geben.

Bei Geschwindigkeiten > 200 km/h darf kein Absolut-Schlupf von mehr als 40 km/h für eine Zeitspanne von 5 s bestehen.

Während der Prüfungen darf keiner der Radsätze blockieren, wenn die wahre Zuggeschwindigkeit über 30 km/h beträgt.

Radblockierungen zwischen 30 km/h und 5 km/h wahrer Zuggeschwindigkeit dürfen nicht länger als 0,4 s andauern.



#### Legende

X Fahrzeuggeschwindigkeit, in km/h

Y Gleiten des Rades, in km/h

**Bild 1 — Grenzwert des Absolut-Schlupfes**

Für Prüfungen am Simulationsprüfstand dürfen die Kriterien abweichen und auf den berechneten Wahrscheinlichkeiten eines martensitischen Schadens basieren, zu dem es wegen Überhitzung während eines starken Gleitens oder eines Blockierens der Radsätze kommt.

#### 5.4.3.2 Gleitschutz bei sehr geringem und extrem geringem Kraftschluss

Der Absolut-Schlupf bei diesen Kraftschlussbedingungen darf größer sein als bei geringem Kraftschluss, es muss jedoch Gleitschutzaktivität in der Form nachgewiesen werden, dass in Phasen von großen Differentialgeschwindigkeiten der Versuch durch die GS-Regelung unternommen wird, die betreffenden Radsätze wieder auf Fahrzeuggeschwindigkeit zu bringen.

Zu einer Blockierung der Räder sollte es nur für die in der folgenden Formel angegebenen Zeitspannen kommen.

$$t = \frac{W}{v \cdot \mu \cdot \frac{m}{2} \cdot g} \quad (2)$$

Dabei ist

- $\mu$  der vorhandene Kraftschluss;
- $W$  = 26 kJ, welches die Energie pro Kontaktpunkt ist;
- $m$  die Radsatzlast.

Wo  $\mu$  nicht bekannt ist, wird 0,02 verwendet.

#### **5.4.4 Schäden an den Schienen**

Eine Minimierung von Schienenschädigung wird angenommen, wenn die Kriterien für den Gleitschutz erfüllt sind.

#### **5.4.5 Höchstwert der Verzögerung**

Der Gleitschutz muss in der Lage sein, auf Verzögerungen zu reagieren, die größer sind als die Auslegungsverzögerung.

Bis zu einer Grenze von 0,3 m/s<sup>2</sup> (größer als die Auslegungsverzögerung) darf es zu keiner unerwünschten Reduzierung der Bremskraft kommen.

Oberhalb der Grenze von 0,3 m/s<sup>2</sup> darf kein vollständiges Lösen der Bremse des Fahrzeugs für eine Zeitspanne von mehr als 2 s erfolgen.

#### **5.4.6 Druckluftverbrauch**

Der Gleitschutz sollte so ausgelegt sein, dass sein zusätzlicher Druckluftverbrauch minimal ist.

Die zusätzlich durch den Gleitschutzbetrieb verbrauchte Druckluft sollte den Zug nicht daran hindern, bei geringem Kraftschluss innerhalb des festgelegten Wegs anzuhalten.

Es gibt keine Anforderungen, die für den Druckluftverbrauch bei sehr geringem und extrem geringem Kraftschluss gelten.

#### **5.4.7 Geschwindigkeitsbasierte Ausgangssignale des GS**

Die vom Gleitschutz berechnete Referenzgeschwindigkeit darf aufgrund von Unterschieden beim Raddurchmesser neuer Räder gegenüber abgenutzten Rädern von der wahren Zuggeschwindigkeit abweichen und zusätzliche Abweichungen können durch das Gleiten der Räder bei geringem Kraftschluss entstehen.

Wenn das Gleitschutzsystem an andere Funktionen Signale ausgibt, die auf seiner Referenzgeschwindigkeit basieren, dürfen die Abweichungen, die auf ein Gleiten der Räder zurückzuführen sind, nicht jene übersteigen, die in Tabelle 4 dargestellt sind.

**Tabelle 4 — Grenzabweichungen für Geschwindigkeitssignale**

| <b>Geschwindigkeit</b>             | <b>Grenzabweichung</b> |
|------------------------------------|------------------------|
| $0 \leq v_t \leq 100 \text{ km/h}$ | +5 km/h<br>-10 km/h    |
| $v_t > 100 \text{ km/h}$           | +5 km/h<br>-10 %       |

Die Geschwindigkeitsmessungen müssen auf einem mittleren Nennwert des Raddurchmessers basieren, wenn die tatsächlichen Durchmesser nicht bekannt sind, wie in 5.1.2 angegeben.

Wenn die Ausgangssignale digital sind, dann muss die erforderliche Genauigkeit erreicht sein, wenn sie im Bereich der Schaltschwellen liegt.

Eine kurzzeitige Abweichung der Geschwindigkeitsdaten über der Obergrenze der Geschwindigkeitsdaten von +5 km/h darf toleriert werden, wenn die Dauer einer solchen Abweichung 5 s nicht überschreitet.

## **6 Spektrum der Prüfungen**

### **6.1 Allgemeines**

#### **6.1.1 Prüfklassifikationen**

Ziel der Prüfung ist es, anhand der Prüfspezifikation und der entsprechenden Normen das Verhalten und die Leistung des Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystems zu ermitteln, insbesondere in Bezug auf die Sicherheit.

Die Prüfung muss durch eine akkreditierte Validierungsinstitution nach EN ISO/IEC 17025 erfolgen.

Die Überprüfung der Anforderungen unterteilt sich in eine Typprüfung und eine Fahrzeugintegrationsprüfung (FIP). Alle Anforderungen sind in einer Tabelle in Anhang A zusammengefasst. Diese Tabelle weist aus, welche Prüfungen für die Typprüfung oder für die FIP durchgeführt werden müssen.

Eine Typprüfung der grundlegenden Funktions-, Konstruktions- und Leistungsanforderungen muss für die Zulassung eines Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystems erforderlich sein.

Eine FIP ist erforderlich, um die Funktion und Leistung des Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystems, das in eine spezifische Fahrzeugkonfiguration installiert wurde, nachzuweisen.

Prüfungen sind nicht notwendig, wenn die Konformität mit einer Funktion nachgewiesen werden kann, die bereits geprüft worden ist.

Die Versuche müssen wiederholbar sein, und wenn dies zweckmäßig ist, automatisiert erfolgen.

#### **6.1.2 Gutachter**

Ein Gutachter muss vom Lieferanten, dem Kunden oder der Sicherheitsbehörde für die Typprüfung und für die FIP für die Fälle ernannt werden, wo es zusätzliche sicherheitsrelevante Gleitschutzfunktionen gibt, die nicht während der Typprüfung geprüft werden können.

Der Gutachter muss vom Lieferanten unabhängig oder nach Ermessen der Sicherheitsbehörde Teil der Organisation des Lieferanten oder der Organisation des Kunden sein.

Der Gutachter muss unabhängig vom Projekt sein.

Der Gutachter muss den Umfang des Prüfprozesses und den Inhalt der Prüfspezifikation vereinbaren. Diese Vereinbarung muss eine Aussage zur Anwesenheit des Gutachters bei der Prüfung enthalten.

Der Gutachter muss die Verifizierungs- und Validierungsaktivitäten, die am Gleitschutz- oder Rollüberwachungssystem und seinen Teilkomponenten durchgeführt werden, sowie die unterstützenden Nachweise beurteilen.

Der Gutachter muss ein Gutachten erstellen und Aufzeichnungen zum Begutachtungsprozess führen.

Sicherheitsrelevante Anwendungen und deren Bedingungen muss der Gutachter auf festgestellte Abweichungen, Nichtübereinstimmung mit den Anforderungen und schriftlich festgehaltene Nichtkonformitäten überprüfen, wenn diese einen Einfluss auf die Sicherheit haben und beurteilen, ob die projektseitige Begründung akzeptabel ist. Das Ergebnis muss im Gutachten dargelegt werden.

Der Gutachter muss jede Abweichung von den Anforderungen dieser Europäischen Norm identifizieren und auswerten und den Einfluss auf das Endergebnis beurteilen. Diese Nichtkonformitäten und deren Beurteilungen müssen im Gutachten aufgeführt sein.

Eine gutachterliche Beurteilung ist für einen Teil des Systems nicht erforderlich, wenn von einem anderen Gutachter bereits ein Gutachten für diesen Teil vorliegt. Der Gutachter muss überprüfen, dass die vorherige Beurteilung für die Verwendung in der beabsichtigten Umgebung gilt und die Anforderungen der entsprechenden Europäischen Normen erfüllt.

## **6.2 Typprüfung**

### **6.2.1 Allgemeines**

Die Typprüfung ist eine generische Prüfung, mit der sichergestellt wird, dass ein System die grundlegenden Anforderungen erfüllt. Sie kann an einem Prüfstand oder einem Prüffahrzeug oder als Kombination von beiden durchgeführt werden.

In der Typprüfung sind zu prüfen (als Beispiel):

- Konstruktionsanforderungen;
- Leistung und Funktionen des Gleitschutzes;
- Steuerung der Betätigungseinrichtungen (Gleitschutzventile);
- Funktion der Sicherheitsschaltung;
- Rollüberwachungsfunktion;
- Diagnose, einschließlich Sensoren, Betätigungseinrichtungen und automatische Prüfung;
- Schnittstellen zu anderen Systemen (Türsteuerung, Magnetschienenbremse);
- Display/für den Systembetrieb.

### **6.2.2 Spektrum der Funktionen für die Typprüfung**

Das Prüffahrzeug bzw. die validierte Prüfeinrichtung muss über ein Bremssystem verfügen, dass auf die Eigenschaften des Gleitschutzgerätes zugeschnitten ist (für Scheibenbremsen und/oder Klotzbremsen und/oder dynamische Bremsen).

### **6.2.3 Prüfungen**

#### **6.2.3.1 Basisprüfungen**

Für kombinierte Gleitschutz- und/oder Bremssysteme, bei denen mehr als ein Gleitschutzregler die auf die Radsätze ausgeübte Bremskraft beeinflussen kann, müssen Prüfungen durchgeführt werden, um den Betrieb des Gesamtsystems in Bezug auf alle möglichen Konfigurationen und Interaktionen dieser Steuerung mit dem System zu validieren.

Die Prüfungen werden als Bremsprüfung bis zum Stillstand oder als Schleppversuch durchgeführt.

Wenn die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs geringer ist als die nominale Bremsausgangsgeschwindigkeit, die für eine Prüfung vorgegeben ist, muss diese Prüfung durchgeführt werden, indem die Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs als Bremsausgangsgeschwindigkeit genutzt wird.

Tabelle 5 zeigt die Typ- und Fahrzeugintegrationsprüfungen.

Tabelle 5 — Programm für die Funktionsprüfung „Gleitschutzsteuerung“ eines Bremssystems unter Ausnutzung des Kraftschlusses

| Nr. der Prüfung | Kraftschlusswert | Behandlung des Gleises | Bremsverzögerung (Bremsart) <sup>a</sup>                                                                                            | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$ km/h | Zweck der Prüfung                                | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz                 | Anhaltewegkriterien                          | T/I <sup>b</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1               | Trockene Schiene | entfällt               | Höchste (SB)                                                                                                                        | bis zum Stillstand | 120                      | Verifizierung der Bremsleistung                  | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft          | Siehe Bremsberechnung <sup>c</sup> und G.1.2 | T                | 4<br>(8.1.1)                      |
| 2               | Trockene Schiene | entfällt               | Höchste (SB)                                                                                                                        | bis zum Stillstand | 160                      | Verifizierung der Bremsleistung                  | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft          | Siehe Bremsberechnung <sup>c</sup> und G.1.2 | T, I             | 4<br>(8.1.1)                      |
| 3               | Trockene Schiene | entfällt               | P                                                                                                                                   | bis zum Stillstand | 120                      | Verifizierung der Bremsleistung                  | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft          | Siehe Bremsberechnung <sup>c</sup> und G.1.2 | T                | 4<br>(8.1.1)                      |
| 4               | Trockene Schiene | entfällt               | Jede eindeutige Stufe einer Bremsstellung, oder Kategorien der Verzögerung, einschließlich Höchststufe: (pro ausgewählter Stellung) | bis zum Stillstand | 120                      | Verifizierung der Bremsleistung                  | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft          | Siehe Bremsberechnung <sup>c</sup> und G.1.2 | I                | 4<br>(8.1.1)                      |
| 5               | Gering           | Besprühte Schiene      | Höchste (SB)                                                                                                                        | bis zum Stillstand | 120                      | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage | Alle Prüfungen müssen die Anhaltewegkriterien erfüllen | Schwelle von 5.4.2.1                         | T, I             | 4<br>(8.1.3.2.4)                  |
| 6               | Gering           | Besprühte Schiene      | Höchste (SB)                                                                                                                        | bis zum Stillstand | 160                      | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage | Alle Prüfungen müssen die Anhaltewegkriterien erfüllen | Schwelle von 5.4.2.1                         | T, I             | 4<br>(8.1.3.2.4)                  |

| Nr. der Prüfung | Kraftschlusswert | Behandlung des Gleises                                                                                                                                   | Bremsverzögerung<br>(Bremsart) <sup>a</sup>                                                                                                   | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$<br>km/h | Zweck der Prüfung                                                              | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz                 | Anhaltewegkriterien  | T/I <sup>b</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|-----------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 7               | Gering           | Besprühte Schiene                                                                                                                                        | P                                                                                                                                             | bis zum Stillstand | 120                         | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage                               | Alle Prüfungen müssen die Anhaltewegkriterien erfüllen | Schwelle von 5.4.2.1 | T, I             | 4<br>(8.1.3.2.4)                  |
| 8 <sup>d</sup>  | Gering           | Besprühte Schiene                                                                                                                                        | Höchste, elektrodynamische Bremse muss in Betrieb sein.<br>(SB oder maximale Betriebsbremsung- elektrodynamische Bremse muss in Betrieb sein) | bis zum Stillstand | 120 <sup>e</sup>            | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage mit elektrodynamischer Bremse | Kein unerwünschter Bremskraftverlust                   | entfällt             | I                | 1                                 |
| 9               | Wechselnd        | Sprühvorgang in Intervallen.<br>Wobei der Sprühvorgang während der Prüfung dreimal angefangen und beendet werden muss.                                   | Höchste (SB)                                                                                                                                  | bis zum Stillstand | 160                         | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage mit wechselndem Kraftschluss  | Verifizierung der Schlupfkriterien                     | entfällt             | T                | 2                                 |
| 10              | Wechselnd        | Sprühvorgang in Intervallen.<br>Wobei der Sprühvorgang während der Prüfung, die über 1 km durchgeführt wird, dreimal angefangen und beendet werden muss. | Höchste<br>(maximale Betriebsbremsung)                                                                                                        | Schleppversuch     | 100                         | Verifizierung der Leistung der Gleitschutzanlage mit wechselndem Kraftschluss  | Höchstschlupf in Übereinstimmung mit 7.3.2.3           | entfällt             | T                | 1                                 |
| 11              | Sehr gering      | Schiene mit erhöhter Seifenkonzentration besprüht.                                                                                                       | Höchste                                                                                                                                       | Schleppversuch     | 100                         | Prüfen des Schlupfes an allen Radsätzen bei sehr geringem Kraftschluss         | Verifizierung der Schlupfkriterien 5.4.3.2             | entfällt             | T                | 1                                 |

| Nr. der Prüfung | Kraftschlusswert        | Behandlung des Gleises                                                                                                                                                                                                                                        | Bremsverzögerung (Bremsart) <sup>a</sup> | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$ km/h | Zweck der Prüfung                                                                 | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz             | Anhaltewegkriterien | T/I <sup>b</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| 12              | Sehr gering             | Sehr geringer Kraftschluss. Besprühen mit erhöhter Seifenkonzentration, Sprühvorgang vor dem Bremsen beginnen und für eine Zeitspanne von 10 s nach der Zeitspanne für den Aufbau der höchsten Bremskraft sprühen.                                            | Höchste                                  | bis zum Stillstand | 40                       | Prüfen des Verhaltens bei geringer Geschwindigkeit bei sehr geringem Kraftschluss | Verifizierung der Radblockierungskriterien 5.4.3.2 | entfällt            | T                | 1                                 |
| 13              | Sehr oder extrem gering | Sehr oder extrem geringer Kraftschluss über 20 m. 1 s Besprühen mit erhöhter Seifenkonzentration oder 1 kg Seife, die über eine Strecke von 20 m verteilt wird.<br><br>Die Bremse wird über eine Strecke von 200 m vor dem reduzierten Kraftschluss angelegt. | Höchste (SB)                             | bis zum Stillstand | 120                      | Prüfung der Reaktion auf eine plötzliche Änderung des Kraftschlusses              | Keine blockierenden Radsätze 5.4.3.2               | entfällt            | T                | 1                                 |

| Nr. der Prüfung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kraftschlusswert | Behandlung des Gleises                                                                                                                                                        | Bremsverzögerung (Bremsart) <sup>a</sup> | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$ km/h | Zweck der Prüfung                                       | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz | Anhaltewegkriterien | T/I <sup>b</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| 14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Extrem gering    | Extrem geringer Kraftschluss auf 500 m. Auftragen (Besprühen oder direktes Auftragen) von Öl oder Seife oder ersatzweise von einem geeigneten biologisch abbaubaren Material. | Höchste (SB)                             | bis zum Stillstand | 100                      | Zu prüfendes Verhalten bei extrem geringem Kraftschluss | Keine blockierenden Radsätze 5.4.3.2   | entfällt            | T                | 1                                 |
| <p>Bei Fahrzeugen, bei denen die Höchstgeschwindigkeit höher als 160 km/h ist, müssen die Prüfungen 2, 6 und 9 gleichzeitig bei <math>v_{\text{max}}</math> ausgeführt werden; dies kann an einen Simulator geschehen.</p> <p>Ein Schleppversuch ist eine Prüfung mit einem gezogenen Fahrzeug, die bei einer konstanten Geschwindigkeit erfolgen muss, um eine Beharrungsbremung auf einer Gefällestrecke zu simulieren und insbesondere, um die gleitschutz eigenen Steuerungsqualitäten zu verifizieren.</p> <p>Radblokierungskriterien bei geringem Kraftschluss müssen, wie in 5.4.3.1 angegeben, geprüft werden.</p> <p>Falls die Höchstgeschwindigkeit kleiner als eine der in den Zeilen der Tabelle aufgeführten ist, dann ist die Höchstgeschwindigkeit zu verwenden.</p> <p>Typprüfungen sollten im Beladungszustand „leer“ erfolgen, sofern die Fahrzeug- oder Bremssystemkonfiguration nicht einen zusätzlichen Beladungszustand erfordert (z. B.: ohne Lastausgleich; Blending Strategie; vorhandene Magnetschienenbremse usw.).</p> <p><sup>a</sup> Bei Prüfungen auf trockener Schiene, wo die Abnahmekriterien für den Gleitschutz erfüllt sind (keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft), kann der Umstand, dass der berechnete Anhalteweg nicht erreicht wird, auf Fehler in der Bremseinstellung des Fahrzeugs verweisen, nicht auf ein Versagen des Gleitschutzsystems, das geprüft wird.</p> <p><sup>b</sup> Typprüfung (T) und/oder FIP (I). Prüfungen auf trockener Schiene und bei geringem Kraftschluss (T und I), die erforderlich sind, um die Anhaltewegkriterien zu erfüllen, müssen für jede Fahrzeugintegration durchgeführt werden, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass mit den Ergebnissen von Typprüfungen oder früheren Prüfungen bei vergleichbaren Fahrzeugintegrationen die Fähigkeit des Gleitschutzsystems nachgewiesen worden ist, diese Anforderungen zu erfüllen.</p> <p><sup>c</sup> Bei Typprüfungen, bei denen es nicht möglich ist, die Bremsarteinstellung (SB, maximale Betriebsbremung usw.) ohne eine bekannte Fahrzeugintegration zu definieren, sollten die Prüfungen auf der Basis der Verzögerungsniveaus ausgeführt werden, für die das Gleitschutzsystem ausgelegt ist.</p> <p><sup>d</sup> Gilt nur für Systeme mit einer kombinierten pneumatischen und elektrodynamischen Bremse.</p> <p><sup>e</sup> Die Geschwindigkeit muss gegebenenfalls höher sein, um die Funktionstüchtigkeit zu prüfen.</p> |                  |                                                                                                                                                                               |                                          |                    |                          |                                                         |                                        |                     |                  |                                   |

Wenn das Gleitschutzsystem darauf ausgelegt ist, höhere Verzögerungen zu bewältigen, muss die folgende Prüfung durchgeführt werden. Eine höhere Verzögerung kann beispielsweise bei einer Lokomotive mit einem mit Mg ausgerüsteten Zug durch ein fehlendes Mg-Signal an einem Reisezugwagen und einem Reisezugwagen mit einer defekten automatischen Lastabbremung verursacht werden. Die höhere Verzögerung kann als Betriebszustand (Tabelle 6) vorliegen oder durch ein Signal (Tabelle 7) angezeigt werden.

Tabelle 6 — Typprüfung bei einer höheren Verzögerung, die durch äußere Einflüsse verursacht wurde

| Nr. der Prüfung | Kraftschlusswert | Behandlung des Gleises | Bremsverzögerung                                                                                                | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$<br>km/h | Zweck der Prüfung                                                  | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz                  | Anhaltewegkriterien | T/I <sup>a</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|-----------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| 15              | Trockene Schiene | entfällt               | 0,3 m/s <sup>2</sup> höher als die ausgelegte Höchstbeschleunigung                                              | bis zum Stillstand | 160                         | Leistung während der Prüfung mit keinem Signal „hohe Verzögerung“. | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft           | entfällt            | T                | 1                                 |
| 16              | Trockene Schiene | entfällt               | Entweder 0,5 m/s <sup>2</sup> oder 20 % über der ausgelegten Höchstbeschleunigung (der höhere der beiden Werte) | bis zum Stillstand | 160                         | Leistung während der Prüfung mit keinem Signal „hohe Verzögerung“. | Kein vollständiges Lösen der Bremse für länger als 2 s. | entfällt            | T                | 1                                 |

Bei Fahrzeugen, bei denen die Höchstgeschwindigkeit höher als 160 km/h ist, müssen die Prüfungen 15 und 16 gleichzeitig bei  $v_{\text{max}}$  ausgeführt werden; dies kann an einen Simulator geschehen.

Falls die Höchstgeschwindigkeit kleiner als eine der in den Zeilen der Tabelle aufgeführten ist, dann wird die Höchstgeschwindigkeit verwendet.

Typprüfungen sollten im Beladungszustand „leer“ erfolgen, sofern die Fahrzeug- oder Bremssystemkonfiguration nicht einen zusätzlichen Beladungszustand erfordert (z. B.: ohne Lastausgleich; Blending-Strategie; vorhandene Magnetschienenbremse usw.).

<sup>a</sup> Typprüfung (T) und/oder FIP (I). Prüfungen auf trockener Schiene und bei geringem Kraftschluss (T und I), die erforderlich sind, um die Anhaltewegkriterien zu erfüllen, müssen für jede Fahrzeugintegration durchgeführt werden, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass mit den Ergebnissen von Typprüfungen oder früheren Prüfungen bei vergleichbaren Fahrzeugintegrationen die Fähigkeit des Gleitschutzsystems nachgewiesen worden ist, diese Anforderungen zu erfüllen.

### **6.2.3.2 Schleppversuche**

Für Reibungs- oder Blending-Bremssysteme muss eine Vollbremsung für eine Zeitspanne von 30 s aufrechterhalten werden, wobei der Kraftschluss soweit zu verringern ist, dass alle Radsätze gleiten.

Eine Vollbremsung muss für eine Zeitspanne von 120 s aufrechterhalten werden, wenn über das Steuerungssystem nur die dynamische Bremse angelegt wird, wobei der Kraftschluss soweit zu verringern ist, dass alle Radsätze gleiten.

### **6.2.3.3 Zusätzliche Zulassungsprüfungen für Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h**

Die Eignung einer Gleitschutzanlage für 200 km/h kann anhand von Abhängeversuchen, Prüfungen in einem Zugverband (wobei sich das Prüffahrzeug mit seinem Sprühsystem am Anfang des Zugs befindet) oder Prüfungen an einer zugelassenen Simulationsprüfstand unter Verwendung von Geschwindigkeitssensoren der Gleitschutzanlage, die an Motoren gekoppelt sind, nachgewiesen werden. Wenn der Prüfstand keine Geschwindigkeitssensoren für Gleitschutzsysteme verwendet, muss die Kompatibilität der Geschwindigkeitssensoren mit den elektronischen Systemen bei 200 km/h mittels geeigneter Prüfungen nachgewiesen werden.

Die Gleitschutzkriterien müssen erfüllt sein (siehe 5.4.3.1).

### **6.2.3.4 Zusätzliche Zulassungsprüfungen für Geschwindigkeiten > 200 km/h**

Diese Prüfungen müssen als Fahrversuche mit einem Zugverband durchgeführt werden. Die Prüfung von Lokomotiven erfolgt mit Reisezugwagen, die entsprechend den Betriebsanforderungen angekoppelt sind.

Die Gleitschutzkriterien müssen erfüllt sein (siehe 5.4.3.1).

Die in 5.1.7 beschriebene Rollüberwachungsfunktion darf am stehenden Fahrzeug verifiziert werden, indem die erhöhten Radsatzgeschwindigkeiten am Eingang zum Überwachungsgerät simuliert werden, wobei die Geschwindigkeit eines Radsatzes bei 0 gehalten wird. Alternativ kann diese Funktion geprüft werden, wenn sich das Fahrzeug in Bewegung befindet und ein Sensor keine Geschwindigkeitswerte generiert. Die Rollüberwachungsvorrichtung muss die Kriterien für die Rollüberwachung erfüllen (siehe 5.1.7.2).

Die Höchstgeschwindigkeit der Radsätze muss am Eingang zur Rollüberwachungsvorrichtung simuliert werden. Die Geschwindigkeit eines der Radsätze muss dann entsprechend der folgenden Formel reduziert werden:

$$\Delta v = X + Y \cdot v \quad (3)$$

Dabei ist

$X$  und  $Y$  nach 5.1.7.2.

Ein Signal muss die Kriterien für die Rollüberwachung erfüllen (siehe 5.1.7.2). Die Prüfung ist bei 50 % der Höchstgeschwindigkeit zu wiederholen.

Wenn das Rollüberwachungssystem die empfohlenen Eigenschaften nach 5.1.7.4 aufweist, ist der Bremszylinderdruck des Radsatzes, für den die Geschwindigkeit reduziert wurde, spätestens 10 s nach seiner Entlüftung wiederherzustellen.

#### **6.2.3.5 Zusätzliche Zulassungsprüfungen für Gleitschutzaktivität bei Fahrzeugen mit kraftschlussunabhängigen Bremsen**

Bei Bremssystemen, die kraftschlussunabhängige Bremsen umfassen (z. B. eine Magnetschienenbremse) müssen die Prüfungen durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass das Gleitschutzsystem einwandfrei bei den höheren Verzögerungen funktioniert, wenn sie von den kraftschlussunabhängigen Bremsen verursacht werden. Insbesondere darf der Gleitschutz die Bremskraft bei trockener Schiene nicht verändern, d. h. unter Bedingungen, bei denen es nicht zu einem Gleiten des Rades kommt und funktioniert, wenn die Schienen mit einer Flüssigkeitskonzentration besprüht werden, wie sie in 7.3.2.1 festgelegt ist, einwandfrei in Übereinstimmung mit den Anforderungen in 5.1.

Die Prüfung muss eine SB sein, die von einer Ausgangsgeschwindigkeit von 160 km/h mit aktivierten kraftschlussunabhängigen Bremsen ausgeführt wird.

**Tabelle 7 — Typprüfung bei einer höheren Verzögerung durch kraftschlussunabhängige Bremsen (z. B. Magnetschienenbremse, Wirbelstrombremse)**

| Nr. der Prüfung | Kraftschlusswert | Behandlung des Gleises | Bremsverzögerung                                | Prüfverfahren      | $v_{0, \text{nom}}$<br>km/h | Zweck der Prüfung                                                                                        | Abnahmekriterien für einen Gleitschutz        | Anhaltewegkriterien | T/I <sup>a</sup> | Anzahl der Prüfungen – Evaluation |
|-----------------|------------------|------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------------------------|
| 17              | Trockene Schiene | entfällt               | Wie durch das zusätzliche Bremssystem ausgelegt | bis zum Stillstand | 160                         | Prüfung mit erhöhter Verzögerung aufgrund der kraftschlussunabhängigen Bremsen                           | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft | entfällt            | T                | 4                                 |
| 18              | Trockene Schiene | Besprühte Schiene      | Wie durch das zusätzliche Bremssystem ausgelegt | bis zum Stillstand | 160                         | Prüfung bei geringem Kraftschluss mit erhöhter Verzögerung aufgrund der kraftschlussunabhängigen Bremsen | keine unerwünschte Reduzierung der Bremskraft | entfällt            | T oder I         | 4                                 |

Bei Fahrzeugen, bei denen die Höchstgeschwindigkeit höher als 160 km/h ist, müssen die Prüfungen 17 und 18 gleichzeitig bei  $v_{\text{max}}$  ausgeführt werden; dies kann an einen Simulator geschehen.

Radblockierungskriterien bei geringem Kraftschluss müssen, wie in 5.4.3.1 angegeben, geprüft werden.

Falls die Höchstgeschwindigkeit kleiner als eine der in den Zeilen der Tabelle aufgeführten ist, dann wird die Höchstgeschwindigkeit verwendet.

Typprüfungen sollten im Beladungszustand „leer“ erfolgen, sofern die Fahrzeug- oder Bremssystemkonfiguration nicht einen zusätzlichen Beladungszustand erfordert (z. B.: ohne Lastausgleich; Blending-Strategie; vorhandene Magnetschienenbremse usw.).

<sup>a</sup> Typprüfung (T) und/oder FIP (I). Prüfungen auf trockener Schiene und bei geringem Kraftschluss (T und I), die erforderlich sind, um die Anhaltewegkriterien zu erfüllen, müssen für jede Fahrzeugintegration durchgeführt werden, sofern nicht nachgewiesen werden kann, dass mit den Ergebnissen von Typprüfungen oder früheren Prüfungen bei vergleichbaren Fahrzeugintegrationen die Fähigkeit des Gleitschutzsystems nachgewiesen worden ist, diese Anforderungen zu erfüllen.

Die Prüfung in Tabelle 6 und Tabelle 7, Spalte 1, darf an einem speziell für diese Prüfung vorgesehenen Simulationsprüfstand durchgeführt werden, wobei berücksichtigt wird, dass kein Kraftschlussprofil benötigt wird (z. B. open-loop Simulation).

### 6.2.3.6 Zusätzliche Zulassungsprüfungen an mit dynamischen Bremsen ausgerüsteten Triebfahrzeugen und Zugverbänden

Um für Triebfahrzeuge und Zugverbände zugelassen zu werden, muss nachgewiesen werden, dass das Gleitschutzsystem die Anforderungen der Norm zu erfüllen vermag, wenn ein Triebfahrzeug mit kombinierter dynamischer und pneumatischer Bremse damit ausgerüstet ist.

Mit einem reduzierten Kraftschluss nach 7.3.2.1 muss eine Schnell- oder Betriebsbremsung (d. h. die höchste Bremsverzögerung, bei der sowohl die dynamische als auch die pneumatische Bremse aktiviert sind) ab Höchstgeschwindigkeit des Triebfahrzeugs/Zugverbands bis zum Stillstand ausgeführt werden, und zwar unter den folgenden Bedingungen:

- dynamische und pneumatische Bremsen kombiniert;
- nur die pneumatische Bremse (wenn das noch nicht durch die vorherige Typprüfung vollständig abgedeckt ist);
- Ausfall der dynamischen Bremse nach einer vollständigen Bremskraftentwicklung;
- dynamische und pneumatische Bremsen kombiniert;
- Durchführung einer SB nach einer Vollbremsung.

Die Kriterien von 7.1 müssen zur Auswertung der Ergebnisse angewendet werden. Die Prüfung wird als gültig angesehen, wenn das Kriterium bezüglich des Anfangshaftwerts von 8.1.3.2.2 erfüllt ist.

Die allgemeinen Bedingungen und der Anwendungsbereich der Prüfungen müssen für die Höchstbremskraft des Triebfahrzeugs gelten.

Die Beurteilungskriterien sind in 8.1.3 aufgelistet.

Wenn der dynamische Gleitschutzregler unabhängig vom pneumatischen Gleitschutzregler arbeitet und nicht im Rahmen der in 6.2.3 aufgeführten Prüfungen typgeprüft wurde, müssen die übrigen Prüfungen als Teil der Fahrzeugintegrationsprüfung durchgeführt werden.

### 6.2.4 Typprüfungen von Einzelkomponenten

#### 6.2.4.1 Gleitschutzregler

Die Typprüfung für den Gleitschutzregler muss eine Übereinstimmung mit den Anforderungen von 5.1 und 5.2 ergeben, wie sie in Anhang A dargelegt sind. Das Gerät muss in Übereinstimmung mit den einschlägigen Anforderungen aus EN 50125-1, EN 50155 und EN 50121-3-2 geprüft werden.

#### 6.2.4.2 Prüfungen von Peripheriekomponenten

##### 6.2.4.2.1 Allgemeines

Für eine Gleitschutzfunktion benötigte Peripheriekomponenten, wie ein Geschwindigkeitssensor und Gleitschutzventile, können individuellen Typprüfungen unterzogen werden, bei denen sich die Anforderungen von 5.2 für diese Komponenten unterscheiden. Diese Einzelkomponenten sind nicht einzeln zuzulassen.

##### 6.2.4.2.2 Dichtheitsprüfungen

Das Gleitschutzventil muss als Konstruktionsanforderung mit einem Druck von 4,0 bar auf seine Dichtheit; d. h. auf in die Atmosphäre entweichende Druckluft, geprüft werden. Es muss in drei Zuständen geprüft werden: im völlig stromlosem Zustand (4,0 bar am Ventilausgang) und mit einem Druck von 0,5 bar und 3,0 bar am Ventilausgang in der Position „Druck halten“.

Die Prüfungen müssen durchgeführt werden bei  $(70 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ,  $(-25 \pm 1) ^\circ\text{C}$  und bei  $(-40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ .

**Abnahmekriterien:** Keine in die Atmosphäre entweichende Luftmenge, die größer ist als die in Tabelle 8 angegebene.

**Tabelle 8 — Entweichende Luftmenge**

| Temperatur<br>°C | Druck am<br>Ausgang<br>bar | Ventilzustand                     | Höchste Grenabweichung<br>für die entweichende<br>Luftmenge<br>Nl/min |
|------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| +70 (± 5)        | 4,0                        | Ventil stromlos                   | 0,01                                                                  |
|                  | 3,0                        | Ventil in Position „Druck halten“ |                                                                       |
|                  | 0,5                        |                                   |                                                                       |
| −25 (± 1)        | 4,0                        | Ventil stromlos                   |                                                                       |
|                  | 3,0                        | Ventil in Position „Druck halten“ |                                                                       |
|                  | 0,5                        |                                   |                                                                       |
| +70 (± 5)        | 4,0                        | Ventil stromlos                   | 0,1                                                                   |
|                  | 3,0                        | Ventil in Position „Druck halten“ |                                                                       |
|                  | 0,5                        |                                   |                                                                       |

## **6.3 Fahrzeugintegrationsprüfung**

### **6.3.1 Allgemeines**

Mit der Fahrzeugintegrationsprüfung muss nachgewiesen werden, dass das geprüfte System die korrekten spezifischen Fahrzeugparameter hat und den Anforderungen unter realen oder künstlichen Bedingungen entspricht. Diese Prüfung muss sich auf die Anforderungen konzentrieren, die nicht in einer Typprüfung geprüft worden sind oder die beim Fahrzeug zu einem abweichenden Verhalten führen könnten.

Eine Fahrzeugintegrationsprüfung muss für jeden Fahrzeugtyp durchgeführt werden, es sei denn, die Konformität mit einem anderen Fahrzeugtyp, der bereits die Fahrzeugintegrationsprüfung durchlaufen hat, kann nachgewiesen werden.

Für spezifische Fahrzeugintegrationen können Prüfungen am Simulator durchgeführt werden, um die Anzahl von Fahrversuchen zu beschränken und die Systemleistung unter Bedingungen zu testen, die bei Prüfungen auf einem echten Gleis schwer zu erreichen sein können.

Im Rahmen einer Fahrzeugintegrationsprüfung zu prüfen (wo anwendbar):

- a) Gleitschutzfunktionen, einschließlich der Verlängerung des Anhaltewegs;
- b) Kompatibilität mit anderen Fahrzeugsystemen (z. B.
  - 1) dynamische Bremse;
  - 2) Magnetschienenbremse oder Wirbelstrombremse;
  - 3) Türsteuerung;
  - 4) Besandung;
  - 5) geschwindigkeitsbezogene Funktionen usw.);

- c) Display, Diagnose und Service-Funktionen am System oder an einer zentralen MMS;
- d) Rollüberwachungssystem;
- e) Interaktion von Gleitschutz- und Rollüberwachungssystemen;
- f) Übertragung von Sensordaten;
- g) Aktivierung der Gleitschutzventile vom Rollüberwachungssystem aus;
- h) Systemkommunikation.

### **6.3.2 Prüfprogramme**

Das vollständige Prüfprogramm ist in Anhang A aufgeführt.

Teile der Anforderungen der Fahrzeugintegrationsprüfung sind in 6.2.3, Tabelle 5, dargestellt.

Falls die Höchstgeschwindigkeit kleiner als eine der in den Zeilen der Tabelle aufgeführten ist, dann wird die Höchstgeschwindigkeit verwendet.

Fahrzeugintegrationen können im Beladungszustand „leer“, also mit dem Eigengewicht erfolgen, aber wenn das Verhältnis von Last zu Eigengewicht mehr als 2:1 beträgt, müssen die Prüfungen im Beladungszustand „leer“ und „überladen“ erfolgen.

Für Güterwagen sind alle Prüfungen (soweit zutreffend) im beladenen Zustand durchzuführen (18<sup>t</sup> Radsatzlast). Die Prüfungen nach Tabelle 5, Nr. 1, 2, 3 und 5, sind leer und beladen durchzuführen.

### **6.3.3 Konformität früherer Fahrzeugtests**

Wenn eine Fahrzeugintegrationsprüfung an einem anderen Fahrzeugtyp durchgeführt worden ist, brauchen die Funktionen, die bereits an diesem Fahrzeug geprüft worden sind, nicht wiederholt zu werden. Einzig und allein die Prüfungen sind erforderlich, die nachweisen, dass ein zwischen den Fahrzeugen unterschiedlicher Funktionsumfang nicht die Leistung des Gleitschutzsystems beeinträchtigt.

Zumindest die Bremswegprüfungen nach Tabelle 5, Nr. 2, 4, 5 und 6, müssen ausgeführt werden.

## **6.4 Wiederholungsprüfung**

### **6.4.1 Allgemeines**

Wenn ein zugelassenes System geändert wird, muss es eine Wiederholungsprüfung oder wiederholte Validierung durchlaufen, wenn eine der nachfolgenden Komponenten geändert wurde:

- Software (siehe 6.4.3);
- Geschwindigkeitssensor;
- Gleitschutzventil;
- elektronische Hardware.

## 6.4.2 Hardware

Die im Rahmen einer Wiederholungsprüfung oder wiederholten Validierung erforderliche Beurteilung der geänderten Hardware eines Gleitschutzsystems wird mittels Risikobeurteilung durch den Hersteller selbst (wo entsprechende Kapazitäten vorhanden sind) oder durch einen unabhängigen Gutachter vorgenommen. Wo durch die Änderung ein Sicherheitsrisiko für das System entstehen kann, muss diese Änderung unabhängig begutachtet werden.

Die erforderlichen Prüfstufen sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9 — Prüfanforderungen bei Änderungen einzelner Posten**

| <b>Geänderter Posten</b>                                                                                                                                         | <b>Erforderliche Prüfung/Validierung</b>                                                                                                               | <b>Erläuterungen/Anmerkungen</b>                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Geschwindigkeitssensor                                                                                                                                           | Validierung durch Dokumentation oder an einem Prüfstand für den Abschnitt der Typprüfung zur Signalerfassung, Signalverarbeitung und Sensorüberwachung | Die Dokumentation muss die vollständigen Signalschnittstellen, die Auswirkung auf die Signalverarbeitung und die Sensorüberwachung beinhalten                                                                   |
| Gleitschutzventil                                                                                                                                                | Validierung durch Dokumentation oder an einem Prüfstand für den Abschnitt zur Leistung des Gleitschutzventils und der Gleitschutzventilüberwachung     | Die Dokumentation muss den Vergleich der Durchflusseigenschaften, die vollständigen Signalschnittstellen, die Auswirkung auf den Betrieb des Gleitschutzventils und die Gleitschutzventilüberwachung beinhalten |
| Elektronischer Schaltkreis — erhebliche Änderung                                                                                                                 | Typprüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist                                           | Unabhängige Verifizierung der betroffenen Gleitschutzfunktion                                                                                                                                                   |
| Elektronische Hardware — Ersatz von einem oder mehreren Komponententeilen (elektronische Komponenten, Steckverbinder)                                            | Prüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist                                              | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen                                                                                                                                                         |
| Elektronische Hardware — Änderungen an der Elektronik, die nicht mit der Steuerung des Gleitschutzes zusammenhängt (Hinzufügen von Ein- oder Ausgangsdaten usw.) | Prüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist                                              | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen                                                                                                                                                         |
| Elektronische Hardware Änderung an der Anordnung der Elektronik                                                                                                  | Prüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist                                              | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen                                                                                                                                                         |
| Hardware Änderung der Elektronik, die mit der Steuerung des Gleitschutzes zusammenhängt                                                                          | Vollständige Typprüfung der elektronischen Hardware                                                                                                    | Neue Identifikationsnummer/neuer Name des Gleitschutzsystems                                                                                                                                                    |

### 6.4.3 Software

Die erneute Prüfung oder erneute Validierung, die für eine Änderung der Software erforderlich ist, ist in Tabelle 10 dargestellt.

**Tabelle 10 — Prüfanforderungen bei Änderungen von Software**

| Geänderter Posten                                                                                                                                              | Erforderliche Prüfung/Validierung                                                                         | Erläuterungen/Anmerkungen                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Änderung des Wertes eines Parameters (Raddurchmesser, Trägheit der rotierenden Massen, Steuerungsschwelle, Bremskraft, Filterkonstante usw.)                   | Prüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen      |
| Änderung der Software, die nicht mit der Steuerung des Gleitschutzes zusammenhängt (Hinzufügen einer Türsteuerung oder einer Magnetschienenbremsfunktion usw.) | Prüfung am Prüfstand für die Gleitschutzfunktion, die von der Veränderung des Schaltkreises betroffen ist | Dokumentation der am Prüfstand durchgeführten Prüfungen      |
| Änderung der Software, die mit der Steuerung des Gleitschutzes zusammenhängt (Prinzip der Berechnung von Geschwindigkeit oder Korrekturen usw.)                | Vollständige Typprüfung der elektronischen Hardware                                                       | Neue Identifikationsnummer/neuer Name des Gleitschutzsystems |

## 7 Prüfverfahren

### 7.1 Allgemeines

Die Bremsleistung auf trockener Schiene muss in Übereinstimmung mit dieser Spezifikation bestimmt werden. Die erforderliche Bremsleistung auf trockener Schiene (ohne Gleitschutzaktivität) ist für die unterschiedlichen Bremsstellungen in 6.2.3 angegeben.

Bremswegprüfungen für Reisezugwagen und Zugverbände müssen in deren unbeladenem Zustand erfolgen. Güterwagen müssen unbeladen und mit ihrer Radsatzhöchstlast geprüft werden.

Weiterhin muss für jede Prüfung der relative Luftverbrauch berechnet und im Prüfbericht vermerkt werden. Das hierfür genutzte Berechnungsverfahren darf mit dem Verfahren, wie in 8.1.3.2 beschrieben, übereinstimmen oder es darf auch auf einer direkten Ermittlung des Druckverlaufs im Bremszylinder während des Bremsvorgangs basieren; siehe hierzu Bild 4 (in diesem Fall ist kein Zusatzbehälter notwendig, weil der Luftabsperrhahn nicht geschlossen ist).

Falls das Prüffahrzeug mit kraftschlussunabhängigen Bremsen ausgerüstet ist, müssen diese Bremsen ausgeschaltet werden. Bei bestimmten Prüfungen müssen diese Bremsen aktiviert werden und der Gleitschutz muss ordnungsgemäß funktionieren.

Wenn das Fahrzeug mit einer für den Gleitschutz aktivierten Besandungsanlage ausgerüstet ist, muss diese abgeschaltet werden. Bei bestimmten Prüfungen muss die Besandungsanlage aktiviert werden und der Gleitschutz muss ordnungsgemäß funktionieren.

### 7.2 Messung

Wenn der Gleitschutz zusätzliche Schaltsignale für Hilfsfunktionen bereitstellt, müssen diese während der Prüfungen mit und ohne Besprühen bei Bremsprüfungen sowohl auf besprühter als auch auf trockener Schiene überwacht werden.

Es wird empfohlen, ein Wegmesssignal aufzuzeichnen, sodass es möglich ist, die zurückgelegten Strecken zu bestimmen.

Anhang E zeigt ein typisches Diagramm mit den verschiedenen Stadien einer Bremsprüfung.

Der Wirkung einer kraftschlussunabhängigen Bremse muss während dieser Prüfungen in Form einer Energiekomponente aufgezeichnet werden oder, wenn ihre Bremskraft nicht gemessen werden kann, in Form eines digitalen oder analogen Signals (z. B. Erregerstrom).

Die Bestimmungen aus 6.2.4.1 und 7.3 müssen angewendet werden. Während der Prüfungen muss beispielsweise der Motorstrom oder eine andere, der dynamischen Bremskraft proportionale Größe aufgezeichnet werden.

Folgendes muss mindestens während der Prüfung des Gleitschutzsystems gemessen/aufgezeichnet/beurteilt und sollte (wo anwendbar) kontinuierlich während der gesamten Prüfzeit aufgezeichnet werden.

- a) Umgebungsbedingungen;
- b) Prüfparameter;
- c) Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_i$ ;
- d) Fahrzeugverzögerung;
- e) Zeit;
- f) Beginn der Bremsung;
- g) Bremsausgangsgeschwindigkeit;
- h) Anhalteweg;
- i) Zeit bis zum Stillstand des Fahrzeugs (Bremszeit);
- j) Referenzgeschwindigkeit  $v_{ref}$  (falls zur Gleitschutzregelung oder für externe Systeme genutzt);
- k) Aktivierung der Gleitschutz-/Steuerventile; (und äquivalenter Steuersignale für andere Arten von Bremssystemen);
- l) Bremszylinderdruck/-kraft, gemessen hinter den Gleitschutzventilen, sowie die Bremskraft der dynamischen Bremsen;
- m) Bremsenergiespeicherung (z. B. für einen Druckluftbremsvorgang – Druck im Hilfsluftbehälter/BSR) und (wo anwendbar) zu Beginn und am Ende der Bremsung (Abhängeversuche);
- n) Druck in der Hauptdruckluftversorgung (und dem Äquivalent bei anderen Bremssystemen);
- o) Neigung des Gleises;
- p) Maßnahmen zur Behandlung der Schienen, um einen verminderten Kraftschluss zu erzeugen;
- q) Umfangsgeschwindigkeit aller Radsätze an einem Fahrzeug. Bei Zugverbänden die Umfangsgeschwindigkeit aller Radsätze, die je nach Gleitschutzkonstruktion relevant sind;
- r) Zusätzliche Steuersignale (Magnetschienenbremse, Türen, Besandungsanlage, Unterdrückung der dynamischen Bremse usw.);
- s) Eingangssignale (Verfügbarkeit der dynamischen Bremse, weitere Daten zum Fahrzeugzustand, usw.);

- t) Ausgangssignale (Türen, Magnetschienenbremse, Besandungsanlage, Unterdrückung der dynamischen Bremse usw.).
- u) Radschaden (nicht rotierende Räder).

Folgende Größen müssen im Stillstand nach der Prüfung gemessen werden:

- v) Schienen- und Umgebungstemperatur.

Für eine zusätzliche Zulassungsprüfung für Geschwindigkeiten > 200 km/h müssen mindestens die folgenden Parameter während der Prüfungen aufgezeichnet werden:

- die Umfangsgeschwindigkeit der ersten vier Triebradsätze;
- die ersten vier Laufradsätze;
- die Werte, wie sie nach 7.1 erforderlich sind;

und dort, wo die entsprechende Ausrüstung vorhanden ist:

- die Kräfte von der dynamischen Bremse, wo diese betriebsbereit ist.

Siehe Anhang E, wo aufgezeigt ist, wie die Signale aufgezeichnet werden können.

Für jede Prüfung müssen im Bericht die Wetterbedingungen und die Strecke als Funktion der Zeit angegeben werden.

## 7.3 Prüfungen am Fahrzeug

### 7.3.1 Allgemeines

Vor jeder Prüfreihe (höchstens 10 Prüfungen in Folge) und wenn die Bremsausgangsgeschwindigkeit größer als 100 km/h ist, müssen die Räder des Prüffahrzeugs über einen Abschnitt von mindestens 20 km regeneriert werden, um den üblichen Zustand des Rades wiederherzustellen, in dem dieses sich bei Auslösen der Bremse befindet.

Die verschiedenen Prüfreiheiten müssen, wenn möglich, an verschiedenen Gleisabschnitten durchgeführt werden. Falls die Untersuchungen auf demselben Abschnitt durchgeführt werden, müssen Unterbrechungen eingeplant werden, um auf dem Streckenabschnitt zwischenzeitlich durch Zugbewegungen oder (oder auf andere Weise) wieder normale Kraftschlussbedingungen herzustellen.

Ein Zusatzbehälter muss bei Abhängeversuchen zur Verfügung gestellt werden, um zu verhindern, dass der Druck im Hilfsluftbehälter unterhalb des Wertes fällt, der dem Zylinderhöchstdruck in der jeweiligen Bremsstellung während der Prüfungen mit Nachfüllen entspricht.

### 7.3.2 Erzeugung eines verminderten Kraftschlusses

#### 7.3.2.1 Erzeugung eines geringen Kraftschlusses

Die Schienen müssen mit einer Lösung besprüht werden, um einen geringen Kraftschluss und anschließend in einer zweiten Reihe von vier Versuchen einen sehr geringen Kraftschluss zu erzeugen (siehe 7.3.2.2), wenn letztere Prüfung nicht an einem Simulator durchgeführt wird.

Die Flüssigkeit zur Reduzierung des Kraftschlusses muss eine wässrige Seifenlösung auf der Basis einer Fettsäure oder eines Tensids in einer Konzentration unter 15 % und ohne mineralische Füllstoffe sein. Die Seifenlösung (das Detergens) muss biologisch abbaubar, leicht mit Wasser mischbar und sicher im Gleis zu entsorgen sein.

Die minimale Konzentration des Detergens (1 Liter Wirkstoff auf 100 Liter Wasser) sollte einen Kraftschlusswert  $\tau_a$  zwischen 0,05 und 0,08 während der ersten Bremsphase ermöglichen. Ein mögliches Auftreten eines ersten Spitzenwertes des Kraftschlusses muss dabei unberücksichtigt bleiben. Erfahrungen haben gezeigt, dass die minimale Konzentration des Gemischs so sein sollte, dass auf 100 l Wasser mindestens 1 l des Mittels verwendet wird. Die Lösung muss mit einer durch einen Wasserdruck von 0,1 bar bis 0,2 bar erzeugten Durchflussgeschwindigkeit von 0,12 l/s bis 0,19 l/s pro Düse vor jedem Rad des ersten Radsatzes auf die Schienen aufgebracht werden. Die Düsen mit jeweils 8 mm Durchmesser müssen in Längsrichtung der Schiene in einem Abstand von 70 mm sowohl vom Rad als auch der Schiene montiert werden. Wechselnde Kraftschlusswerte werden durch wechselweises Ein- und Ausschalten der Sprühhvorrichtung erreicht. Erfahrungen zeigen, dass die Flüssigkeitsmenge für Prüfungen bei Geschwindigkeiten > 160 km/h durch Hinzufügen einer zweiten Düse vor jedem Rad des Treibradsatzes verdoppelt werden sollte. Bei 160 km/h sollte die zweite Düse abgeschaltet werden.

Das Auswertungsverfahren für den geprüften Kraftschlusswert ist in 8.1.3.1 und Bild 3 beschrieben, wo es um die Auswertung von Abhängeversuchen geht.

Während der Abhängeversuche müssen die Schienen mindestens für eine Zuglänge vor dem Punkt, an dem die Bremsen angelegt werden, und über die gesamte Länge des Bremsweges besprüht werden.

### **7.3.2.2 Erzeugung eines sehr oder extrem geringen Kraftschlusses**

Die Bedingungen am Schienenkopf können für den Fahrversuch durch Aufbringen (Sprühen oder direktes Aufbringen) von Öl oder Seife anstelle einer wässrigen Lösung bzw. einem geeigneten Ersatzstoff aus biologisch abbaubarem Material simuliert werden (z. B. Papierstreifen auf der Schiene); alternativ können die Bedingungen an einem Prüfstand simuliert werden.

### **7.3.2.3 Sprühvorgang in Intervallen**

Mit dem Sprühvorgang in Intervallen wird beabsichtigt, die Radsätze zum Gleiten zu bringen und die Zuggeschwindigkeit wiederherzustellen. Die Intervalle, in denen ein Sprühvorgang läuft, sollten für das spezifische Fahrzeugmodell gewählt werden, um das Gleiten und die Wiederherstellung der Geschwindigkeit zu erreichen.

## **7.3.3 Umweltbedingungen**

### **7.3.3.1 Allgemeines**

Die Gleitschutzprüfungen am Fahrzeug müssen bei gemäßigten Umgebungstemperaturen durchgeführt werden (zwischen 5 °C und 25 °C); die Prüfungen dürfen nicht bei Schnee durchgeführt werden. Die Temperatur der Schienenoberfläche muss nach jeder Prüfung aufgezeichnet werden und muss zwischen 5 °C und 35 °C liegen.

Die Leistung der Gleitschutzanlage muss in einer Reihe von Bremsprüfungen auf ebenem geradem Gleis beurteilt werden. Das Gleis kann als eben angesehen werden, wenn der mittlere Gradient maximal  $\pm 3 \text{ ‰}$  beträgt mit einem Höchstwert des Gradienten von  $\pm 5 \text{ ‰}$ . Ein Gleis kann als gerade angesehen werden, wenn der Kurvenradius größer ist als 5 000 m.

### **7.3.3.2 Abhängeversuch**

Abhängeversuche können durchgeführt werden, um damit die Gleitschutzanlage auf einem Einzelfahrzeug zu prüfen.

### **7.3.3.3 Schleppversuch**

Die allgemeinen Bedingungen für diese Prüfung sind dieselben wie die für die Abhängeversuche.

### **7.3.3.4 Druckluftversorgung**

Um die Unerschöpfbarkeit des Bremsdrucks zu garantieren, muss durch entsprechende Maßnahmen sichergestellt werden, dass der Hilfsluftbehälter genügend Druckluft bereithält, sodass in den Bremszylindern der Höchstdruck für alle Prüfungen (Tabelle 5, Prüfung Nr. 2 und 4) in allen Bremsstellungen zur Verfügung steht und der berechnete Druckpegel erreicht wird.

Um die Unerschöpfbarkeit der Bremse zu garantieren, muss durch entsprechende Maßnahmen für die Prüfungen sichergestellt werden, dass der Hilfsluftbehälter genügend Druckluft bereithält, damit für Bremsungen auf trockener Schiene in allen Bremsstellungen der Höchstdruck in den Bremszylindern zur Verfügung steht.

## **7.4 Prüfung in Simulationsumgebung**

### **7.4.1 Allgemeines**

Simulationsprüfstände sollten, wo dies technisch möglich ist, im Typprüfungsprozess genutzt werden, aber auch während der Validierung nach Änderungen an vorhandenen Systemen. Ein Simulationsprüfstand muss realitätsgetreu die Neigung des Gleises, die Kraftschlussbedingungen, Fahrzeugparameter usw. abbilden und anhand von Ergebnissen praktischer Prüfungen validiert worden sein. Die Konstruktionsanforderungen an einen Simulationsprüfstand sind in Anhang B festgelegt. Das Prüflabor, in dem sich die Prüfeinrichtung befindet, muss in Übereinstimmung mit EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein und die Anforderungen, wie in Anhang B beschrieben, erfüllen.

Mit der Durchführung von Prüfungen an einer Simulationseinrichtung ist beabsichtigt, die Anzahl der erforderlichen Fahrversuche zu reduzieren; diese Prüfungen können bei folgenden Anforderungen besonders nutzbringend eingesetzt werden:

- bei einer den Fahrversuchen vorausgehenden ersten Optimierung der Gleitschutzanlage;
- als Ersatz für Fahrversuche, die betriebsbedingte Einschränkungen zur Folge hätten, wie z. B. Hochgeschwindigkeitsfahrversuche oder betriebsbedingte Gleiszugangsbeschränkungen;
- zur notwendigen Anpassung von Gleitschutzparametern an die Fahrzeugkonstruktion, wie z. B. bei signifikanten Abweichungen zwischen der Massenträgheit der Radsätze eines gezogenen Fahrzeugs und der eines Triebfahrzeugs desselben Fahrzeuggrundtyps;
- zur Anpassung der Gleitschutzparameter bei Verwendung des Gleitschutzes in einem anderem Fahrzeugtyp als dem, für den er ursprünglich zugelassen worden ist;
- zur Beurteilung der Auswirkung einer Besandungsanlage oder anderer Systeme, die einen Einfluss auf die Leistung der Gleitschutzanlage haben könnten;
- als Teil einer nachträglichen Untersuchung eines Störfalls.

Die Leistungskriterien, die das zu beurteilende Gleitschutzsystem zu erfüllen hat, sind in 8.2.1 und 8.2.2 dargestellt.

### **7.4.2 Prüfungen am Simulationsprüfstand**

#### **7.4.2.1 Validierung der Simulation für ein spezifisches Fahrzeugmodell**

Vor Beginn des Prüfprogramms muss die Genauigkeit der Fahrzeugmodellsimulation validiert werden, indem die vom Computermodell prognostizierte Bremsleistung mit realen Fahrversuchsdaten für diesen bestimmten Typ von Schienenfahrzeug verglichen werden.

Diese Validierung muss auch die Fähigkeit der Simulation mit einschließen, Verhalten zu detektieren, welches potentiell entstehen kann, wenn Gleitschutzeinheiten eines Zuges untereinander kommunizieren.

Sollte der Simulator nicht in der Lage sein, den gesamten für die Gleitschutzsteuerung relevanten Teil des Zuges zu simulieren, müssen diese Funktionen in der Fahrzeugintegrationsprüfung geprüft werden.

Die Validierung der Simulation muss bei einem Kraftschlussprofil durchgeführt werden, bei dem der Kraftschluss durchweg höher ist als der Kraftschluss, der die höchste Bremsverzögerung des Fahrzeugs aufrechterhält (d. h. wie bei guten, trockenen Bedingungen). Wenn keine Fahrversuchszahlen verfügbar sind (z. B. bei neuen Fahrzeugen), dürfen die vom Zugbremsenkonstrukteur/-lieferanten prognostizierten/errechneten Anhaltewege auf trockener Schiene für den Validierungsprozess herangezogen werden.

Das Kraftschlussprofil muss als Reibungskoeffizient des Schienenkopfes auf eine bestimmte Gleisstrecke beschrieben sein. Dabei werden sich diese Werte mit dem Radschlupf des Rades ändern. Um die vollständige Simulation des Reibmaterials mit Geschwindigkeit und Anpresskraft zu verifizieren, muss auch eine Prüfung mit einer geringen Bremsanforderung durchgeführt und anhand berechneter oder gleisbasierter Daten beurteilt werden.

Die Prüfung(en) muss (müssen) für jeden Fahrzeugtyp jeweils für einen der Beladungszustände „leer“ und für einen der Beladungszustände „beladen“ nach EN 15663 durchgeführt werden, und zwar aus einer Bremsgeschwindigkeit, die auf Messungen aus Fahrversuchen oder auf Berechnungsdaten beruhen. Dies muss die höchste Betriebsgeschwindigkeit des Fahrzeugs sein. Die Fahrzeugmodellsimulation muss als zulässig angesehen werden, wenn der (die) prognostizierte(n) Anhalteweg(e) auf  $\pm 5\%$  mit den bei Fahrversuchen auf trockener Schiene erreichten Anhaltewegen bzw. den Berechnungen der Lieferanten von Bremsanlagen übereinstimmen.

#### **7.4.2.2 Prüfungen am Simulator**

Für Simulationsprüfungen ist es höchst wünschenswert, wenn folgende Anforderungen erfüllt würden:

- a) auf die Schiene aufgebrachtes Detergens (siehe 7.3.2.1);
- b) Schmierfilm durch Laub (siehe 7.4.3.1);
- c) Vorhandensein von Wasser (Feuchtigkeit, Nebel, Sprühregen usw.).

Während die Räder des zu prüfenden Fahrzeugs gleiten, verändern sie den Kraftschluss zwischen Rad und Schiene, sodass es notwendig ist, diesen Konditionierungseffekt zu erzeugen.

Die Kraftschlusswerte müssen dem entsprechen, wie es durch die gewählten Verunreinigungs- und Kraftschlusskriterien definiert ist.

#### **7.4.3 Kundenspezifische Prüfungen am Simulator**

##### **7.4.3.1 Allgemeines**

Zusätzlich zu den verbindlichen Prüfungen können Kunden oder Eisenbahnunternehmen/Betreiber Prüfungen durchführen lassen, um die Leistung der Gleitschutzanlage zu optimieren und so die besonderen Anforderungen der Strecke(n) zu erfüllen, für die sie den Gleitschutz zu nutzen beabsichtigen. Infrastrukturbetreiber können verbindliche Netzzugangskriterien festlegen. In einigen Mitgliedsstaaten sind Gegebenheiten vorzufinden, für die das übliche gleisbasierte Vorgehen bei der Optimierung des Gleitschutzes keinen zufriedenstellenden Schutz gegen Radschäden während des Betriebs bietet.

Die Mitgliedsstaaten dürfen die Durchführung landesspezifischer Prüfungen verlangen, die eine Simulation verwenden, die auf einem Laubschmierfilm mit wechselnden und konstanten Kraftschlussbedingungen beruhen. Diese Prüfungen beabsichtigen, die Leistung des Gleitschutzsystems für sehr geringen und extrem geringen Kraftschluss zu beurteilen. Einige Mitgliedsstaaten können sogar zusätzliche Prüfungen als Teil der Streckenfreigabe verlangen. Die länderspezifischen Prüfungsinformationen im Anhang C sind beigelegt als Beispiel für ein bewährtes Verfahren in Großbritannien.

Die zusätzlichen Prüfungen für die Streckenfreigaben sind in Anhang C festgelegt.

Eine Auswertung im Vergleich mit wechselnden Kraftschlussprofilen aus realen Betriebsbedingungen hat dazu geführt, dass die Optimierung des Gleitschutzsystems verbessert und das Ausmaß der Radschäden reduziert werden konnte.

In einigen Fahrzeugen wird der Gleitschutz genutzt, um externe Geräte zu steuern, d. h. Türsysteme. Es ist zweckdienlich, die Steuerung dieser Geräte durch den Gleitschutz bei einer begrenzten Anzahl separater Prüfungen zu prüfen. Es existieren darüber hinaus spezielle Geräte, wie Besandungsanlagen, die direkt mit dem Gleitschutz interagieren. Auch hier ist es zweckdienlich zu prüfen, wie sich der Betrieb dieser Systeme auf die Leistung der Gleitschutzanlage auswirkt. Diese optionalen Prüfungen sind in Anhang D berücksichtigt.

#### **7.4.3.2 Natürlich entstehender wechselnder Kraftschluss**

Diese Prüfungen stellen eine Reihe von Kraftschlussprofilen bereit, die die realen Betriebsbedingungen so genau wie möglich abbilden. Die Profile sollten derart ausgewählt werden, dass sie einen breiten Bereich von normalem (über 0,1), geringem (0,05 bis 0,1) bis sehr geringem (unter 0,05) Kraftschluss abbilden, der sich kontinuierlich über der Gleisposition verändert, so wie er auch natürlicherweise auftritt. Um sicherzustellen, dass die Gleitschutzprüfung so präzise wie möglich verläuft, sollten einige Profile mit einem geringen oder sehr geringen Kraftschluss beginnen und dann im Verlauf des Profils zu höherem Kraftschluss wechseln, während andere Profile genau umgekehrt konfiguriert sein sollten. Die Anzahl der Kraftschlussänderungen über der Gleisposition sollte realistisch die Anzahl der Kraftschlussänderungen widerspiegeln, zu denen es im Betrieb kommt, z. B. wenn ein Zug aus einem Abschnitt mit feuchten laubbedeckten Schienen auf offenes Land mit trockenen Schienenköpfen herausfährt.

Da die Kraftschlussprofile wechselnde Kraftschlussbedingungen abbilden, ist es nicht möglich, sie durch einen einzigen Kraftschlusswert zu kategorisieren. Sie werden daher am besten durch den Schweregrad und die Häufigkeit der Kraftschlussänderung kategorisiert. Dabei werden sie in drei Gruppen unterteilt:

- Kategorie 1 – am häufigsten, aber mit geringstem Schweregrad, führen zu Anhaltewegen von weniger als 1 545 m;
- Kategorie 2 – weniger häufig, aber mit höherem Schweregrad, führen zu Anhaltewegen zwischen (1 545 bis 1 745) m.
- Kategorie 3 – geringste Häufigkeit, aber mit höchstem Schweregrad, führen zu Anhaltewegen von mehr als 1 745 m.

Jeder Datensatz wird anhand des erreichten Bremswegs kategorisiert. Hierbei wird ein einfaches 4-achsiges Fahrzeugmodell (Standard Reisezugwagen in Übereinstimmung mit EN 15179) zugrunde gelegt. Das Modell ist mit einem idealisierten Gleitschutz ausgerüstet und wird bei einem konstanten Schlupf von 5 % aus einer Geschwindigkeit von 145 km/h bis zum Stillstand abgebremst.

Die ausgewählten Kraftschlussprofile werden verwendet, um zu ermitteln, ob die Gleitschutzanlage:

- den verfügbaren Kraftschluss effektiv ausnutzt (minimale Verlängerungen des Anhaltewegs);
- den Radschaden minimiert (keine blockierenden Räder/minimaler martensitischen Radschaden bei massiv auftretendem Gleiten des Rades);
- die installierte Druckluftkapazität effektiv nutzt (minimaler Druckluftverbrauch);
- eine gute Regelung der internen Referenzgeschwindigkeit der Gleitschutzanlage zeigt (unnötiges Entlüften verhindert).

Diese Kriterien werden in Anhang C detaillierter beschrieben.

#### **7.4.4 Optionale Prüfungen**

Es gibt optionale Prüfungen, die für das Gleitschutzsystem ausgeführt werden können, und zwar für Besandungsanlagen, Schnittstellen zur dynamischen Bremse und Peripherie-Ausrüstungen, die in Anhang D detailliert festgelegt sind.

### **7.5 Prüfen der Rollüberwachung**

Die Rollüberwachungsfunktion muss an einem Prüfstand oder an einem Fahrzeug geprüft werden durch die Simulation eines blockierenden Radsatzes; das geschieht durch eine Verfälschung des vom Geschwindigkeitssensor der Rollüberwachung erzeugten Ausgangssignals.

## **8 Auswertung der Prüfung**

### **8.1 Prüfung an Fahrzeugen**

#### **8.1.1 Berichtigung der Anhaltewege**

Der Anhalteweg, der in Versuch "j" erreicht wurde, muss durch die Berücksichtigung folgender Faktoren berichtigt werden:

- Nenngeschwindigkeit in Bezug auf die Anfangsgeschwindigkeit, die in dem jeweiligen Versuch gemessen wurde;
- Neigung des Prüfgleises.

Die Berichtigung muss durch die Anwendung folgender Formeln durchgeführt werden:

$$\frac{v_{j,nom}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j,corr}} = \frac{v_{j,meas}^2}{2 \times 3,6^2 \times s_{j,meas}} - \frac{g}{\sigma} \times \frac{i'_m}{1000} \quad (4)$$

Die Umwandlung ergibt Folgendes:

$$s_{j,corr} = \frac{3,933 \times \sigma \times v_{j,nom}^2}{3,933 \times \sigma \times v_{j,meas}^2 - i'_m \times s_{j,meas}} \times s_{j,meas} \quad (5)$$

und

$$i'_m = i_m + W_{BO} \quad (6)$$

Dabei ist

- $s_{j,corr}$  der berichtigte Bremsweg (welcher der Nenngeschwindigkeit entspricht) in Prüfung j, in m;
- $s_{j,meas}$  der Bremsweg, gemessen in Prüfung j, in m;
- $v_{j,nom}$  die nominale Bremsausgangsgeschwindigkeit in Versuch j, in km/h;
- $v_{j,meas}$  die Bremsausgangsgeschwindigkeit in Versuch j, in km/h;
- $i'_m$  der mittlere äquivalente Neigung über  $s_{j,meas}$  auf dem Prüfgleis, in ‰;
- $i_m$  die mittlere Neigung über  $s_{j,meas}$  auf dem Prüfgleis, mit dem Pluszeichen für Steigungen und dem Minuszeichen für Gefälle, in ‰. Für Prüfungen an Zügen ist die Neigung unter Bezugnahme auf den Schwerpunkt des Zuges zu bestimmen;

$W_{B0}$  der mittlere Kurvenwiderstand über  $s_{j,meas}$  des Prüfgleises. Für Prüfungen in Kurven mit einem Radius zwischen 1 000 m und 5 000 m ist der mittlere Kurvenwiderstand unter Verwendung von  $W_{B0} = 650/(r-55)$ , in N/kN, zu berechnen. Wenn der Radius mehr als 5 000 m beträgt, wird der Kurvenwiderstand vernachlässigt;

$\sigma$  das Trägheitsmoment der „rotierenden Massen“, welches wie folgt definiert ist:

$$\sigma = 1 + \frac{m_r}{m} \quad (7)$$

Dabei ist

$m$  die Masse des Prüfzugs oder -fahrzeugs;

$m_r$  die äquivalente Masse der rotierenden Komponenten.

Ist kein genauer Wert bekannt, muss  $\sigma = 1,12$  für Lokomotiven,  $\sigma = 1,08$  für angetriebene Radsätze von Triebzügen und  $\sigma = 1,04$  für Reisezugwagen und nicht angetriebene Radsätze verwendet werden.

$i$  Gradient über  $s_{j,meas}$  auf dem Prüfgleis, welcher positiv (+) für eine Steigung und negativ (-) für ein Gefälle ist, in mm/m.

Die folgenden zwei Kriterien müssen verifiziert werden, um die Prüfung zu validieren:

a)  $|i| < 5$  mm/m, und

b)  $|v_{j,meas} - v_{j,nom}| \leq 4$  km/h.

### 8.1.2 Anzahl und Gültigkeit von Prüfungen auf trockener Schiene

Mindestens vier gültige Versuche müssen durchgeführt werden, von denen dann der mittlere Bremsweg berechnet werden muss. Alle erreichten Anhaltewege müssen in Übereinstimmung mit 8.1.1 berichtet werden.

Der Mittelwert ist zulässig, wenn er beide der folgenden Kriterien erfüllt:

#### — Kriterium 1:

$$\frac{\sigma_n}{\bar{s}} \leq 3,0\% \quad (8)$$

Dabei ist

$\sigma_n$  die Standardabweichung der Probe;

$\bar{s}$  der Mittelwert der Probe.

#### — Kriterium 2:

$$|\text{Extremwert } (s_e) - \text{Mittelwert } (\bar{s})| \leq 1,95 \times \sigma_n \quad (9)$$

mit