

## LO 3.2.1-3

Systemführerschaft Interaktion Fahrzeug/Fahrweg Meterspur

Projekt: 3 Grundlagen Rad / Schiene

Modul: 3 Kontaktmechanische Interaktion

# Schadenskatalog Interaktion – Kontaktflächen Rad und Schiene



|                     |                                                                          |                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| ID:                 | RAILplusSF-00066                                                         | LO nicht in BAV Detailziel |
| Datum / Status:     | 13.04.2025 / Im Freigabeprozess                                          | Seitenanzahl 64            |
| Öffentlichkeitsgrad | Öffentlich                                                               |                            |
| Verfasser:          | Alessandro Bianchi / Rhätische Bahn AG<br>Lukas Sing / Rhätische Bahn AG |                            |
| Geprüft:            | Roland Müller / Gleislauftechnik Müller                                  |                            |
| Freigegeben:        | Friedrich-Christian Walther / Zentralbahn                                |                            |

Zitierweise: Alessandro Bianchi, RAILplus/Rhätische Bahn & Roland Müller, Gleislauftechnik Müller:  
*Schadenskatalog Interaktion – Kontaktflächen Rad und Schiene*. Technischer Bericht, RAILplusSF-00066, 13.04.2025

## Änderungsverzeichnis

| Version | Datum      | Verantwortlich              | Beschreibung                                        |
|---------|------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0.1     | 06.10.2023 | Alessandro Bianchi          | Erster Entwurf                                      |
| 0.2     | 19.12.2024 | Alessandro Bianchi          | Bereinigter Entwurf                                 |
| 0.3     | 24.02.2025 | Roland Müller               | Geprüft                                             |
| 1.0     | 13.04.2025 | Friedrich-Christian Walther | Schlussbereinigung und Freigabe durch Projektleiter |
|         |            |                             |                                                     |
|         |            |                             |                                                     |

## Freigabe durch die Systemführerschaft

| Version | Datum      | Verantwortlich   |
|---------|------------|------------------|
| 1.0     | 20.05.2025 | Technical Board  |
| 1.0     | 05.06.2025 | Management Board |

## Management Summary

### Ausgangslage

Zuvor gab es kein Dokument, das die durch den Kontakt von Rad und Schiene verursachten Schäden an den Radlaufflächen und an den Schienenfahrflächen der Meterspurbahnen anhand von codierten Fehlerbeschreibungen übersichtlich zusammenfasst. Dieses Dokument wird den Ingenieuren sowie den Fachleuten im Bereich Interaktion Rad-Schiene als Werkzeug dienen, mit dem sie anhand von Bildern die unterschiedlichen Schäden an Rad- und Schienenfahrflächen vergleichen und beurteilen sowie deren Ursachen eingrenzen können.

### Hauptergebnisse und Fazit

Da das Thema bereits in zahlreichen Forschungsarbeiten, Normen, Regelwerken insbesondere in der Normalspur aufgegriffen und publiziert wurde, fasst das vorliegende Dokument diese zusammen und verweist auf die verschiedenen Quellen. Die vorwiegend aus dem Bereich der Normalspur stammenden Schädigungen und deren Merkmale wurden hier übernommen und ggf. an den Bereich der Meterspur angepasst.

In diesem Schadenskatalog wird von Schäden ausgegangen, die durch die Interaktion zwischen Rad und Schiene entstehen. Als Schäden werden in diesem Dokument ausserordentlich starker Verschleiss sowie Risse an den Fahrflächen von Rädern und Schienen, die sich ausbreiten können, behandelt. Solche Schäden beeinträchtigen massgeblich die Kosten für die Bearbeitung der Fahrflächen (Schleifen und Fräsen bei den Schienen sowie Reprofilieren der Räder) und die Kosten als Folge der verkürzten Lebensdauer der Komponenten. Verschleiss lässt sich bei den beiden Berührpartnern nicht vermeiden. Solange sich dieser im sogenannten «milden» Bereich bewegt, sind die Auswirkungen in einem annehmbaren Bereich. Viele Schädigungen an den Kontaktflächen sind eine Folge der Werkstoffermüdung und deshalb auf die Kontaktmechanik Rad/Schiene zurückzuführen. Sie manifestieren sich durch Bildung von Rissen. Wenn diese Risse wachstumsfähig sind und in der Folge durch den Verschleissabtrag nicht an ihrem Fortschreiten behindert werden, so müssen diese in einem Frühstadium erkannt und beseitigt werden. Nicht wachstumsfähige Risse können jedoch an den Fahrflächen belassen werden.

Im Gegensatz zu den Rissen als Folge der Kontaktmechanik sind thermische Risse aus der Interaktion von Klotzbremse und Rad immer wachstumsfähig und führen im fortgeschrittenen Stadium immer zum Radbruch. Schäden, die rein durch Rad- und Schienenherstellung, übermässigen Verschleiss (z.B. Hohllauf), Witterungseinflüsse (z.B. Korrosion) sowie durch die Bearbeitung (z.B. Schienenschweissung) entstehen, werden nicht berücksichtigt, da die Ursache nicht in der Kontaktmechanik zwischen Rad und Schiene, sondern in externen Faktoren liegt.

Auf der Grundlage der Literatur wurde auch der Fehlercode übernommen, um eine eindeutige Codierung für Rad- (*Fehlercode R-xxxx*) und Schienenschäden (*Fehlercode S-xxxx*) festzulegen. Dies ermöglicht eine Vereinheitlichung der Fach-Terminologie in diesem Bereich, um den Informations- und Meinungsaustausch für die Meterspurbahnen zu erleichtern. Das Dokument gibt auch Hinweise dazu, welche Schädigungen zum Beispiel auf die Trassierungsgegebenheiten, auf die Bedienung des Fahrzeugs, auf die Qualitäten der Rad- und Schienenwerkstoffe und auf andere Gründen zurückzuführen sind. Auf diese Weise können die Mitarbeiter der Meterspurbahnen geschult und gezielte Massnahmen zur Minderung dieser Art von Schäden ergriffen werden.

### Empfehlungen

Durch die aktive Zusammenarbeit der Meterspurbahnen und den daraus eingebrachten konkreten Beispielen (z.B. Beschreibungen oder Bilder) bildet der Katalog die Schädigungen in den Kontaktflächen von Rad und Schiene im spezifischen Anwendungsbereich der Meterspurbahnen durch den fortlaufenden Erfahrungsrückfluss aus der Praxis immer präziser ab. Die direkte Einbindung der Bahnen zielt auch darauf ab, das Know-how innerhalb der Branche zu verstärken. Beim vorstehenden Schadenskatalog handelt es sich um eine lebende bzw. dynamische Dokumentation, welche durch kontinuierliche Bearbeitung aktuell gehalten wird. Der *Schadenskatalog Interaktion – Kontaktflächen Rad und Schiene* beschränkt sich bewusst auf die im direkten Kontakt zueinanderstehenden Bereiche. Die übrigen Bereiche der Räder und der Schienen im Anwendungsbereich der Meterspurbahnen werden in weiteren zum Teil schon bestehenden bzw. im Aufbau befindlichen Dokumenten behandelt.

## Inhalt

|          |                                                                                                              |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung.....</b>                                                                                       | <b>7</b>  |
| 1.1      | Problemstellung .....                                                                                        | 7         |
| 1.2      | Aufgabenstellung .....                                                                                       | 7         |
| 1.3      | Abgrenzung.....                                                                                              | 7         |
| 1.4      | Vorgehenskonzept .....                                                                                       | 7         |
| <b>2</b> | <b>Schädigungsmechanismen aus der Kontaktmechanik .....</b>                                                  | <b>9</b>  |
| 2.1      | Initiierung der Risse.....                                                                                   | 10        |
| 2.1.1    | <i>Initiierung der Risse unter der Oberfläche .....</i>                                                      | <i>11</i> |
| 2.1.2    | <i>Initiierung der Risse an der Oberfläche .....</i>                                                         | <i>11</i> |
| 2.2      | Wachstum der Risse .....                                                                                     | 12        |
| <b>3</b> | <b>Radschädigungen .....</b>                                                                                 | <b>16</b> |
| 3.1      | Verortung des kontaktmechanischen Schadens an der Radlaufläche .....                                         | 16        |
| 3.2      | Codierung der kontaktmechanischen Schäden an den Radlauflächen .....                                         | 18        |
| 3.3      | Zusammenstellung von kontaktmechanischen Schäden an der Radkontaktfläche .....                               | 20        |
| 3.3.1    | <i>Rundheitsabweichungen .....</i>                                                                           | <i>20</i> |
| 3.3.2    | <i>Materialauftragung [Fehlercode: R-1108] .....</i>                                                         | <i>28</i> |
| 3.3.3    | <i>Auswalzung [Fehlercode: R-1109].....</i>                                                                  | <i>29</i> |
| 3.3.4    | <i>Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110] .....</i>                                                 | <i>30</i> |
| 3.3.5    | <i>Abblätterung [Fehlercode R-1111].....</i>                                                                 | <i>31</i> |
| 3.3.6    | <i>Eindrückungen / Einprägungen auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112].....</i>                           | <i>32</i> |
| 3.3.7    | <i>Krötenhaut [Fehlercode: R-1113] .....</i>                                                                 | <i>33</i> |
| 3.3.8    | <i>Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114].....</i>                            | <i>34</i> |
| 3.3.9    | <i>Risse auf der Radlaufläche / Lauflächenquerrisse [Fehlercode R-1115].....</i>                             | <i>35</i> |
| 3.3.1    | <i>Rillen und Mulden [Fehlercode: R-1116] .....</i>                                                          | <i>36</i> |
| 3.3.2    | <i>Schädigung an der Fase [Fehlercode: R-1118].....</i>                                                      | <i>37</i> |
| 3.3.3    | <i>Ausbrüche «Shelling» [Fehlercode: R-1119] .....</i>                                                       | <i>38</i> |
| 3.3.4    | <i>Materialtrennung unter der Laufläche / Ablösung [Fehlercode R-1201] .....</i>                             | <i>39</i> |
| 3.3.5    | <i>Fasenquerriss [Fehlercode R-1208] .....</i>                                                               | <i>40</i> |
| 3.3.6    | <i>Risse am Spurkranz [Fehlercode R-1210].....</i>                                                           | <i>41</i> |
| 3.3.7    | <i>Schädigung Spurkranzkuppe [Fehlercode: R-1211] .....</i>                                                  | <i>42</i> |
| 3.3.8    | <i>Spurkranz mit Gratbildung (Überwalzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212] .....</i>                     | <i>43</i> |
| 3.3.9    | <i>Radiale Berührspuren und Beschädigungen an der inneren Radkranzstirnfläche [Fehlercode: R-1213] .....</i> | <i>44</i> |
| <b>4</b> | <b>Schienenbeschädigungen .....</b>                                                                          | <b>45</b> |
| 4.1      | Verortung und Codierung der kontaktmechanische Schaden an der Schienenfahrfläche .....                       | 45        |
| 4.2      | Codierung der kontaktmechanischen Schäden an der Schienenfahrfläche .....                                    | 46        |
| 4.3      | Zusammenstellung von kontaktmechanischen Schäden an den Schienenfahrfläche .....                             | 49        |
| 4.3.1    | <i>Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211]..</i>               | <i>49</i> |
| 4.3.2    | <i>Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221].....</i>                                       | <i>50</i> |
| 4.3.3    | <i>Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223] .....</i>                                                         | <i>51</i> |
| 4.3.4    | <i>Plastische Verformung (Überwalzung-Quetschung-Gratbildung) [Fehlercode S-123 / S-223] .....</i>           | <i>52</i> |

---

|          |                                                                                                                           |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.5    | <i>Isolierte / Einzelne Schleuderstelle [Fehlercode S-125 / S-2251]; Mehrere Schleuderstelle [Fehlercode S-2252].....</i> | <i>53</i> |
| 4.3.6    | <i>Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227].....</i>                             | <i>54</i> |
| 4.3.7    | <i>Riffel [Fehlercode S-2201].....</i>                                                                                    | <i>55</i> |
| 4.3.8    | <i>Schlupfwellen [Fehlercode S-2202].....</i>                                                                             | <i>56</i> |
| 4.3.9    | <i>Eindrückungen / Quetschen [Fehlercode S-301] .....</i>                                                                 | <i>57</i> |
| 4.4      | Prüfverfahren zur Detektion von Schienenschäden .....                                                                     | 58        |
| 4.4.1    | Visuelle Kontrolle .....                                                                                                  | 58        |
| 4.4.2    | Ultraschall (UT) .....                                                                                                    | 58        |
| 4.4.3    | Wirbelstrom (ET) .....                                                                                                    | 58        |
| <b>5</b> | <b>Zuordnung von Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene .....</b>                                         | <b>59</b> |
| 5.1      | Schädigungen aus Trassierungsgegebenheiten.....                                                                           | 59        |
| 5.2      | Schädigungen aus dem Betrieben der Fahrzeugen.....                                                                        | 60        |
| 5.3      | Schädigung aus Werkstoffeigenschaften.....                                                                                | 61        |
| 5.4      | Schädigungen aus weiteren Gründen .....                                                                                   | 62        |
| <b>6</b> | <b>Schlussfolgerungen.....</b>                                                                                            | <b>63</b> |
| 6.1      | Zusammenfassung wichtigste Ergebnisse.....                                                                                | 63        |
| 6.2      | Empfehlungen .....                                                                                                        | 63        |
| <b>7</b> | <b>Verzeichnisse .....</b>                                                                                                | <b>64</b> |
| 7.1      | Referenzen .....                                                                                                          | 64        |
| 7.2      | Abbildungen .....                                                                                                         | 64        |
| 7.3      | Tabellen .....                                                                                                            | 64        |

## Abkürzungsverzeichnis

|        |                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------|
| AB-EBV | Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung       |
| ET     | Eddy-current testing (Wirbelstromprüfung)             |
| EVU    | Eisenbahnverkehrsunternehmen                          |
| R0     | Reprofilierung der Räder                              |
| RCF    | Rolling contact fatigue (Rollkontaktermüdung)         |
| RT     | Radsatztausch                                         |
| SPG    | Schienenprüfgerät                                     |
| SPZ    | Schienenprüfzug                                       |
| SPZ-ET | Schienenprüfzug mit Ausrüstung für Wirbelstromprüfung |
| SPZ-UT | Schienenprüfzug mit Ausrüstung für Ultraschallprüfung |
| UT     | Ultrasonic testing (Ultraschallprüfung)               |
|        |                                                       |
|        |                                                       |

## Glossar

|   |   |
|---|---|
| - | - |
|   |   |
|   |   |

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Derzeit zeigt sich bei den Meterspurbahnen ein Mangel an erforderlichem Wissen über die Kontaktmechanik von Rad und Schiene. Der Aufbau von spezifischem Know-how ist deshalb eines der wichtigen Ziele der Systemführerschaft von RAILplus.

Die Kontaktmechanik, als sehr wichtige Beeinträchtigung der Interaktion Rad/Schiene, kann die Ursache für viele Auswirkungen an den Rad- und an der Schienenfahrflächen sein.

Die meisten Schädigungen, die durch die Kontaktmechanik verursacht werden, sind in Normen, Branchenregelwerken, in Unternehmensvorgaben sowie in einer weit verbreiteten Fachliteratur aufgeführt. Die diesen zugrundeliegenden Untersuchungen und Erfahrungen beruhen ausnahmslos auf der Normalspur mit Spurweiten von 1435 mm. Aus der Schmalspur (Meter- und Kapspur) sind kaum Referenzdokumente zur Kontaktmechanik bekannt.

Einige der durch den Kontakt von Rad und Schiene verursachten Schäden sind bei den Meterspurbahnen bekannt. Diese sind aber zum Teil mit unterschiedlichen oder widersprüchlichen Begriffen benannt. Daher ist es notwendig, ein auf die Meterspurbahnen abgestimmtes Dokument zu erstellen, das allen zugänglich ist und in Zukunft eine klare und einheitliche Terminologie sicherstellt. Das vorliegende Dokument ist in deutscher Sprache verfasst und soll anschliessend für die zwei weiteren Landessprachen übersetzt werden.

## 1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung besteht darin, die durch die Kontaktmechanik bei den Meterspurbahnen verursachten Schäden an den Rad- und Schienenfahrflächen in einem Dokument zusammenzustellen. Dieses Dokument wird den Radsatzspezialisten der Meterspurbahnen ein Werkzeug zur Verfügung stellen, mit dem sie anhand von Bildern und Beschreibungen, die im Betriebseinsatz anzutreffenden unterschiedlichen Schäden vergleichen und deren Auswirkungen beurteilen können. Damit lassen sich die möglichen Ursachen eingrenzen und Empfehlungen zu deren Beseitigung umsetzen. Dieser Schadenskatalog ermöglicht auch die Festlegung einer technischen Terminologie, um den Informations- und Meinungsaustausch zu erleichtern und die technischen Begriffe für alle Meterspurbahnen zu vereinheitlichen. Im Dokument wird auch zwischen Schädigungen, welche auf die Trassierungsgegebenheiten, die Bedienung der Fahrzeuge, auf die Rad- und Schienenwerkstoffe sowie auf andere Gründe zurückzuführen sind, unterschieden. Auf diese Weise können unter anderem die Mitarbeitenden der Bahnen gezielt geschult sowie weitergehende Massnahmen zur Minderung dieser Art von Schäden ergriffen werden.

## 1.3 Abgrenzung

In diesem Technischen Bericht wird von Schäden ausgegangen, die durch die Interaktion zwischen Rad und Schiene verursacht werden. Schäden, die durch Fertigung von Rädern und Schienen, übermässigen Verschleiss (z.B. Hohllauf), Witterungseinflüsse (z.B. Korrosion) sowie durch die Bearbeitung (z.B. Schienenschweissung, Schienenschleifen) entstehen, werden nicht berücksichtigt, da deren Ursache nicht in der Kontaktmechanik zwischen Rad und Schiene, sondern durch extrinsische Faktoren verursacht sind.

Die Schädigungen betreffen hauptsächlich die Berührungszonen von Rad und Schiene auf der Geraden, in Bögen und bei dem Befahren von Weichen. Schädigungen an der Radscheibe/Radkörper oder am Schienensteg bzw. Schienenfuss werden in diesem Dokument nicht betrachtet. Die Schäden in diesen Bereichen von Rad und Schiene werden in anderen Dokumenten behandelt<sup>1 2 3</sup>.

## 1.4 Vorgehenskonzept

Zunächst wird eine Zusammenstellung der Schäden an den Radlauflächen und an den Schienenfahrflächen aus Literatur, Normen und Industrie vorgenommen. Da der grösste Teil der Literatur und der Normen aus der Normalspur stammt, ist es notwendig, ein entsprechendes Dokument für die

---

<sup>1</sup> R RTE 41500: Instandhaltung Radsätze Meterspur.

<sup>2</sup> R RTE 41000: Instandhaltung Radsätze Normalspur

<sup>3</sup> RAILplus LO P4.2: Fahrbahn, Schädigungskatalog



Meterspurbahnen zu erstellen. Dabei wird einerseits untersucht, was aus der Normalspur für die Meterspur übernommen werden kann und auf der anderen Seite welche zusätzlichen Aspekte für die Meterspur zu berücksichtigen sind. Die Erfahrungen der Bahnen werden aus deren Rückmeldungen zusammengestellt. Je nach Ergebnis werden zusätzliche meterspurspezifische Schäden hinzugefügt und die bei den Meterspurbahnen nie aufgetretenen ausgesondert.

Durch die Abstimmung der ersten Version des Dokuments mit Rückmeldungen durch externe Fachexperten, Experten in den Bereichen Infrastruktur und Rollmaterial der Bahnen sowie von gewonnen Erkenntnissen im Bereich Interaktion Rad/Schiene, werden bis zur Entstehung des endgültigen Schadenskatalogs verschiedene Versionen entstehen. Die *Abbildung 1* zeigt das Vorgehenskonzept zur Bearbeitung des Dokuments.

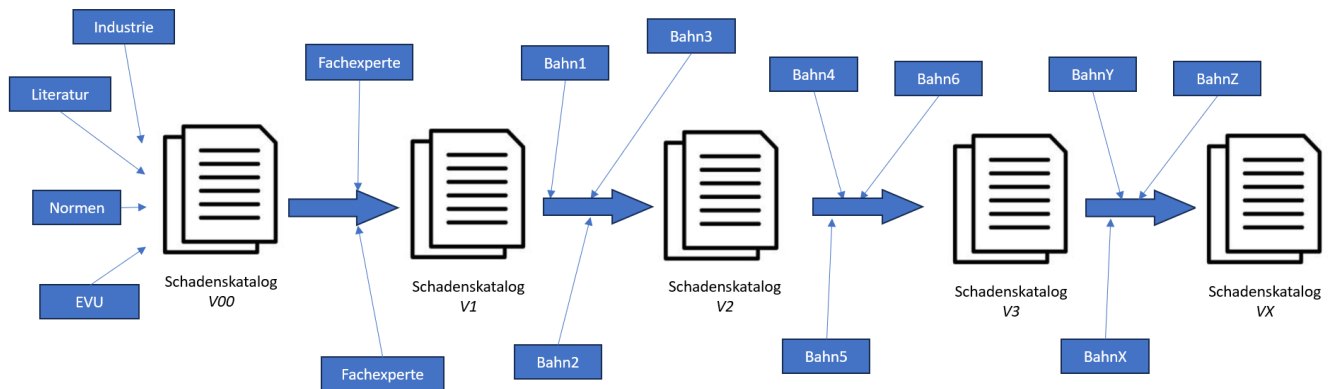


Abbildung 1: Vorgehenskonzept



## 2 Schädigungsmechanismen aus der Kontaktmechanik

Wenn zwei Körper durch Berührung unter Last aufeinander einwirken, entsteht kein Punktkontakt, sondern eine Durchdringung der beiden Körper. Durch die elastische Deformation der beiden Körper (Rad und Schiene) entsteht eine gemeinsame Kontaktfläche für beide Körper. Die Körpermitten werden durch die Distanz  $\delta$ , die als Annäherung bekannt ist, aufeinandergedrückt.

Das gilt auch für die Interaktion zwischen Rad/Schiene und ist in der *Abbildung 2* dargestellt. Durch die vertikale Belastung (Fahrzeuggewicht) entsteht die Deformation des Körpers 1 (Schiene  $u_{z2}$ ) und des Körpers 2 (Eisenbahnrad  $u_{z1}$ ), und dabei entsteht die gemeinsame Kontaktfläche und Durchdringungszone. Die Summe  $u_z = |u_{z1}| + |u_{z2}|$  wird als elastische Verformung bezeichnet.

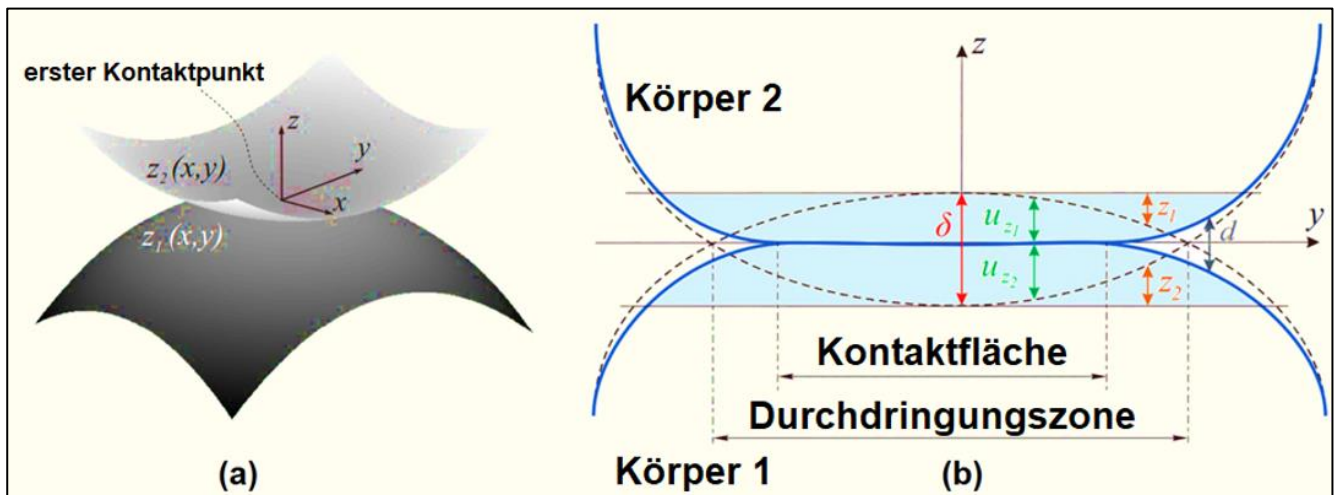


Abbildung 2: Kontaktfläche und Durchdringungszone zwischen Körper 1 (Schiene) und Körper 2 (Rad)

Die Kontaktfläche kann nach der Hertz'schen Theorie durch eine Ellipse angenähert werden. In *Abbildung 3* wird die nach der Hertz-Theorie berechnete Kontaktfläche (virtuelle Ellipse, in grün) mit der nach der Linienmethode berechneten Kontaktfläche (in blau) verglichen. In Grau ist die Durchdringungsfläche abgebildet.

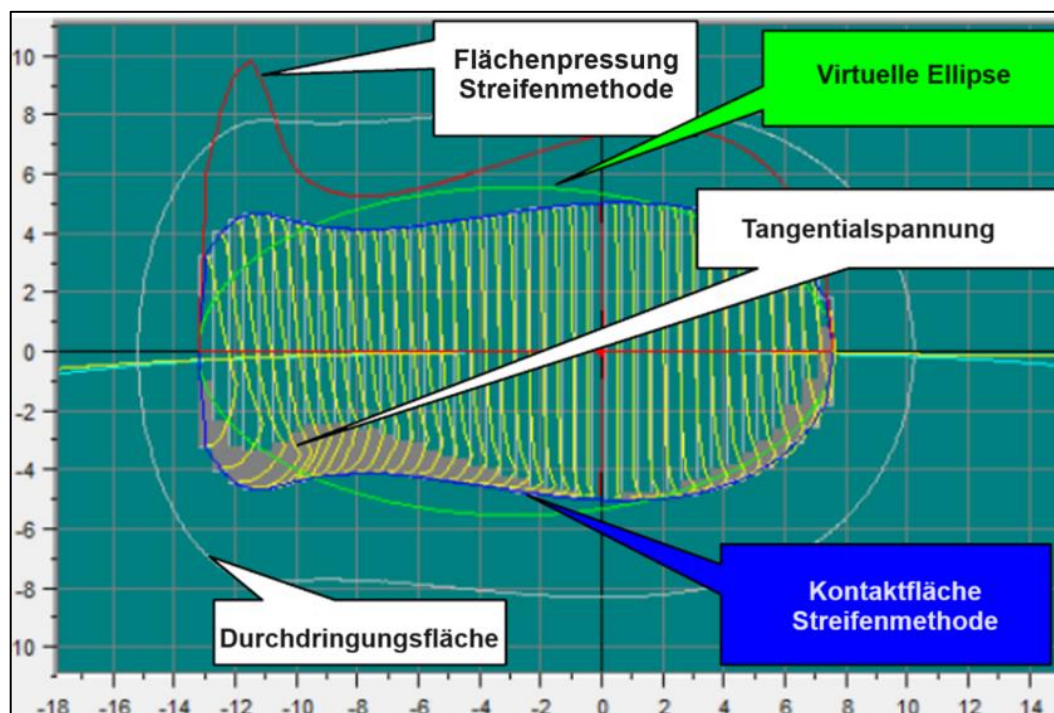


Abbildung 3: Vergleich zwischen Kontaktfläche nach Hertz-Theorie und Kontaktfläche berechnet mit der Streifenmethode

Genau in der Kontaktfläche wirken alle äusseren Kräfte, die in der *Abbildung 4* dargestellt sind:

- Vertikal Kraft  $Q$  durch das Gewicht des Fahrzeugs
- Kraftschlusskraft  $T_1$  in Querrichtung durch den engen Bögen und Kraftschlusskraft  $T_2$  in Längsrichtung durch die Antrieb- und Bremskräfte sowie aus der Rollradiendifferenz der beiden Räder desselben Radsatzes.

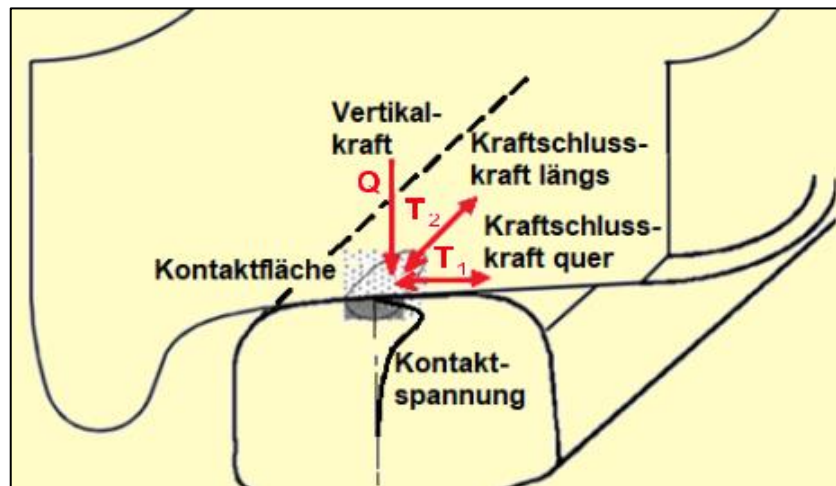


Abbildung 4: Darstellung der Kräfte in der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene

Die Einwirkung von äusseren Kräften auf die Kontaktfläche impliziert daher Kontaktspannungen in der Kontaktfläche.

## 2.1 Initiierung der Risse

Je nach Intensität der Resultierenden dieser Kräfte werden lokale Spannungen im Material (Rad und Schiene) erzeugt, die zu elastischen oder plastischen Verformungen des Gefüges führen können. Insbesondere wenn die lokalen Spannungen – vereinfacht ausgedrückt die Streckgrenze bzw. Schubflussgrenze des Materials – nicht überschritten werden, verformt sich die Kontaktzone elastisch und kehrt in ihren ursprünglichen Zustand zurück, sobald die Last nicht mehr anliegt. Wenn die Spannungen die Streckgrenze des Werkstoffs überschreiten, verformt sich die Kontaktzone plastisch bzw. irreversibel. Diese Verformungen bleiben aber auch nach der Kraftwegnahme teilweise bestehen: das Material bleibt dadurch plastisch verformt. Die *Abbildung 5* zeigt wie sich das Gefüge aufgrund äusserer Kräfte in der Kontaktfläche verformt. Die *Abbildung 5* (a) zeigt das unverformte Gefüge, während die Bilder (b) und (c) zunehmend verformte Gefüge zeigen.

Je nachdem, wie sich die Gefüge neu anordnen, können Restspannungen im Material verbleiben. Das Vorhandensein von Einschlüssen oder Defekten in der Gefügestruktur, kann diesen Spannungszustand ebenfalls erhöhen (Kerbwirkung).

Die Initiierung eines Risses kann unter oder an der Oberfläche entstehen.

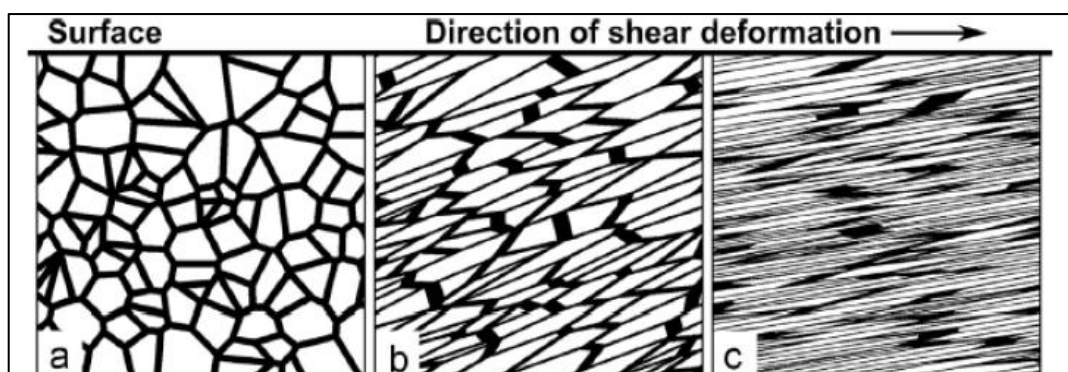


Abbildung 5: Beispiel von plastischer Verformung in der Gefügestruktur

### 2.1.1 Initiierung der Risse unter der Oberfläche

Wenn nur eine vertikale Kraft durch das Fahrzeuggewicht vom Rad auf die Schiene aufgebracht wird, entsteht ein Spannungszustand im Rad und in der Schiene. Wie in *Abbildung 6* (in der Schiene) zu sehen ist, wird die maximale Schubspannung  $\tau_{max}$  nicht in der Kontaktfläche erreicht, sondern unter der Schienenoberfläche. Ein ähnlicher Spannungszustand stellt sich auch unter der Radoberfläche ein.

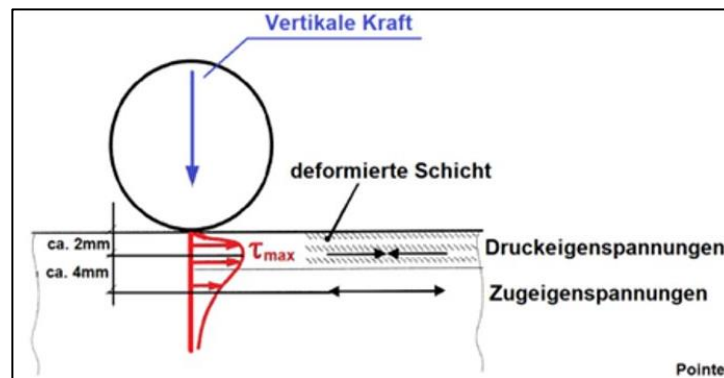


Abbildung 6: Spannungszustand unter die Rad- und Schienenoberfläche

Das folgende Diagramm zeigt, dass der maximale Spannungszustand unterhalb der Oberfläche erreicht wird (unterhalb der Kontaktmitte  $z/a=0$ ).

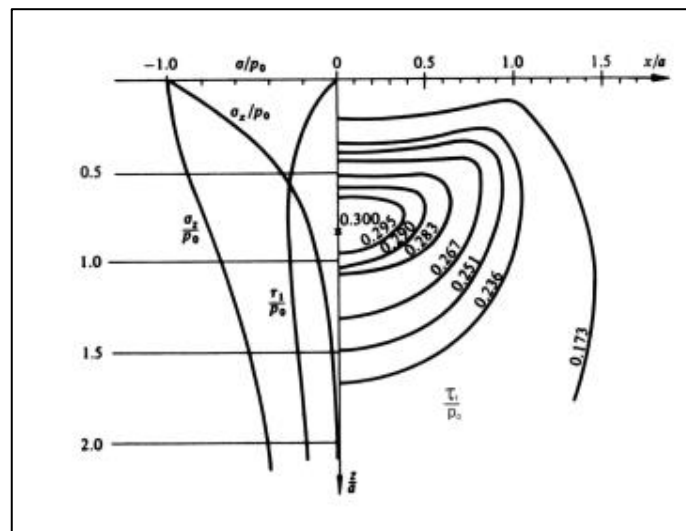


Abbildung 7: Spannungszustand unterhalb der Oberfläche

### 2.1.2 Initiierung der Risse an der Oberfläche

Durch die Kombination von vertikalen und tangentialen Kräften (*Abbildung 8*) wirken auf die Kontaktfläche zwei Spannungskomponenten: Normalspannung und Tangentialspannung.

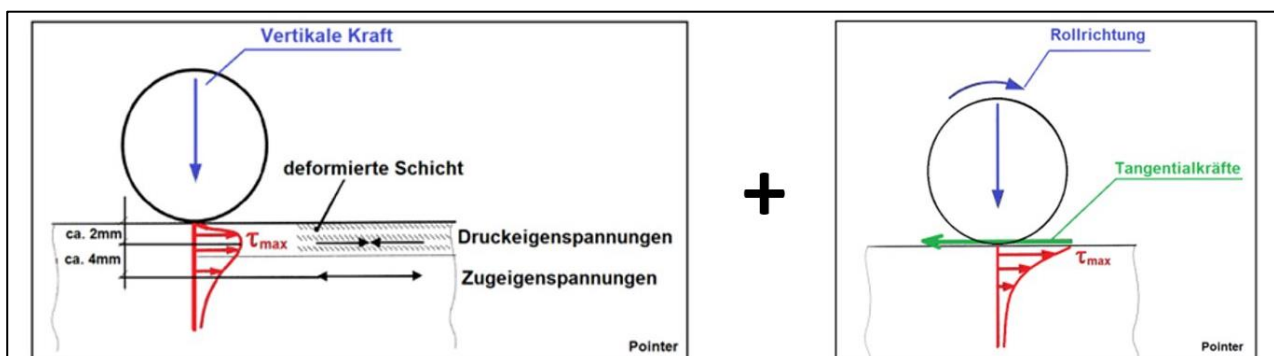


Abbildung 8: Spannungen durch Vertikalkraft (links) und Tangentialkraft (rechts)

Wirken neben Normalkräfte auch Tangentialkräfte, so verschieben sich die maximalen Vergleichsschubspannungen in Richtung der Kontaktfläche.

Das folgende Diagramm zeigt, dass bei gleichzeitiger Einwirkung dieser beiden Kraftkomponenten eine sehr hohe Vergleichsschubspannung auch an der Oberfläche erreicht wird ( $z/a=0$ ).

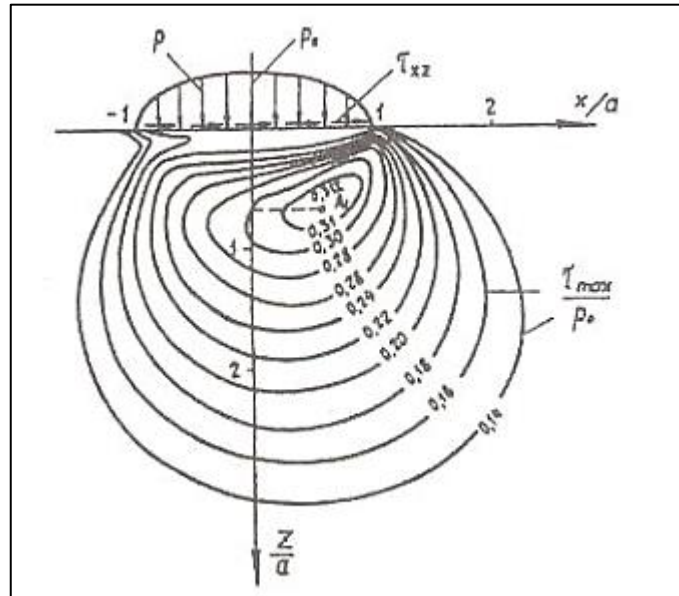


Abbildung 9: Spannungszustand an der Oberfläche

## 2.2 Wachstum der Risse

Äussere (mechanische oder thermomechanische) Beanspruchungen führen dazu, dass der Spannungszustand des bereits im Material vorhandenen Risses die maximale Spannungsgrenze überschreitet, obwohl die aufgebrachte Last geringer ist als die zulässige Last (Rollkontaktermüdung). Dies führt zu einer weiteren plastischen Verformung, so dass der Riss weiterwachsen kann.

Die Kraftschlusskräfte in Längsrichtung durch die Beschleunigung oder Bremsung führen zu einer Stauchung und Dehnung des Rad- und Schienenwerkstoffs. Diese Vorgänge des Stauchens und Dehnens lassen sich anschaulich am Beispiel des Pneus von Strassenfahrzeugen gemäss *Abbildung 10* darstellen.

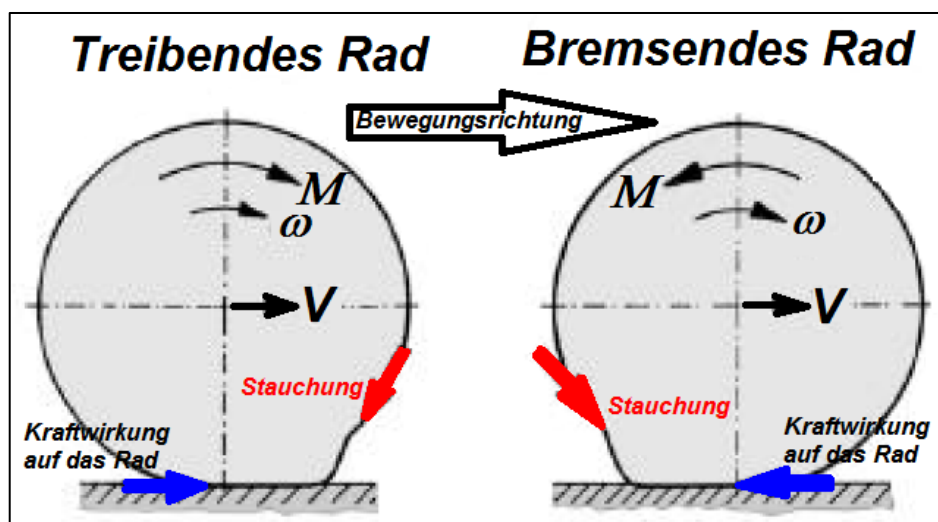


Abbildung 10: Stauchen und Dehnen des Pneus von Strassenfahrzeugen beim Antreiben und Bremsen

Bei der Beschleunigung staucht sich der Berührungsbereich des Rades, bevor er mit der Schiene in Kontakt kommt, während sich der Berührungsbereich dehnt, der bereits mit der Schiene in Kontakt war. Die Reaktionskräfte des Rades auf die Schiene (in Rot dargestellt, *Abbildung 11*) wirken mit gleicher



Intensität, aber in entgegengesetzter Richtung auf den Schienenwerkstoff. Die Berührungsfläche der Schiene, die bereits mit dem Rad in Kontakt war, wird gestaucht, während sich der noch durch das Rad zu berührende Schienenbereich ausdehnt. Beim Bremsen wirken die Spannungen auf die gleiche Weise, aber in umgekehrter Richtung.

Die *Abbildung 11* zeigt die Kräfte und Spannungen, die während der Beschleunigung (Traktion links) und der Verzögerung (Bremsung rechts) auf das Rad und die Schiene wirken.

Dieses Wechselspiel von Dehnung und Stauchung der Kontaktflächen an Rad und Schiene durch die Kraftschlusskräfte vor dem Einlaufen eines Risses (Rad und/oder Schiene) in die Kontaktfläche oder nach dem Auslaufen eines Risses aus der Kontaktfläche ist hier der Einfachheit halber für den Fall der Traktion und das Bremsen dargestellt. Wirkt auf einen Riss eine Zugspannung bevor er in die Kontaktzone Rad/Schiene einläuft, so wird dieser geöffnet. Wirkt auf den Riss, bevor er in die Kontaktzone Rad/Schiene einläuft eine Druckspannung, so wird dieser geschlossen. Dringt nun in den geöffneten Riss vor seinem Einlauf in die Kontaktzone Wasser oder Schmiermittel ein, so wird dieser beim Überrollen der Kontaktfläche geschlossen. In diesem Zustand kann das eingedrungene Mittel nicht entweichen und als Folge seiner Inkompressibilität weitet sich der Riss aus und verlängert sich damit (siehe *Abbildung 12*). Dieser Vorgang bei Traktion und Bremsen tritt analog auch bei der Fahrt im Bogen durch die dabei auftretenden Kraftschlusskräfte ( $T_1$  und  $T_2$  in *Abbildung 4*) auf.

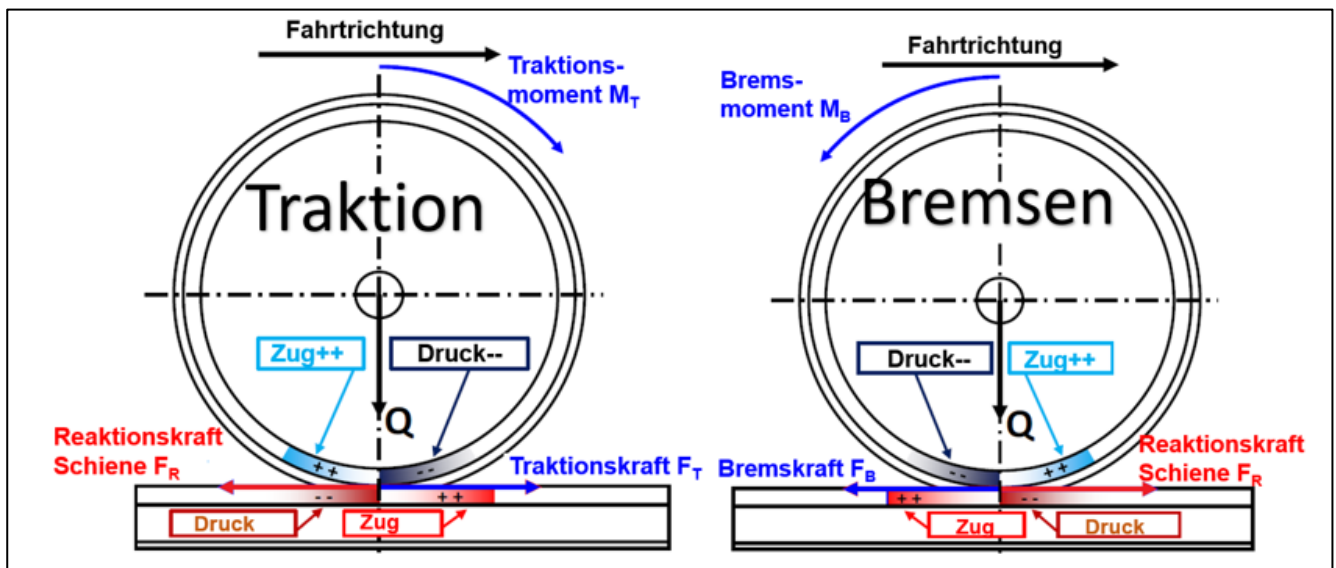


Abbildung 11: Zug- und Druckbeanspruchungen an Rad und Schiene bei der Beschleunigung (links) und Bremsung (rechts)

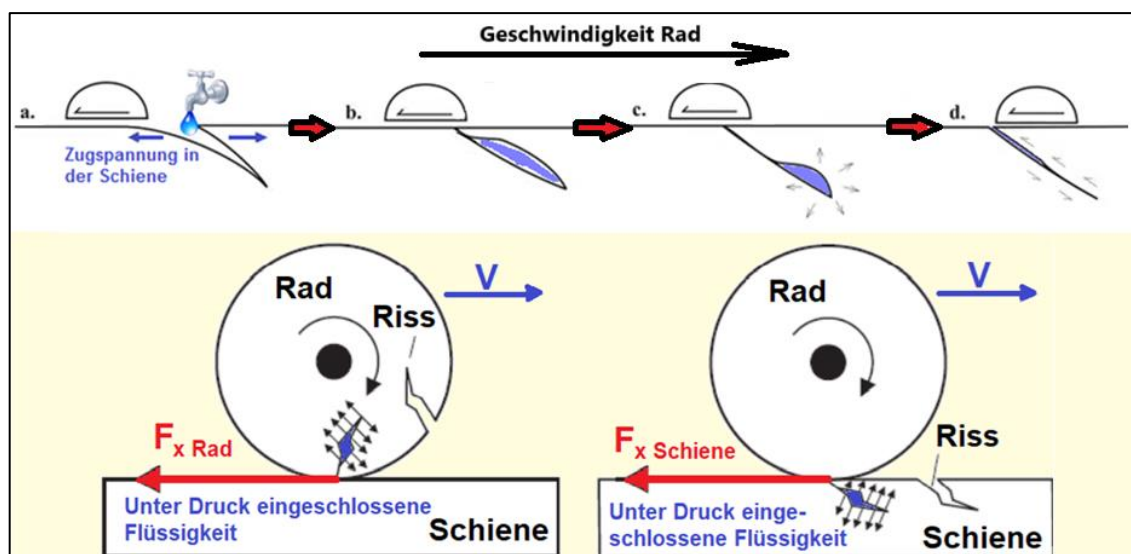
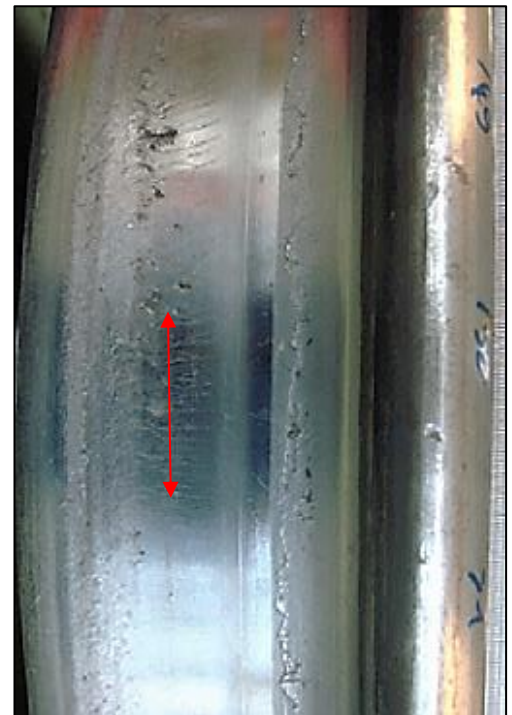
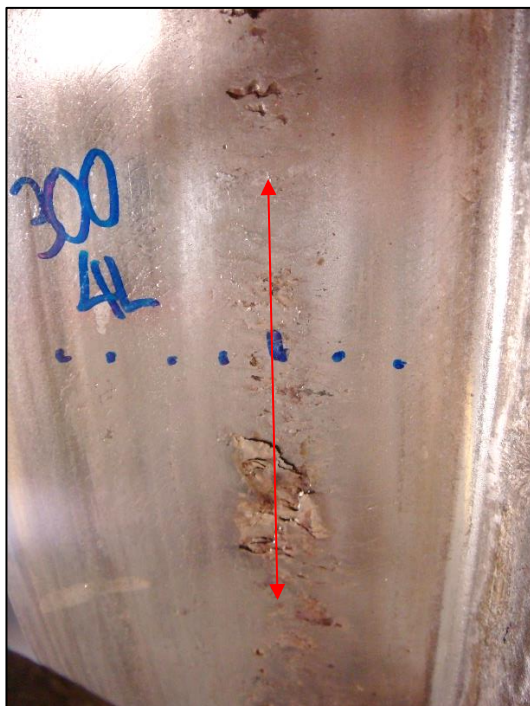


Abbildung 12: Hydrodynamischer Effekt als Treiber für den Rissfortschritt

Im Falle von Traktion (siehe *Abbildung 11*) öffnet sich der Riss an der Schiene als Folge der Kraftschlusskräfte (Traktionskraft) bevor dieser durch das Rad überrollt wird. Durch das Überrollen wird der Riss geschlossen und wächst als Folge des sogenannten hydrodynamischen Effektes. Beim Bremsen stellt sich dieser Vorgang beim Rad ein. Aus diesem Grund wachsen Risse am Rad insbesondere beim Bremsen parallel zur Welle in Zone 3 (siehe *Abbildung 16*). Wenn solche Risse vorhanden sind, so können diese nur wachsen, wenn sie nicht durch Verschleiss daran behindert werden. In *Abbildung 13* sind im Bereich der Messkreisebene (Zone 3, RCF 3) achsparallele Risse und zum Teil schon Ausbrüche erkennbar. Diese Risse scheinen messerscharf zu sein, was auf mangelnden Verschleiss in dieser Zone zurückzuführen ist. Wäre hier genügend Verschleiss vorhanden, so wären die Risse stumpf, was auf ein Gleichgewicht zwischen Rissfortschritt und Verschleiss hindeutet. Mit der Fingerprobe kann beurteilt werden, ob die Risse wachstumsfähig sind oder nicht (Messerscharf = wachstumsfähig und stumpf = nicht wachstumsfähig).



*Abbildung 13: Richtung der Rissöffnung und Beispiel von RCF 3 Rissen (links, Roland Müller und rechts, EN 153134) sowie mit rotem Pfeil ist die Messkreisebene (Zone 3) gekennzeichnet*

In engen Bögen treten zusätzlich zu den Kraftschlusskräften in Längsrichtung (durch die Beschleunigung und Bremsung des Fahrzeugs) auch die Kraftschlusskräfte in Querrichtung auf. In *Abbildung 14* sind die aus dem Bogenlauf sich einstellenden Risse in den Zonen 1 und 2 dargestellt. Diese stellen sich im Gegensatz zur Zone 3 in einem Winkel zur Radsatzachse ein. Dieser Winkel ist umso grösser, je kleiner der Bogenhalbmesser ist.

Das Fahrwerk (bei starrer Radsatzführung) stellt sich in engen Bogen wie folgt auf:

Die Kombination von Kraftschlusskräften in Längsrichtung (zum Teil aufgrund von der Beschleunigung und Verzögerung) und Kraftschlusskräfte in Querrichtung aufgrund des Bogenlaufs führt zu einer geschrägten resultierenden Kraft auf jedem Rad. Diese resultierende Kraftschlusskraft steht senkrecht auf den Rissen und ist die Ursache für die Rissöffnung in Zone 1 für das bogeninnere Rad und Zone 2 für das bogenäussere Rad.

<sup>4</sup> EN 15313 – Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzinstandhaltung

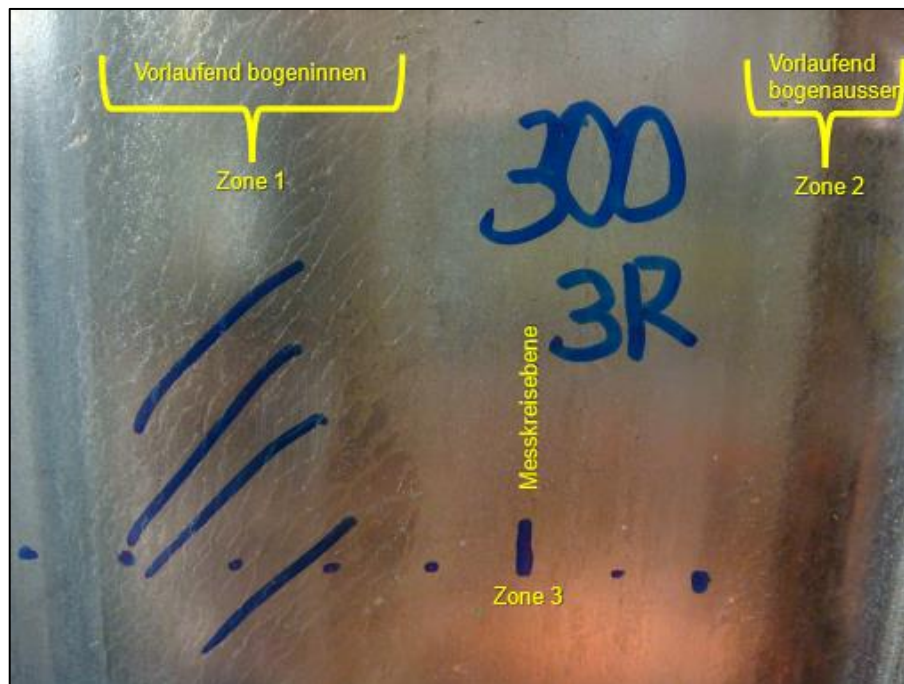


Abbildung 14: Zonen 1 und 2 beim vorlaufenden Radsatz in den Bögen

Die *Abbildung 15* zeigt die Kraftschlusskräfte und die typische Rissrichtung in den Zonen 1 und 2 am Beispiel der Räder auf. Bei den Schienen sind die Risse im Vergleich zum Rad in der entgegengesetzten Richtung geneigt. Diese Rissansammlungen werden oft auch als Fischgrätenmuster bezeichnet.

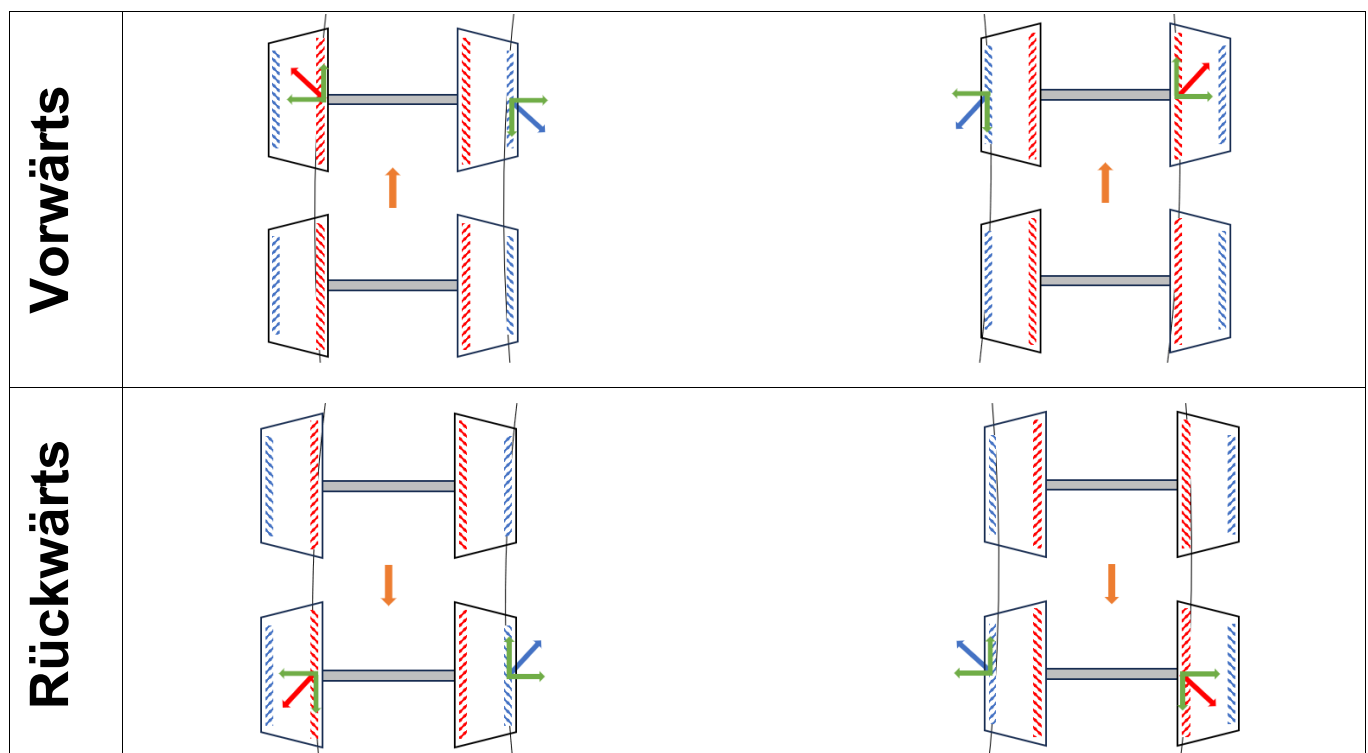


Abbildung 15: Kraftschlusskräfte und Rissbildung bei Bogenfahrt

In der Meterspur treten diese Risse insbesondere in der Zone 1 auf. Sie wachsen in der Regel nicht und führen in der Folge nicht zu ausgeprägten Ausbrüchen an den Fahrflächen. Bei der Schiene werden diese Risse als Head-Checks bezeichnet. In kleinen Bogenradien sind diese kaum sichtbar, da sie durch den grossen Verschleiss weggeschliffen werden. In grösseren Bogenradien wurden bei den Meterspurbahnen Head-Checks an den bogenäusseren Schienen festgestellt. Diese sind dort offenbar wachstumsfähig.



### 3 Radschädigungen

#### 3.1 Verortung des kontaktmechanischen Schadens an der Radlauffläche

Um die Schadensart an der Lauffläche zu identifizieren, ist es manchmal notwendig, die Zone zu bestimmen, in der der Schaden auftritt. Die Kontaktzonen (die zur Identifizierung der verschiedenen Arten von Rollkontaktermüdungsschädigungen festgelegt wurden) sind in *Abbildung 16* und *Tabelle 1* beschrieben.

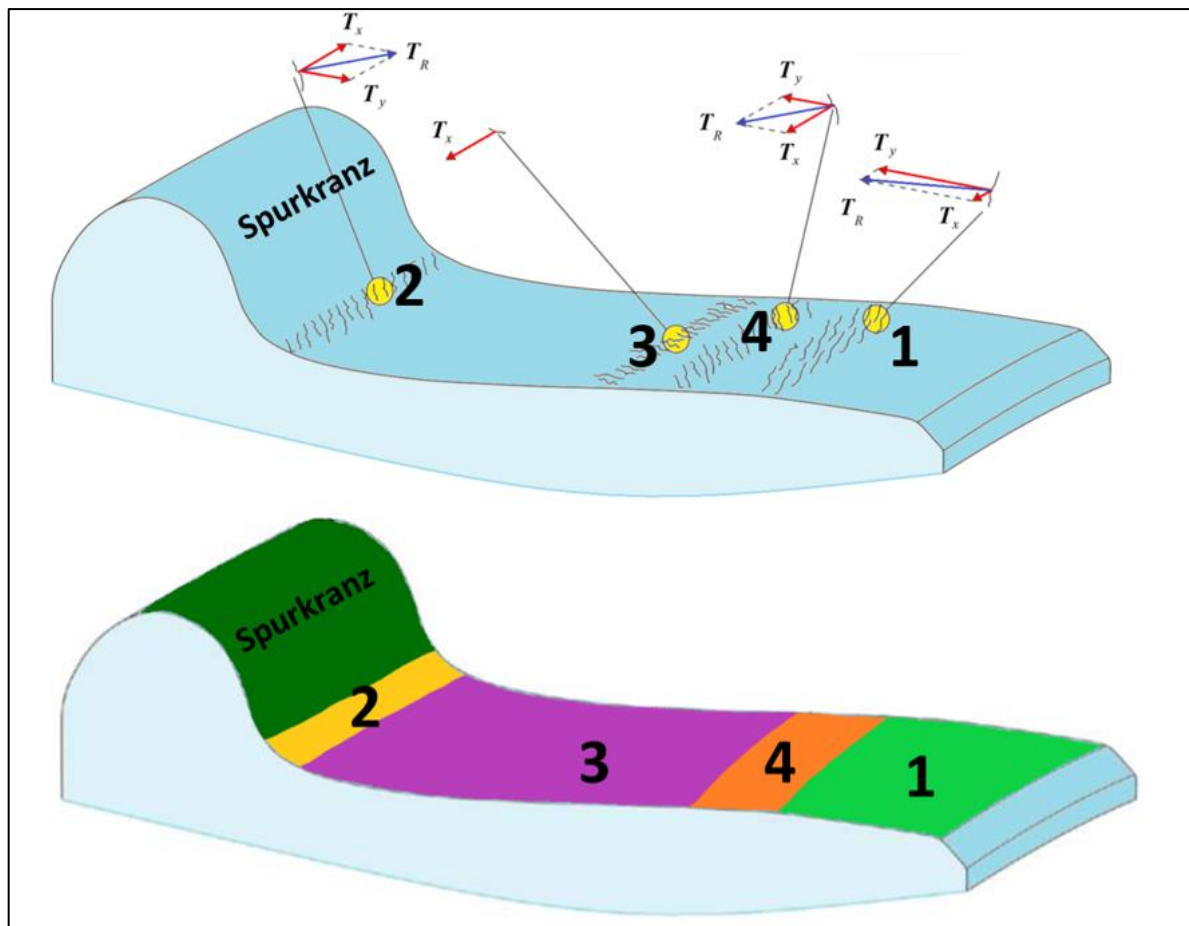


Abbildung 16: Kontaktzone des Rades

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Zone 1</b>    | Die Zone 1 ist der äussere Teil (ab ca. 30 mm von Messkreisebene in Richtung Radkranzstirnfläche) der Lauffläche. Diese Zone ist von besonderer Bedeutung beim Befahren von sehr engen Bögen (Bogeninneres Rad, vorlaufende Achse) und Weichen                        |
| <b>Zone 2</b>    | Die Zone 2 ist durch die Hohlkehle definiert. Zone 2 ist besonders beim Befahren der vorlaufenden bogenäusseren Räder in engen und sehr engen Bögen betroffen. Diese Zone befindet sich ab ca. 30 mm von Messkreisebene in Richtung Spurkranz.                        |
| <b>Zone 3</b>    | Die Zone 3 ist der zentrale Teil der Radlauffläche und umfasst einen Bereich von $\pm 30$ mm ab der Messkreisebene. Dieser Bereich ist besonders beim Befahren der im Drehgestell nachlaufenden Radsätze in Bögen aber auch für alle Räder auf der Geraden betroffen. |
| <b>Zone 4</b>    | Die Zone 4 ist der Bereich zwischen den Zonen 1 und 3. In diesem Bereich erfolgt die Berührung des bogeninneren Rades vor allem bei den mittleren bis grösseren Bogenhalbmesser.                                                                                      |
| <b>Spurkranz</b> | Die Spurkranzflanke ist besonders beim Befahren der vorlaufenden bogenäusseren Rädern in engen und sehr engen Bögen betroffen sowie beim Befahren von allen Rädern durch die Weichen.                                                                                 |

Tabelle 1: Beschreibung der Kontaktzonen des Rades

Zur Erleichterung der Identifizierung, Lokalisierung und Schadensanalyse wird empfohlen, die Räder bei Betriebserprobungen und im Falle von besonderen Feststellungen wie folgt zu kennzeichnen:

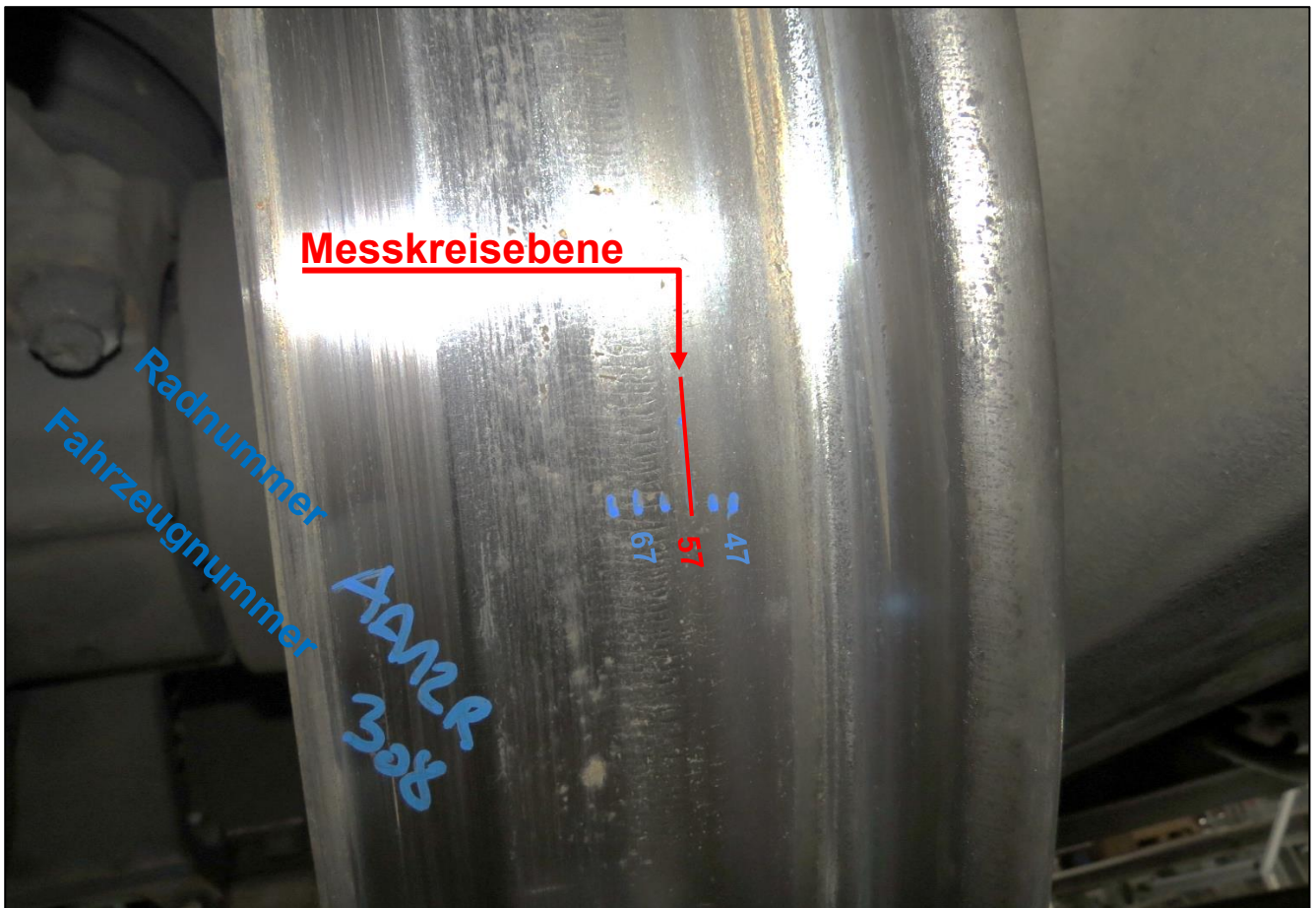


Abbildung 17: Kennzeichnung der Räder

### 3.2 Codierung der kontaktmechanischen Schäden an den Radlauflächen

Die Codierung der Schäden an den Rädern im *Schadenskatalog Interaktion* für die Meterspur ist in Anlehnung an das Technische Dokument *UIC B 169/DT 405*<sup>5</sup> entstanden.

Da im vorliegenden Dokument nur Schäden an der Radlaufläche und am Spurkranz behandelt werden, die durch die Wechselwirkung zwischen Rad und Schiene verursacht werden, werden nur ausgewählte Schäden des Dokuments *UIC B 169/DT 405* berücksichtigt. Die *Tabelle 2* gibt einen Überblick über die berücksichtigten Schäden in diesem Schadenskatalog.

Zusätzlich zur Codierung nach *UIC B 169/DT 405* wird der Radfehlercode vom Schienenfehlercode unterschieden:

- Fehlercodierungen mit einer vorangestellten **R** bezieht sich auf **Radfehler**
- Fehlercodierungen mit einer vorangestellten **S** bezieht sich auf **Schienenfehler**

Die Codierung für Radfehler wird dann wie folgt definiert:

Fehlercode: **R**- \_ \_ \_ \_

Die erste Ziffer (von links) unterscheidet die Art des Fehlers:

- (1) Fehler am Radsatz

Die zweite Ziffer präzisiert den Bereich des Radsatzes, in dem der Fehler auftritt:

- (1) Fehler an der Radlaufläche
- (2) Fehler am Radkranz/Radreifen

Die dritte und vierte Ziffer unterscheidet innerhalb der Bereiche die einzelnen Fehler.

---

<sup>5</sup> UIC B 169/DT 405 – *Schadenskatalog Räder / Radsatzwellen / Radsätze – Teil 1: Einleitung, Terminologie, Klassierung der Fehler, Fehlerarten am Radsatz*

| R-11__ | Radlauffläche                                                                        | UIC B 169/DT 405 | Schadenskatalog<br>Interaktion - Kon-<br>taktflächen Rad<br>und Schiene |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|        | R-1101 Flachstelle                                                                   | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1102 Singuläre Abplattung                                                          | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1103 Exzentrizität                                                                 | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1104 Ovalität                                                                      | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1105 Polygone                                                                      | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1106 Polygone – Kurzwellige periodische Rundheitsabweichungen                      | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1107 Stochastische Rundheitsabweichungen                                           | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1108 Materialauftragung                                                            | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1109 Überwalzung / Auswalzung                                                      | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1110 Ausbröckelungen – Löcher                                                      | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1111 Abblätterung                                                                  | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1112 Einprägungen (Eindrückungen)                                                  | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1113 Risse in Form eines Netzmusters (Krötenhaut)                                  | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1114 Head Checks – Rissbildung (schlupfinitiierte Risse)                           | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1115 Laufflächenquerrisse - Einzelrisse                                            | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1116 Rillen und Mulden                                                             | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1117 Hohllauf                                                                      | ✓                |                                                                         |
|        | R-1118 Schädigung an der Fase                                                        | ✓                |                                                                         |
|        | R-1119 Ausbrüche (Shelling)                                                          |                  | ✓                                                                       |
| R-12__ | Am Radkranz/Radreifen                                                                | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1201 Materialtrennung unter der Lauffläche                                         | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1202 Thermomechanische Überbeanspruchung Vollräder                                 | ✓                |                                                                         |
|        | R-1203 Thermomechanische Überbeanspruchung bereifter Räder                           | ✓                |                                                                         |
|        | R-1204 Lose/verdrehter Radreifen                                                     | ✓                |                                                                         |
|        | R-1205 Risse aus Spannerkerben an der Radkranzunterseite                             | ✓                |                                                                         |
|        | R-1206 Schädigung ausgehend von Kennzeichnungen                                      | ✓                |                                                                         |
|        | R-1207 Schäden durch Auswuchten                                                      | ✓                |                                                                         |
|        | R-1208 Fasenquerriss                                                                 |                  |                                                                         |
|        | R-1209 Schäden in Radreifenbohrung inklusive Schäden vom Sprengring                  | ✓                |                                                                         |
|        | R-1210 Risse am Spurkranz                                                            | ✓                | ✓                                                                       |
|        | R-1211 Schädigung Spurkranzkuppe                                                     |                  | ✓                                                                       |
|        | R-1212 Spurkranz mit Gratbildung (Überwalzung Spurkranzkuppe)                        |                  | ✓                                                                       |
|        | R-1213 Radiale Berührungspuren und Beschädigungen an der inneren Radkranzstirnfläche |                  | ✓                                                                       |
| R-13__ | An der Radscheibe / am Radkörper                                                     | ✓                |                                                                         |
| R-14__ | An der Radsatzwelle                                                                  | ✓                |                                                                         |

Tabelle 2: Aus dem UIC B 169/DT 405 Katalog übernommene Schäden für die Meterspur übernommen (graue Spalte).  
Klassifizierung der Radschädigungen gemäss UIC B 169/DT 405

### 3.3 Zusammenstellung von kontaktmechanischen Schäden an der Radkontaktfläche

#### 3.3.1 Rundheitsabweichungen

Als Rundheitsabweichungen werden alle Arten von Radiusabweichungen gegenüber dem Kreis bezeichnet. Im Gegensatz zum häufig verwendeten Begriff Unrundheit (maximales  $\Delta r$  über dem gesamten Radumfang), wird hier der Begriff der Rundheitsabweichungen verwendet, der Aussagen zur Amplitude und Form der Abweichung erlaubt. Die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Radius über dem Umfang wird als Unrundheit  $\Delta r$  bezeichnet. Bei den Rundheitsabweichungen wird zwischen den nachstehenden Formen unterschieden:

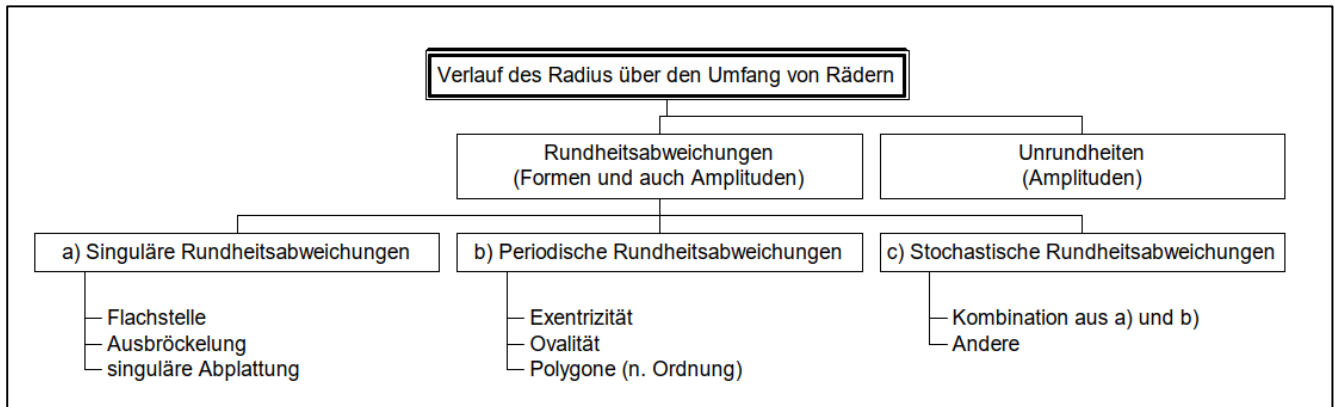
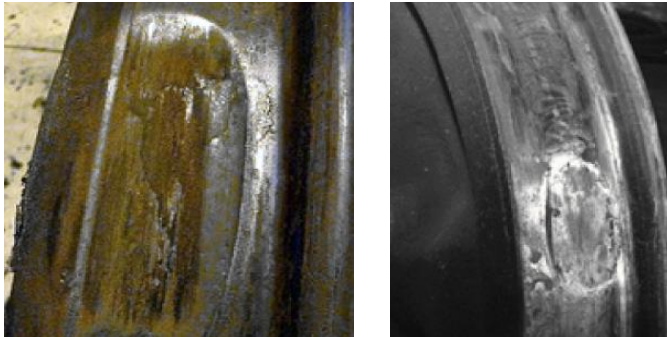


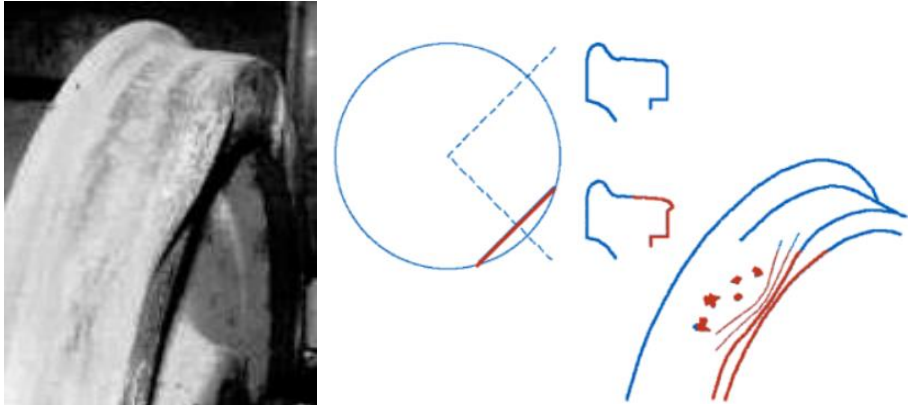
Abbildung 18: Verlauf des Radius über den Umfang von Rädern aus UIC B 169/DT 405



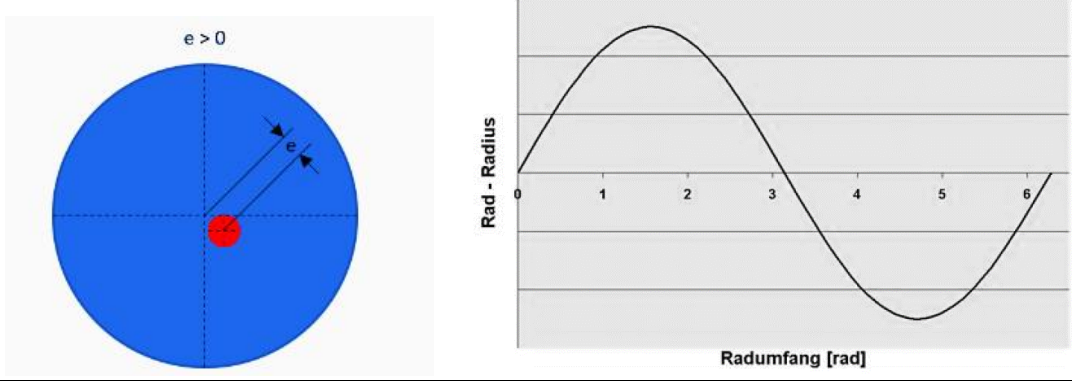
## 3.3.1.1 Flachstelle [Fehlercode: R-1101]

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                             |                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                         | Die Lauffläche ist abgeflacht und eine oder mehrere ovale Flächen sind sichtbar. Dies bedeutet, dass eine einzige oder mehrere Flachstellen auf dem Radumfang auftreten können. Am umlaufenden Rand der Flachstelle kann ein scharfer („frische“ Flachstelle) oder ein gleitender (ausgefahrte Flachstelle) Übergang vorliegen.                                                                                                                                                                     |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>EN-15313 [4]                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Verortung</b>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Im Allgemeinen treten Flachstellen gegenüberliegend an beiden Rädern eines Radsatzes an der Zone 3 und 4 auf. Bisweilen weist nur ein Rad eines Radsatzes Flachstellen auf (einseitige Hemmschuhbremsung)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                       |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102], wenn die zulässige Länge der Flachstelle massiv überschritten wird.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                                | <p>Eine Flachstelle wird durch das Gleiten des blockierten Rades auf der Schiene verursacht.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feste Bremse (Flachstelle auf beiden Rädern genau gegenüber liegend sichtbar)</li> <li>- Ausfall Gleitschutz (Flachstelle auf beiden Rädern genau gegenüber liegend sichtbar)</li> <li>- Angezogene Handbremse (Flachstelle auf beiden Rädern genau gegenüber liegend)</li> <li>- Einseitige Hemmschuhbremsung (Flachstelle nur auf einem Rad)</li> </ul> |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge (direkt an der Radlauffläche oder von anhand von Sekundärmerkmalen (blanken Splinten, Ölsuren an der Radscheibe/Ausbluten des Fettes)</li> <li>- Mit dem Gehör</li> <li>- Mit ortfesten Detektionsanlagen im Gleis</li> <li>- Meldung Lok/Zugspersonal (Tickets)</li> <li>- Immer beide Räder derselben Radsatz kontrollieren (siehe «Mögliche Ursache»)</li> </ul>                                                                   |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                                                                                                | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren</li> <li>- Bei klotzgebremsten Fahrzeugen können kleine Flachstellen während des Betriebs durch die Wirkung der Bremssohlen auf der Radlauffläche beseitigt werden.</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gleitschutz verbessern</li> </ul>                                                                                                             |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                                    | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beim Überschreiten der zulässigen Länge (Grenzlänge): Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beim Überschreiten der zulässigen Länge (Grenzlänge): Schienenbruch, vor allem bei kalten Temperaturen</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                    |                             |                                                                                                                                                            |
| <b>Empfehlung</b><br><br>Aus EN 15313 [4]<br><br>Werte für Normalspur<br><br>- Radsatzlast < 18 t<br>- Vmax ≤ 160 km/h | <b>Raddurchmesser [mm]</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Grenzlänge [mm] &gt;</b> | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT). Siehe auch: Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102] |
|                                                                                                                        | 1000 < d                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 80                          |                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                        | 840 < d ≤ 1000                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 60                          |                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                        | 630 < d ≤ 840                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 40                          |                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                        | 550 < d ≤ 630                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 35                          |                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                        | d < 550                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 30                          |                                                                                                                                                            |
| Länge ≤ Grenzlänge                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                             | Weiterfahren und verfolgen                                                                                                                                 |

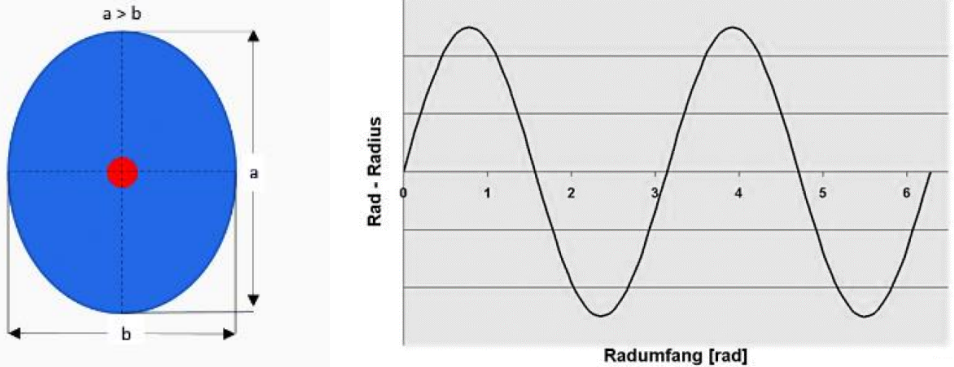
## 3.3.1.2 Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]

|                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                   | Singuläre Abplattungen entlang des Radumfangs sind eine Folge von Störungen des Bremssystems oder inhomogener Materialeigenschaften. Jede Radumdrehung erzeugt eine Stossbeanspruchung, was Lärm, Schäden am Lauf- und Fahrwerk sowie eine Komfortminderung zur Folge hat. Ähnlich sind die Auswirkungen, wenn an den Laufflächen grössere Ausbröckelungen auftreten. Die Tiefe einer typischen Abplattung ist grösser als der einer Flachstelle und kann bis zu 4-5 mm betragen.                  |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links: EN-15313 [4]<br>Rechts: Roland Müller |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                                                 | - Entlang des Radumfangs, Zone 1, 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                | - Flachstelle [Fehlercode: R-1101]<br>- Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                          | - Zu geringe Werkstofffestigkeit bzw. abweichende Werkstoffeigenschaften im schadhafte Bereich<br>- In seltenen Fällen Ausgang von einseitigen Flachstellen<br>- Ausgang von Materialtrennungen unter der Lauffläche                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                | - Mit dem blossen Auge direkt an der Radlauffläche sowie anhand von Sekundärmerkmalen (blanken Splinten, Ölsuren an der Radscheibe/Ausbluten des Fettes)<br>- Mit ortfesten Detektionsanlagen im Gleis (Radlast-Check Points)<br>- Rundlaufmessung<br>- Mit dem Gehör<br>- Bei grossen partiellen Überwalzung/ Auswalzungen – mit den blossen Augen<br>- Meldung Lok/Zugspersonal (Tickets)<br>- Lokal seitliche Auswalzung vorhanden. In der Regel nur eines der beiden Räder derselben Radsatzes |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                             | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br>- Bei sehr grossen (noch festzulegenden) Amplituden: Kontrolle von Fahrzeug und Fahrwerk<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Keine<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                                              | <b>Rollmaterial</b><br>- Über der zulässigen Länge von Fachstellen (Grenzlänge): Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche<br><b>Infrastruktur</b><br>- Über der Grenzlänge: Schienenbruch, vor allem bei kalten Temperaturen<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                                                | Wenn vorhanden. Singuläre Abplattungen sind nicht messbar.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |

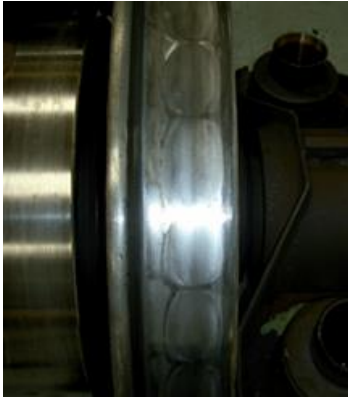
## 3.3.1.3 Exzentrizität [Fehlercode R-1103]

|                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                         | Exzentrizitäten gehören zur Gruppe der periodischen Rundheitsabweichungen. Die Exzentrizität (Aussermittigkeit) stellt eine Radienabweichung mit einer Wellenlänge, die dem Radumfang entspricht, dar. In der Abwicklung stellt sich diese Rundheitsabweichung als eine Sinuswelle über den Radumfang dar. Die Gegenwart von Exzentrizitäten ist gleichbedeutend mit einer inhomogenen Massenverteilung gegenüber dem dynamischen Drehzentrum des Radsatzes, was gleichbedeutend mit dem Vorhandensein einer Unwucht ist. |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links: RAILplus<br>Rechts: UIC B 169/DT 405 [5]                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                                                                                       | - Ganzen Radumfang                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                      | - Wird bei der Rundlaufmessung nur die Amplitude erfasst, dann besteht die Verwechslungsgefahr mit anderen Typen von Rundheitsabweichungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                | Fertigungsbedingt<br>- Aussermittigkeit der Radnabenbohrung<br>- Aussermittigkeit des Radsitzes<br>- Aussermittigkeit der Zentrierbohrung an der Wellenstirn<br>- Zu grosse Unwucht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                      | - Rundlaufmessung<br>- Struktur-Schwingungen im Fahrzeugkasten (erste Biegeeigenfrequenz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                                                                                | <b>Korrektive Massnahme</b><br>- Reprofilieren<br>- Auswuchten bei zu grossen Unwuchten<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Zentrierung des Radsatzes bei der Bearbeitung sicherstellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                    | <b>Rollmaterial</b><br>- Einfluss auf Fahrkomfort, wenn die Kombination aus Exzentrizität und Fahrgeschwindigkeit zu einer Frequenz führt, die nahe bei der Eigenfrequenz des Wagenkastens liegt<br><b>Infrastruktur</b><br>- Keine<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Empfehlung</b><br><br>Aus EN 13262 [6]<br>Werte für Normalspur<br>- $V_{max} \leq 120 \text{ km/h}$ | Max. Unwucht 125 gm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Weiterfahren, Räder reprofiliert (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen. Bei der Bearbeitung Zentrierung des Radsatzes sicherstellen. Unwucht beseitigen und Rundheit nachmessen. |

## 3.3.1.4 Ovalität [Fehlercode R-1104]

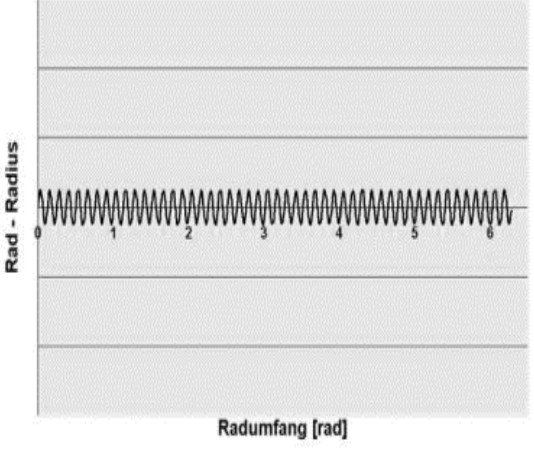
|                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                      | Ovalitäten gehören zu der Gruppe der periodischen Rundheitsabweichungen. Die Ovalität («Eiförmigkeit») stellt eine Radiusabweichung mit einer Wellenlänge, die dem halben Radumfang entspricht, dar. In der Abwicklung stellt sich diese Rundheitsabweichung als zwei Sinuswellen über den Radumfang dar.                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                            |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links: RAILplus<br>Rechts: UIC B 169/DT 405 [5] |  <p>The diagram on the left shows a blue oval wheel cross-section with a red center. The major axis is labeled 'a' and the minor axis is labeled 'b', with 'a &gt; b' indicated above. The diagram on the right is a graph of 'Rad - Radius' versus 'Radumfang [rad]'. The x-axis ranges from 0 to 6, and the y-axis shows two full cycles of a sinusoidal wave, representing the periodic nature of ovality.</p> |                                                                                                                                            |
| <b>Verortung</b>                                                                    | - Ganzen Radumfang                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                            |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                   | - Wird bei der Rundlaufmessung nur die Amplitude erfasst, dann besteht die Verwechslungsgefahr mit anderen Typen von Rundheitsabweichungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                            |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                             | - Fertigungsbedingt, zum Beispiel durch Zweibackeneinspannung beim Profilieren und Reprofilieren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                            |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                   | - Rundlaufmessung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                            |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                                                             | <b>Korrektive Massnahme</b><br>- Reprofilieren<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Verbesserung des Profilierungsprozesses                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                            |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                 | <b>Rollmaterial</b><br>- Einfluss auf Fahrkomfort, wenn die Kombination aus Ovalität und Fahrgeschwindigkeit zu einer Frequenz führt, die nahe bei der Eigenfrequenz des Wagenkastens liegt<br><b>Infrastruktur</b><br>- Keine<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                            |
| <b>Empfehlung</b>                                                                   | Wenn vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen. Nach die Reprofilierung Rundheit nachmessen |

## 3.3.1.5 Polygone [Fehlercode: R-1105]

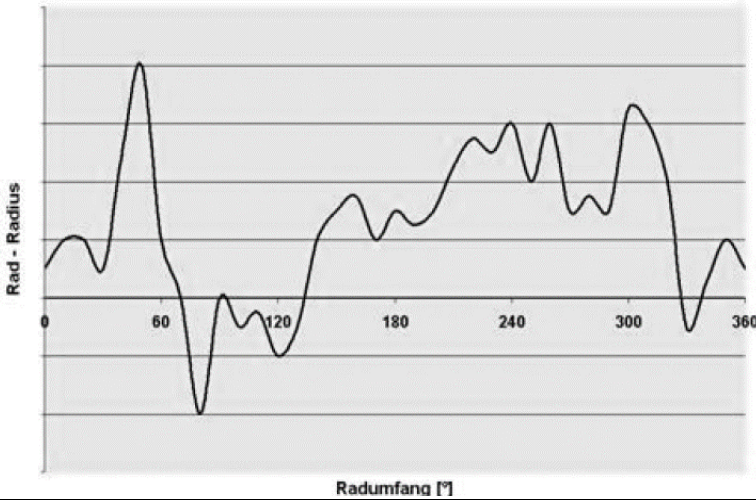
|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                               | Über den Radumfang treten periodische Rundheitsabweichungen auf, die im Rundlaufbild als annähernd periodische Sinuskurven über den Umfang sichtbar werden. Die Bestimmung der periodischen Anteile ist durch eine Fourieranalyse der Rundlaufabzeichnung möglich. Die Wellenlänge der Rundheitsabweichung liegt zwischen wenigen Zentimetern bis ca. einem Meter. Klassische Vertreter der periodischen Rundheitsabweichung sind 3-fach Polygone (dreifache Sinuswelle über den Radumfang) bzw. 5 bis 28-fach Polygone. |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links: RTE 41500 [1]<br>Rechts: RAILplus |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                                             | - Entlang des Radumfangs, Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                            | - Wird bei der Rundlaufmessung nur die Amplitude erfasst, dann besteht die Verwechslungsgefahr mit anderen Typen von Rundheitsabweichungen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                      | - schief laufende Fahrwerke<br>- Mit Ausnahme der Dreifachpolygone sind die Mehrfachpolygone ursächlich durch die Schlupfkkräfte zwischen Rad und Schiene bedingt.<br>- Häufiges Befahren von engen Bögen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                            | - Rundlaufmessung<br>- Mit ortsfesten Detektionsanlagen im Gleis<br>- Mit dem Gehör (Lärm im Fahrzeuginneren und der Umgebung)<br>- Im fortgeschrittenen Stadium mit den blossen Augen (Ausbröckelungen)<br>- Mit dem blossen Auge (direkt an der Radlauffläche oder anhand von Sekundärmerkmalen (blanken Splinten, Ölsuren an der Radscheibe/Ausbluten des Fettes)<br>- Mit dem Gehör<br>- Meldung Lok/Zugspersonal (Tickets)<br>- Lärm und Erschütterung                                                              |                                                                                                    |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                                                      | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br>- Instandhaltung Fahrwerk<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Radiale Einstellbarkeit der Radsätze<br>- Schienenkopfkonditionierung<br>- Verwendung harter Radwerkstoffe                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                                          | <b>Rollmaterial</b><br>- Fahrkomfort, Schwingungen im Wagenkasten<br><b>Infrastruktur</b><br>- Mit Frequenzen von 60-80 Hz (je nach Anzahl, Grösse der Polygone und Fahrgeschwindigkeit) Schwingungen im Oberbau<br><b>Umwelt</b><br>- Erschütterungen, Lärm                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                                            | Starke Erschütterung und starker Lärm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                                              | Nach Meldungen Lärm oder Auswirkungen auf Fahrkomfort → Fahrzeug kontrollieren. Polygon ist bei der Visuelle Kontrolle sichtbar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |



### 3.3.1.6 Polygone - Kurzwellige Rundheitsabweichungen [Fehlercode: R-1106]

|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                           | Kurzwellige periodische Rundheitsabweichungen sind im Allgemeinen durch eine kleine Amplitude gekennzeichnet. Die Wellenlänge der Rundheitsabweichung beträgt maximal wenige Zentimeter (ca. 5 bis 8 cm). Klassischer Vertreter der kurzwelligen Rundheitsabweichungen sind die durch die Graugussbremssohlen verursachten Bremsriffel. |                                                                                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links: Roland Müller<br>Rechts: UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                                                         | - Entlang des Radumfangs, Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                        | - Wird bei der Rundlaufmessung nur die Amplitude erfasst, dann besteht die Verwechslungsgefahr mit anderen Typen von Rundheitsabweichungen (z.B. langwellige Polygone)                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                  | - Bremsriffel durch Klotzbremse mit Graugusssohlen                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                        | - Visuelle Kontrolle<br>- Detektionsanlage für Schallemission<br>- Mit dem Gehör (erhöhtes Rollgeräusch)                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                    |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                                                                  | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren (nach der Reprofilierung werden die Bremsriffel wieder auftreten)<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Überlegung Umstellung von Graugusssohlen auf Verbundstoffbremssohlen<br>- Langfristig (wenn möglich) Umstellung auf Scheibenbremsen                                              |                                                                                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                      | <b>Rollmaterial</b><br>- Lärm im Fahrzeuginnen<br><b>Infrastruktur</b><br>- Analog zu Riffeln auf den Schienen. Im Gegensatz zu Polygone [Fehlercode: R-1105] ist die Amplitude des Schadens zu klein, um relevanten Frequenzen am Oberbau zu erzeugen.<br><b>Umwelt</b><br>- Erhöhte Schallemission                                    |                                                                                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                                                        | Nach stärkerem Lärm im Fahrzeug oder in der Umgebung Fahrzeug kontrollieren. Bremsriffel ist bei der visuellen Kontrolle sichtbar                                                                                                                                                                                                       | - Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen<br>- Umrüstung von Graugussbremssohlen auf Verbundstoffbremssohlen |

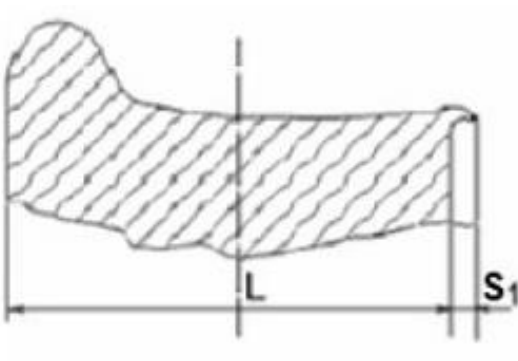
## 3.3.1.7 Stochastische Rundheitsabweichungen [Fehlercode R-1107]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Stochastische Rundheitsabweichungen zeigen sich in der Darstellung des Unrundheitsverlaufes als unregelmässige Schwankungen des Radius über den Umfang. Eine Fourierzerlegung der stochastischen Rundheitsabweichung liefert keine sinnvolle Aussage.                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] | <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Da dieser Art von Rundheitsabweichung mit den blossen Augen nicht erkennbar ist, wird in der nebenstehenden Abbildung ein Beispiel für diese Radschädigung gezeigt. In der Abbildung ist der stochastische Fehler der Abweichung vom Nennradius in Abhängigkeit des Radumfangs zu erkennen.</p> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Verortung</b>                                     | - Entlang des Radumfangs, Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - Wird bei der Rundlaufmessung nur die Amplitude erfasst, dann besteht die Verwechslungsgefahr mit anderen Typen von Rundheitsabweichungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | - Inhomogenitäten im Verschleiss- und Festigkeitsverhalten über den Radumfang<br>- Kurzzeitige aussergewöhnliche Beanspruchungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Rundlaufmessung<br>- Mit ortsfesten Detektionsanlagen im Gleis<br>- Mit dem Gehör                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Abhilfemassnahme</b>                              | <b>Korrektive Massnahme</b><br>- Reprofilieren<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Verwendung verbesserter Werkstoffe<br>- Vermeidung aussergewöhnlicher Beanspruchungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b><br>- Fahrkomfort, Schwingungen im Wagenkasten<br><b>Infrastruktur</b><br>- Mit Frequenzen von 60-80 Hz (je nach Anzahl, Grösse der Polygone und Fahrgeschwindigkeit) Schwingungen im Oberbau<br><b>Umwelt</b><br>- Lärm, Erschütterungen                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Wenn vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Gibt es ein Muster in dem schon dominante Einzelfehler oder periodische Fehler erkennbar sind?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flachstelle [Fehlercode: R-1101]</li> <li>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]</li> <li>- Exzentrizität [Fehlercode R-1103]</li> <li>- Ovalität [Fehlercode R-1104]</li> <li>- Polygone [Fehlercode: R-1105]</li> <li>- Polygone - Kurzzeitige Rundheitsabweichungen [Fehlercode: R-1106]</li> </ul> <p>Siehe Empfehlungen bei diesem Fehler zur Behebung</p> |

### 3.3.2 Materialauftragung [Fehlercode: R-1108]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Die Lauffläche zeigt Materialanhäufungen in Form von Aufschweissungen von Bremssohlen- oder Schienenmaterial.<br>Materialauftragungen können einzeln oder mehrfach (oft in gleichem Abstand) auf der Lauffläche verteilt auftreten. Materialauftragungen sind Hinweise auf thermische Überbeanspruchungen der Räder.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                          |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                          |
| <b>Verortung</b>                                     | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                          |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flachstelle [Fehlercode: R-1101] mit Materialverschiebung</li> <li>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                          |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schleifen des Rades auf der Schiene (Schlupf, ruckartiges oder langsames Weiterdrehen).</li> <li>- Überhitztes und dabei abgelöstes Rad-, Schienen- bzw. Bremssohlenmaterial, welches zu punktförmigen Verschweissungen an örtlich überhitzten Stellen der Lauffläche führt.</li> <li>- Fliessen des Radmaterials durch Bremswirkung.</li> <li>- Unregelmässigkeiten am Bremssystem einschliesslich Bedienungsfehler der Bremse</li> <li>- Übertragungsfehler in der Traktions- Bremskraftsteuerung bei Wendezügen</li> <li>- Ungeeignete Werkstoffpaarung zwischen Bremssohlen- und Rad- bzw.- Radreifenmaterial</li> </ul> |                                                                                                                                                          |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge</li> <li>- Mit dem Gehör</li> <li>- Mit ortfesten Detektionsmöglichkeiten</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                          |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren</li> <li>- Materialauftragungen in kleinem Umfang können sich selbst durch die Wirkung der Bremssohlen beheben</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Suche der Ursache (z.B. nicht geeignete Bremssohle) und beheben</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche, Radbruch</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analog singuläre Abplattung</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lärm, Erschütterungen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                          |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Wenn vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliert (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT). Siehe auch Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102] |

### 3.3.3 Auswalzung [Fehlercode: R-1109]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Materialverschiebung in Richtung äussere Radkranz-/ Radreifenstirnfläche umlaufend über den Fasenbereich hinaus (Fase nicht mehr oder nur unzureichend erkennbar). Überwalzungen/Auswalzungen treten häufig in Verbindung mit Hohllauf auf.                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                     | - Äussere Neigung, Fase, Stirnseite Radkranz und Radreifen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoher seitlicher Radsatzschlupf (wegen Fahrt in engen Bögen)</li> <li>- Fehlerhafte Radsatzstellung</li> <li>- Zu geringe Werkstofffestigkeit für die Belastung und den Raddurchmesser</li> <li>- Ungünstige Radprofilgeometrie</li> <li>- Permanente Überladung</li> <li>- Zu weicher Radwerkstoff</li> <li>- Zu grosse Raddurchmesserunterschieden an den beiden Rädern desselben Radsatzes</li> </ul> |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge</li> <li>- Messung der Radkranz- / Radreifenbreite</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren der Räder</li> <li>- Abdrehen der Überwalzung/ Auswalzung</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ev. Änderung des Radwerkstoffes</li> </ul>                                                                                                                                                                         |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswalzungen können sich ablösen und bei Fahrt durch die Luft fliegen und Personen verletzen</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswalzungen können sich ablösen und bei Fahrt durch die Luft fliegen und Personen verletzen</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Auswalzung ( $s_1$ ) $\geq 5\text{mm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                      | Auswalzung ( $s_1$ ) $< 5\text{mm}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Weiterfahren und beobachten                                                                        |

### 3.3.4 Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110]

|                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                                                   | Aus der Lauffläche lösen sich durch Materialermüdung oder Überbeanspruchung Materialteile heraus. Aus einzelnen Fehlern können sich tiefergehende Ausbröckelungen und Löcher entwickeln. Ausbröckelungen treten vorwiegend einzeln oder umlaufend im mittleren Bereich der Lauffläche auf. Löcher können sich aus Ausbröckelungen und im Bereich von Schädigungen durch Flachstellen oder singulären Abplattungen entwickeln. Ausbröckelungen entstehen hauptsächlich durch einen einzelnen Riss unter der Radoberfläche. In dem Bereich, in dem diese Art von Schädigung auftritt, gibt es keine RCF-Risse. |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links und Mitte: Roland Müller<br>Rechts: EN-15313<br>[4]Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. | <i>Ausbröckelungen lokal / Umlaufende Ausbröckelungen</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <i>Ausbröckelungen und Löcher</i>                                                                  |
|                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |
| <b>Verortung</b>                                                                                                                                 | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abblätterung [Fehlercode R-1111]</li> <li>- Flachstelle [Fehlercode: R-1101]</li> <li>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]</li> <li>- Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlauffläche [Fehlercode: R-1112]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                                                          | - Ausbröckelungen entstehen als Folge von Laufflächenschädigungen durch mechanische Beanspruchung – Rollkontaktermüdung RCF (Überbeanspruchung, Materialermüdung)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge</li> <li>- Mit dem Gehör</li> <li>- Mit Ortfesten Detektionsanlagen im Gleis</li> <li>- Fahrkomfort, Lärm, Erschütterungen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                                                             | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> <li>- Verbesserung der Kontaktmechanik Rad-Schiene</li> <li>- Vermeidung mechanischer Überbeanspruchung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                                                              | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten und Federbrüche</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abzuklären</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lärm, Erschütterungen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                                                                | Deutlich sichtbare Ausbröckelungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                                                                                                                  | Wachstumsfähige Ausbröckelungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |



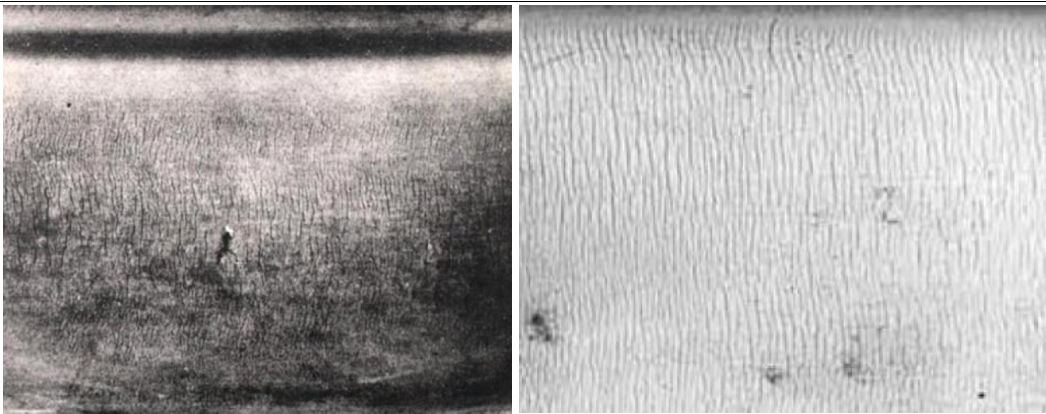
### 3.3.5 Abblätterung [Fehlercode R-1111]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Es handelt sich um einen vorwiegend am ganzen Radumfang im Berührungsbereich mit der Schiene auftretenden Fehler, der durch Risse in Sparren- oder C-Form gekennzeichnet ist. Bei Weiterentwicklung dieser Fehler entstehen verschweisste Metallschalen, die später von der Lauffläche abgerissen werden. Diese abgeblätterten Schalen sind bisweilen verschweisst und übereinander gelagert und finden sich paketweise auf dem Bremsklotz. Im Endstadium ähnelt das Schadensbild der Abblätterungen stark dem von Ausbröckelungen. |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                     | - Entlang des Radumfangs, vor allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110]<br>- Flachstelle [Fehlercode: R-1101]<br>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]<br>- Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlauffläche [Fehlercode: R-1112]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | - Lauffläschenschädigungen durch thermische und / oder mechanische Beanspruchung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Thermische Beanspruchung (Wärmeeinwirkung durch Gleiten, Schleudern, durch erhöhten Schlupf)</li> <li>▪ Mechanischen Beanspruchung durch z.B.             <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Übermässige Lasten für gegebenen Raddurchmesser</li> <li>➔ Ungeeignete Stahlgüte des Radkranzes / Radreifens</li> <li>➔ Hohe Schlupfbeanspruchung</li> </ul> </li> </ul>                               |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Mit dem blossen Auge<br>- Mit dem Gehör<br>- Mit ortfesten Detektionsanlagen im Gleis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> <li>- Verbesserung der Kontaktmechanik Rad-Schiene</li> <li>- Vermeidung mechanischer Überbeanspruchung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten im nicht abgedertem Teil und Federbrüche</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lärm, Erschütterungen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Sobald vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |

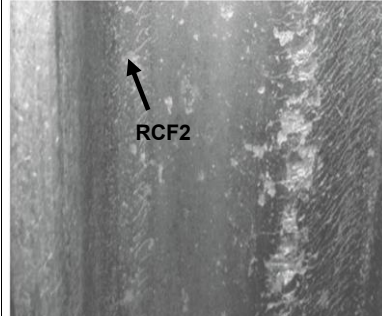
### 3.3.6 Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112]

|                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                                                 | Auf der Laufläche befinden sich unregelmässig geformte oder linienförmige Vertiefungen. Diese können einzeln vorliegen, sie treten aber auch oftmals über den gesamten Radumfang auf.                                                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links und Mitte:<br>Arbeitsanweisung<br>Lauflächenbeurteilung<br>Radsätze [7]<br><br>Rechts: RTE 41000 [2] |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                                                                                                               | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                                                              | - Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110]<br>- Risse auf der Radlaufläche / Lauflächenquerrisse [Fehlercode R-1115]                                                                                                                                                                                       |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                                                        | - Fremdkörper werden bei Überrollvorgang in die Laufläche gedrückt und führen zu einer plastischen Verformung<br>- Bei Überfahrten von Stosslücken wird die Laufläche quer zur Fahrtrichtung gequetscht<br>- Schienenfehler<br>- Bei den punktförmigen Eindrückungen (Sand, kleine Steine bei Strassenkreuzungen) |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                                                              | - Mit dem blossen Auge                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                                                           | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Abklärung mit Infrastruktur (schlechte Schweissung, Stosslücken, Strassenübergänge)<br>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften                                                                                             |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                                                            | <b>Rollmaterial</b><br>- Radbruch<br><b>Infrastruktur</b><br>- Keine<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                                                              | Bei Kerben (Bild oben links / Mitte)                                                                                                                                                                                                                                                                              | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                                                                                                                | Bei punktförmigen Einprägungen (Bild oben rechts)                                                                                                                                                                                                                                                                 | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |

### 3.3.7 Krötenhaut [Fehlercode: R-1113]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Die Bildung von Krötenhaut: Die Gesamtheit der feinen und oberflächlichen Wärmerisse, die sich auf der Lauffläche im Berührungsbereich Rad und Schiene in Form eines Mosaiks in alle Richtungen entwickeln. Risse in Form von Netzmustern auf der Lauffläche sind visuell besonders an mit thermisch aggressiven Bremssohlen, z.B. bei mit Sinterbremsklötzen gebremsten Rädern sichtbar. Bei anderen Rad – Bremssohlenpaarungen werden Ausbröckelungen festgestellt, ohne augenscheinliche Feststellung von Krötenhaut |                                                                                                   |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                   |
| <b>Verortung</b>                                     | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                   |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - Mechanisch initiierte Risse, z.B. Lauffläche mit Fischgrätenmuster                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                   |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | - Die Risse entwickeln sich durch Einwirkung der Bremswärme mit grossen lokalen Temperaturunterschieden, z.B. durch Hot Spots auf der Lauffläche<br>- Ungeeignete Werkstoffpaarung Bremssohle- Rad- bzw. Radreifenmaterial (z.B. organische Bremssohle)                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                   |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Mit dem blossen Auge<br>- Zerstörungsfreie Prüfung, z.B. Magnetpulverprüfung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren und anschliessend Risskontrolle<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Geeignete Werkstoffpaarung Bremssohle Rad bzw. Radreifen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                   |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b><br>- Ausbrüche und Radbruch<br><b>Infrastruktur</b><br>- Keine<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Wenn vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliert (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |

### 3.3.8 Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114]

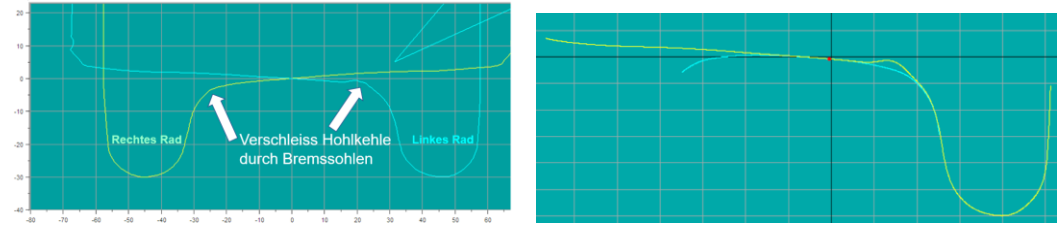
|                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                    | Head Checks sind feine, über dem ganzen Radumfang regelmässig verteilte Risse. Sie werden bei klotzgebremsten Rädern in der Regel durch die Bremsklötze weggeschliffen. Werden sie nicht weggeschliffen, so wachsen diese Risse in die Tiefe und führen mit der Zeit zu Ausbröckelungen. Die Head Checks sind eine Folge der Kraftschlusskräfte zwischen Rad und Schiene und sind abhängig vom Laufwerkprinzip (radialeinstellbare Radsätze) und Einsatzgebiet (Bogen, Gerade). Da sich der Radaufstandspunkt auf geraden Strecken und in Bögen an unterschiedlichen Orten der Radlauffläche befindet, treten die Headcheck in verschiedenen Formen auf: |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
|                                                                                                   | <i>RCF 1</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <i>RCF 2</i>                                                                                                        | <i>RCF 3</i>                                                                                                        |
|                                                                                                   | <b>Ausrichtung:</b> 45° Neigung zur Radsatzwellenachse.<br><b>Einsatzgebiet:</b> Mittleren bis zur sehr engen Bögen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Ausrichtung:</b> 45° Neigung zur Radsatzwellenachse.<br><b>Einsatzgebiet:</b> Mittleren bis zur sehr engen Bögen | <b>Ausrichtung:</b> Parallel zur Radsatzwellenachse.<br><b>Einsatzgebiet:</b> Sehr grossen Bögen und Gerade Strecke |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>RCF1: RTE 41000 [2]<br>RCF2: Roland Müller<br>RCF3: Roland Müller |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                   |                                  |
| <b>Verortung</b>                                                                                  | <b>Rad:</b> vorlaufend, Bogeninnen<br><b>Bereich:</b> Zone 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>Rad:</b> vorlaufend, Bogenausen<br><b>Bereich:</b> Zone 2                                                        | <b>Rad:</b> alle<br><b>Bereich:</b> Zone 3                                                                          |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risse auf der Radlauffläche / Laufflächenquerrisse [Fehlercode R-1115]</li> <li>- Thermische Risse und Krötenhaut [Fehlercode: R-1113]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Risse entwickeln sich in Folge von schlupfbedingter Beanspruchung im Überrollbereich, z.B. durch: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Werkstoffermüdung durch Überbeanspruchung</li> <li>▪ Starke Schlupfbeanspruchung</li> <li>▪ Unzureichende Werkstoffeigenschaften</li> <li>▪ Überladung der Fahrzeuge</li> <li>▪ Ungünstige Fahrwerkprinzipien (starr geführte Radsätze)</li> <li>▪ Schräglauf der Radsätze</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge</li> <li>- Zerstörungsfreie Prüfung, z.B. Magnetpulverprüfung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                              | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radialeinstellbare Radsätze</li> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> <li>- Verbesserung / Optimierung der Berührungsgeometrie</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                               | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausbrüche, Radbruch</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                 | Wenn Risse Messerscharf (RCF 3)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT)                  |                                                                                                                     |
|                                                                                                   | Wenn Risse nicht Messerscharf (RCF 1 & 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wenn Tendenz zu Ausbrüchen: Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen         |                                                                                                                     |
|                                                                                                   | Wenn Risse nicht Messerscharf (RCF 1 & 2)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wenn kein Tendenz zu Ausbrüchen: weiterfahren und beobachten                                                        |                                                                                                                     |

### 3.3.9 Risse auf der Radlaufläche / Lauflächenquerrisse [Fehlercode R-1115]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                    |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Die Laufläche zeigt Risse im Winkel von ca. 90° zur Radumgangsrichtung. Querrisse verlaufen an der Oberfläche in der Regel gerade oder nur wenig gekrümmt. In die Tiefe können die Querrisse radial verlaufen (vorwiegend thermisch initiiert) oder sie verzweigen sich im Umfangsrichtung (vorwiegend mechanisch initiiert). Sie treten als Einzelrisse auf und können mehrfach über den Radumfang verteilt sein.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                    |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                    |
| <b>Verortung</b>                                     | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                    |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Linienförmige Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112]</li> <li>- Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                    |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | <p><b>Fall A – Thermische Anrisse:</b> Radial verlaufende Lauflächenquerrisse treten überwiegend bei klotzgebremsten Fahrzeugen auf und können verursacht werden durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Thermische Überbeanspruchung durch Überbremsung/ Überhitzung des Radkranzes/ Radreifens</li> <li>- Hot Spots</li> <li>- Ungeeignete Werkstoffpaarung Bremssohle- Rad- bzw. Radreifenmaterial</li> </ul> <p><b>Fall B – Mechanische Anrisse:</b> Unter der Laufläche verzweigende Querrisse werden überwiegend mechanisch initiiert und können verursacht werden durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mechanische Überbeanspruchung</li> <li>- ungünstige mechanische Werkstoffeigenschaften</li> </ul> |                                                                                                    |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feststellung des Querrisse <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mit dem blossen Auge</li> <li>▪ Mit zerstörungsfreier Werkstoffprüfung, z.B. Magnetpulverprüfung, Ultraschall</li> </ul> </li> <li>- Feststellung der Ausbreitungsrichtung durch zerstörende Werkstoffuntersuchung möglich (Abdrehversuch, Makroschliff)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                    |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren und anschliessend Risskontrolle</li> <li>- Rad tauschen</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausbrüche, Radbruch</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                    |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Sobald vorhanden und Fahrzeug mit Klotzbremse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |



### 3.3.1 Rillen und Mulden [Fehlercode: R-1116]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | <p>Rillen und Mulden treten umlaufend über den Radumfang auf und können auf der gesamten Laufflächenbreite vorliegen.</p> <p>Mulden sind gekennzeichnet durch eine ausgerundete Kontur ohne scharfkantige Übergänge. Mulden treten partiell über die Laufflächenbreite auf und übersteigen in der Regel eine Breite von 40 bis 50 mm nicht.</p> <p>Rillen sind gekennzeichnet durch scharfkantige Übergänge.</p> <p>Schichtweiser Materialauftrag auf der Reibfläche der Bremssohle möglich.</p> <p>Rillen und Muldenbildungen können bei allen Bremssohlenmaterialien auftreten, sind aber verstärkt bei Verbundstoff- und Sintersohlenanwendungen zu finden.</p> |                                                          |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                          |
| <b>Verortung</b>                                     | - Fase, Zone 1 oder Zone 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                          |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- umlaufende, linienförmige Ausbröckelungen</li> <li>- Drehriefen aus der Bearbeitung</li> <li>- umlaufende Materialverschiebung</li> <li>- Hohllauf</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                          |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- inhomogene Stellen auf der Reibfläche der Bremssohle</li> <li>- ungeeignete Werkstoffpaarung Bremssohle Rad- bzw. Radreifenmaterial</li> <li>- ungünstige Positionierung der Bremssohle im Querprofil</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                          |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Mit dem blossen Auge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                          |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren in Abhängigkeit der Schädigungsform und in Abhängigkeit der dazu vorliegenden Erfahrungswerte</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwendung geeigneter Bremssohlenmaterialien</li> <li>- Optimierung der Bremssohlengeometrie</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                          |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auswirkung auf den Fahrzeuglauf (Aussagen nur anhand berührgeometrischer Auswertungen möglich)</li> <li>- Auswirkungen auf den Verschleiss an Rad und Schiene</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                          |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Tiefe Grösse > 1mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Reprofilierung und Kontrolle Bremssohleneingriffsbereich |
|                                                      | Grösse < 1mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen            |

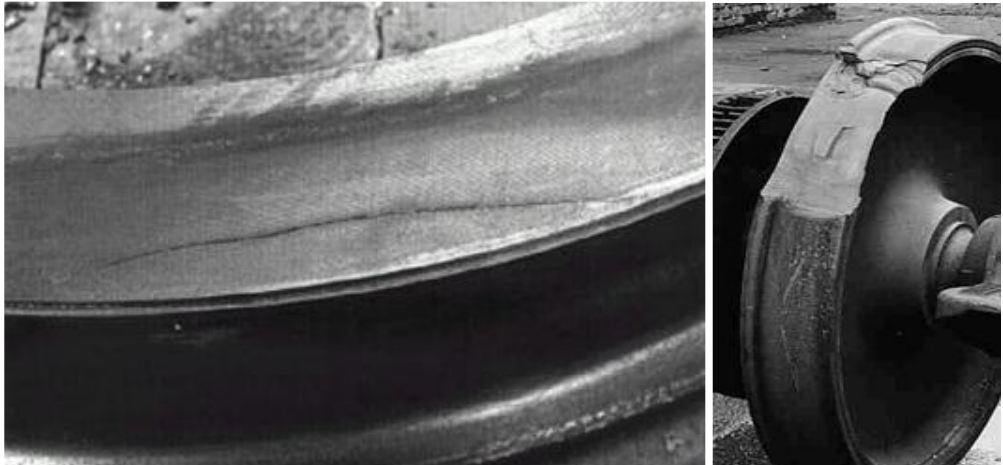
### 3.3.2 Schädigung an der Fase [Fehlercode: R-1118]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                   |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Der Radkranz bzw. Radreifen zeigt an der äusseren Stirnfläche im Bereich der Fase umlaufende Verschleisspuren (Abschürfungen, Riefen) und zum Teil in Umfangsrichtung verlaufende Anrisse oder Ausbrüche.                                                                                                                         |                                                                                                   |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                   |
| <b>Verortung</b>                                     | - Fase, Zone 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                   |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - Partielle Auswalzung [Fehlercode: R-1109]<br>- Fasenquerriss [Fehlercode R-1208]                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                   |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | - Diese Schadensart tritt beim Abbremsen der Wagen mittels einer seitlich an den Rädern angreifenden Gleisbremseinrichtung auf (begünstigt durch Überwalzung der Lauffläche und (oder) fehlerhafte Gleisbremse)<br>- Weitere Ursachen können Entgleisungen oder fehlerhafte Anordnung von Konstruktionselementen in Weichen sein. |                                                                                                   |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Mit dem blossen Auge                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                   |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br>- Radsatztausch (RT)<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Abklärung mit Infrastruktur (schlechte Berührungsgeometrie im Weichenbereich)                                                                                                                                        |                                                                                                   |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b><br>- Gefahr des Radbruchs bei Verwendung von Klotzbremsen<br><b>Infrastruktur</b><br>- Schädigungen bei Weichenfahrt vor allem im Herzstückbereich<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                                                                                |                                                                                                   |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Grösse > 10mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliert (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                      | Grösse zwischen 5-10mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Weiterfahren, Räder reprofiliert (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |
|                                                      | Grösse < 5mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Weiterfahren und beobachten                                                                       |

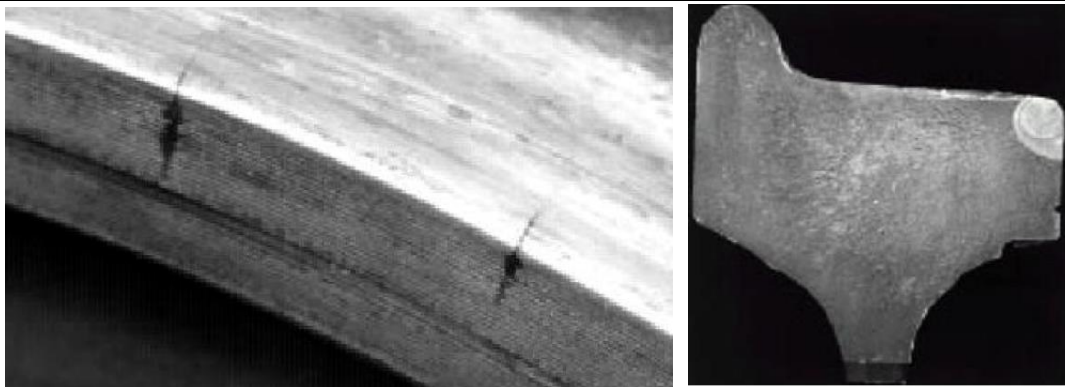
### 3.3.3 Ausbrüche (Shelling) [Fehlercode: R-1119]

|                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                                                 | Ausbrüche sind eine fortgeschrittene Form von RCF-Risse. Wenn diese nicht frühzeitig behandelt werden, wachsen die Risse, bis sich das Material von der Walzoberfläche löst. Ausbrüche werden in Übereinstimmung mit den tangentialen Kraftschlusskräften beobachtet, da sie an der Radoberfläche wachsen.                                                                                                                      |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>Bild 1: Roland Müller<br>Bild 2: Roland Müller<br>Bild 3: UIC B 169/DT 405 [5]<br>Bild 4: UIC B 169/DT 405 [5] | <i>Einzel Ausbruch</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                   |                                                                                                | <i>Mehrfach Ausbrüche um den Radlauflächenumfang</i>                                            |
|                                                                                                                                                | <b>1</b><br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>2</b><br>     | <b>3</b><br> | <b>4</b><br> |
| <b>Verortung</b>                                                                                                                               | - Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 1, 3 und 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                                                              | - Ablätterung [Fehlercode R-1111]<br>- Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]<br>- Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112]                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                                                        | - Ausbrüche entstehen als Folge von RCF und hohen tangentialen Kraftschlusskräften                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                                                              | - Mit dem blossen Auge<br>- Mit dem Gehör<br>- Mit Ortfesten Detektionsanlagen im Gleis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                                                           | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren und anschliessend Kontrolle ob Schäden beseitigt</li> <li>- Radsatztausch (RT)</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> <li>- Verbesserung der Kontaktmechanik Rad-Schiene</li> <li>- Vermeidung mechanischer / thermisch Überbeanspruchung</li> </ul> |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                                                            | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten und Federbrüche</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenbruch, vor allem bei kalten Temperaturen</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lärm, Erschütterungen</li> </ul>                                                                                 |                                                                                                   |                                                                                                |                                                                                                 |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                                                              | Bild 3 und Bild 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliere (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |                                                                                                |                                                                                                 |
|                                                                                                                                                | Bild 1, Bild 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Weiterfahren, Räder reprofiliere (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |                                                                                                |                                                                                                 |

### 3.3.4 Materialtrennung unter der Lauffläche / Ablösung [Fehlercode R-1201]

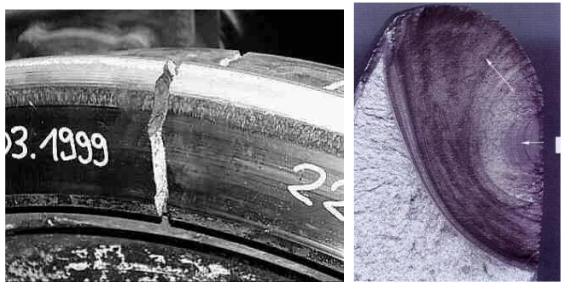
|                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                | <p>Parallel zur Lauffläche treten im Radkranz/Radreifen Materialtrennungen (Risse) unter der Lauffläche auf. Diese Materialtrennungen sind äusserlich zunächst nicht erkennbar. Im fortgeschrittenen Stadium der Schädigung treten die Risse zur äusseren/ inneren Radstirnfläche durch und führen zum grossflächigen Abtrennen von Teilen des Radkranzes/ Spurkranzes. Die Ausbreitung grosser Dauerbruchflächen bis hin zum Verlust von Teilen des Radkranzes wurde auf Grund der bisherigen Erfahrungen vorrangig an nichtklotzgebremsten Radsätzen beobachtet. Das hängt vermutlich mit den deutlich höheren Reprofilierungslaufleistungen dieser Radsätze zusammen. Bei Reprofilierungen können die Materialtrennungen unter der Lauffläche sichtbar werden. Die Ausdehnung der Dauerbruchfläche liegt in einer Grössenordnung von ca. 20 bis 30 cm in der Länge und kann über die gesamte Radkranzbreite reichen.</p> |                                                     |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Bild Links: UIC B 169/DT 405 [5]<br><br>Bild rechts: UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                     |
| <b>Verortung</b>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entlang des Radumfangs, vor Allem Zone 1, 3 und 4</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                     |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- keine</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                     |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellungsfehler (nichtmetallische Einschlüsse, Gefügeunregelmässigkeiten)</li> <li>- Materialtrennung unter der Lauffläche können auch durch Überbeanspruchungen hervorgerufen werden, ohne dass Herstellungsfehler festgestellt werden</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                     |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, z.B. UT – Prüfung</li> <li>- Im fortgeschrittenen Stadium mit dem blossen Augen anhand des seitlichen Rissaustrittes oder eventuellen lokalen Ausbröckelungen auf der Radlauffläche</li> <li>- Im fortgeschrittene Stadium lokalen Ausbröckelungen auf der Radlauffläche</li> <li>- Mit ortfesten Detektionsanlagen im Gleis</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                     |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                           | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radbruch</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                     |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                          | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radsatztausch (RT)</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung des Herstellungsverfahrens</li> <li>- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften</li> <li>- Verbesserung der Kontaktmechanik Rad-Schiene</li> <li>- Vermeidung mechanischer / thermisch Überbeanspruchung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                     |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                             | Sobald vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Sofort ausser Betrieb setzen und Radsatztausch (RT) |

### 3.3.5 Fasenquerriss [Fehlercode R-1208]

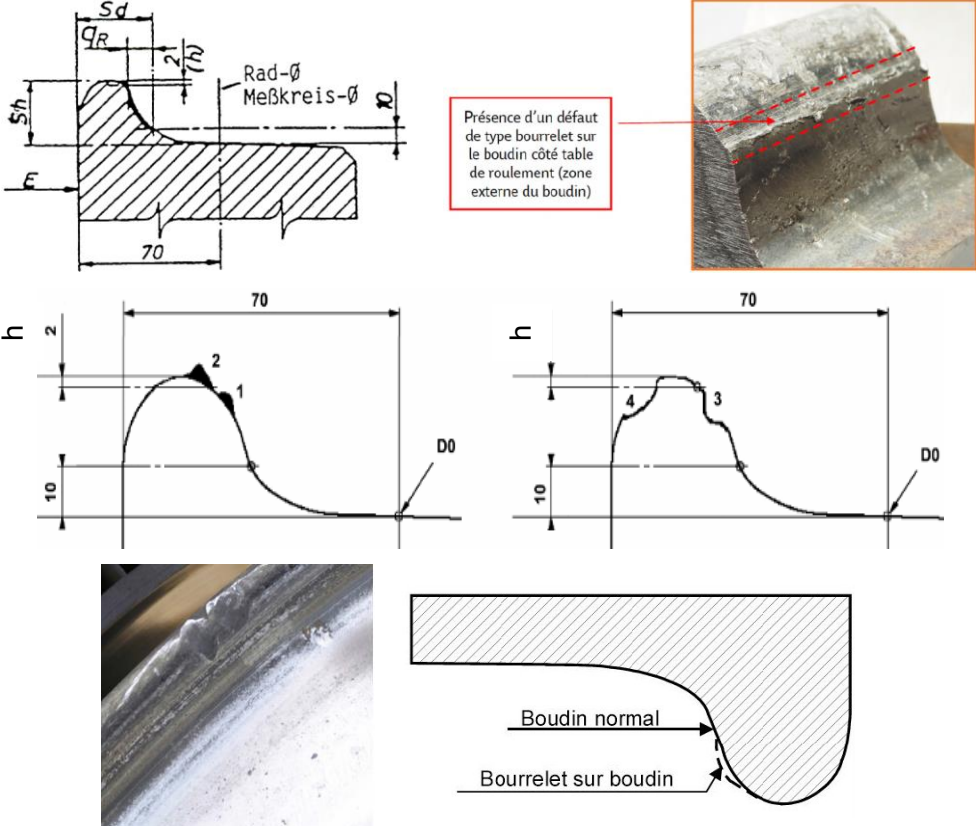
|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Ausgangspunkt der Fasenquerrisse ist die äussere Radkranz- bzw. Radreifenstirnfläche am Übergang zur Lauffläche. Fasenquerrisse können an mehreren Stellen des gesamten Umganges auftreten.                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Verortung</b>                                     | - Fase, Zone 1                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | - <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | - Überschleifende Bremsklotzsohlen<br>- Thermische Überbeanspruchung durch die Klotzbremse                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | - Mit dem blossen Auge<br>- Zerstörungsfreie Prüfung, z.B. UT                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren und anschliessend Risskontrolle</li> <li>- Radsatztausch (RT)</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Behebung überschleifende Bremssohlen</li> <li>- Risskontrolle</li> </ul> |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radbruch</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                     |                                                                                                                                                                                               |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Sobald vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT)</li> <li>- UT-Prüfung auf Rissfreiheit</li> </ul> |



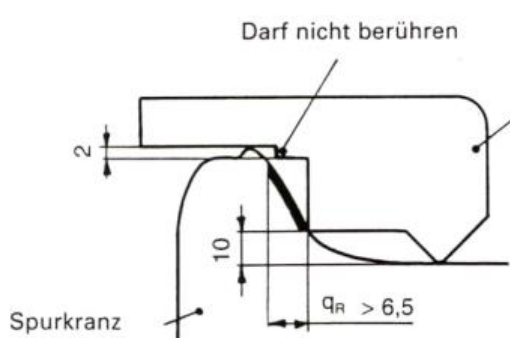
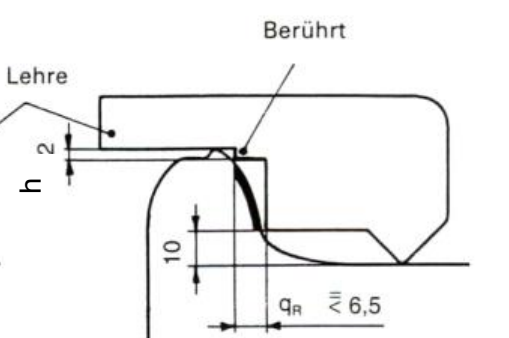
### 3.3.6 Risse am Spurkranz [Fehlercode R-1210]

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                     |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                       | Der Spurkranz zeigt Anrisse an der Spurkranzrückenfläche und/oder Spurkranzflanke. Die Anrisse können einzeln oder mehrfach über den Radumfang auftreten.                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                     |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>UIC B 169/DT 405 [5] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                     |
| <b>Verortung</b>                                     | - Spurkranz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                     |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                    | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                     |
| <b>Mögliche Ursache</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rissbildung an der äusseren Spurkranzflanke auf Grund von hohen Schlupfkraften im Kontakt Spurkranz – Schienenflanke in Bögen</li> <li>- Rissbildung an der inneren Spurkranzflanke auf Grund von hohen Reibkräften zwischen Spurkranz und Zwangsführungsstellen des Gleises (z.B. Radlenker)</li> <li>- Fehlerhaft ausgeführte Auftragsschweissungen.</li> </ul> |                                                     |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit dem blossen Auge</li> <li>- Zerstörungsfreie Prüfung, z.B. UT</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                     |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                 | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radsatztausch (RT)</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>-</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                       |                                                     |
| <b>Auswirkungen</b>                                  | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radbruch</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                                                                                    |                                                     |
| <b>Empfehlung</b>                                    | Sobald vorhanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sofort ausser Betrieb setzen und Radsatztausch (RT) |

### 3.3.7 Schädigung Spurkranzkuppe [Fehlercode: R-1211]

|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                      | Der Spurkranz zeigt Schädigungen an der Spurkranzkuppe. Die Schädigung kann einzeln oder mehrfach über der Radumfang auftreten.                                                                  |                                                                                                   |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Bild unten links: SN-EN 15313 [4]<br><br>Andere Bilder: AVV [8] |                                                                                                               |                                                                                                   |
| <b>Verortung</b>                                                                                    | - Spurkranz                                                                                                                                                                                      |                                                                                                   |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                   | - Spurkranz mit Gratbildung (Überwälzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212]                                                                                                                    |                                                                                                   |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                             | - Schläge von Fremdkörpern<br>- Weitere Ursachen können Entgleisungen oder fehlerhafte Anordnung von Konstruktionselementen in Weichen sein.<br>- Fließen des Werkstoffes an der Spurkranzflanke |                                                                                                   |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                   | - Mit dem blossen Auge                                                                                                                                                                           |                                                                                                   |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br>- Radsatztausch (RT)<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Abklärung mit Infrastruktur (schlechte Berührungsgeometrie im Weichenbereich)       |                                                                                                   |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                 | <b>Rollmaterial</b><br>- Entgleisung<br><b>Infrastruktur</b><br>- Schädigungen bei Weichenfahrt<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                      |                                                                                                   |
| <b>Empfehlung</b><br><br>Aus AVV [8][8], Werte für Normalspur                                       | $h \geq 2\text{mm}$                                                                                                                                                                              | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliere (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                                                                     | $1\text{mm} \leq h < 2\text{mm}$                                                                                                                                                                 | Weiterfahren, Räder reprofiliere (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |
|                                                                                                     | $h < 1\text{mm}$                                                                                                                                                                                 | Weiterfahren und beobachten                                                                       |

### 3.3.8 Spurkranz mit Gratbildung (Überwälzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212]

|                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                             | Der Spurkranz zeigt eine Überwälzung aufgrund starkem Spurkranzverschleiss. Durch die hohen Kontaktkräfte zwischen Rad und Schiene verformt sich das Material plastisch in Richtung der Spurkranzkuppe und erzeugt eine Gratbildung.                                                                                                                                                          |                                                                                                   |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>AVV [8]                | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Spurkranz annehmbar</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Spurkranz nicht annehmbar</p>  </div> </div>         |                                                                                                   |
| <b>Verortung</b>                                           | - Spurkranz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                   |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schädigung Spurkranzkuppe [Fehlercode: R-1211]</li> <li>- Ungünstige Rad-/Schiennenprofil Paarung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                   |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                    | - Spurkranzverschleiss (Spitze Spurkranz)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                   |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                          | - Mit dem blossen Auge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                   |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                       | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprofilieren (wenn möglich)</li> <li>- Radsatztausch (RT)</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung der Radialeinstellung der Radsätze</li> <li>- Verbesserung Radmaterial</li> <li>- Überprüfung der Wirksamkeit der Spurkranzschmierung</li> </ul> |                                                                                                   |
| <b>Auswirkungen</b>                                        | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entgleisung</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schädigungen bei Weichenfahrt</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                       |                                                                                                   |
| <b>Empfehlung</b><br><br>Aus AVV [8], Werte für Normalspur | $h \geq 2$ & $q_R \leq 4.5$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofiliere (R0) oder (falls nötig) Radsatz tauschen (RT) |
|                                                            | $1 \leq h < 2$ & $q_R > 4.5$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Weiterfahren, Räder reprofiliere (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen      |
|                                                            | $h < 1$ & $q_R > 4.5$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Weiterfahren und beobachten                                                                       |

### 3.3.9 Radiale Berührungspuren und Beschädigungen an der inneren Radkranzstirnfläche [Fehlercode: R-1213]

|                                                     |                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                      | Diese Berührungsspuren (Kratzer, Kerben oder Eindrückungen) sind auf die Führungsmechanismen des Befahren bei Weichen, wie z.B. der Radlenker, zurückzuführen.                             |                                                                                                                                                                   |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>SN-EN-15313 [4] |                                                                                                          |                                                                                                                                                                   |
| <b>Verortung</b>                                    | - Spurkranz                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                   |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                   | -                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                   |
| <b>Mögliche Ursache</b>                             | - Fremdkörper in den Spurführungsvorrichtungen<br>- Geometrie des Radsatzes, des Radprofil oder der Weiche ausserhalb der Betriebstoleranzen                                               |                                                                                                                                                                   |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                   | - Mit der blossen Auge                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                   |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Reprofilieren<br>- Radsatztausch (RT)<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Abklärung mit Infrastruktur (schlechte Berührungsgeometrie im Weichenbereich) |                                                                                                                                                                   |
| <b>Auswirkungen</b>                                 | <b>Rollmaterial</b><br>- Entgleisung<br><b>Infrastruktur</b><br>- Schädigungen bei Weichenfahrt<br><b>Umwelt</b><br>- Keine                                                                |                                                                                                                                                                   |
| <b>Empfehlung</b>                                   | Sobald vorhanden und scharfkantig                                                                                                                                                          | Sofort ausser Betrieb setzen und Räder reprofilieren (R0) – wenn die zulässigen Masse des $A_R$ eingehalten sind (Siehe R RTE 29500 [9] – oder Radsatztausch (RT) |
|                                                     | Wenn nicht scharfkantig                                                                                                                                                                    | Weiterfahren, Räder reprofilieren (R0) planen – wenn möglich – oder Radsatztausch (RT) planen                                                                     |

## 4 Schienenschädigungen

### 4.1 Verortung und Codierung der kontaktmechanische Schaden an der Schienenfahrfläche

Um die Schadensart an der Schienen zu identifizieren, ist es zuerst notwendig, die Zone zu bestimmen, die in direktem Kontakt mit der Radlauflächen sind und wo der Schaden auftreten:

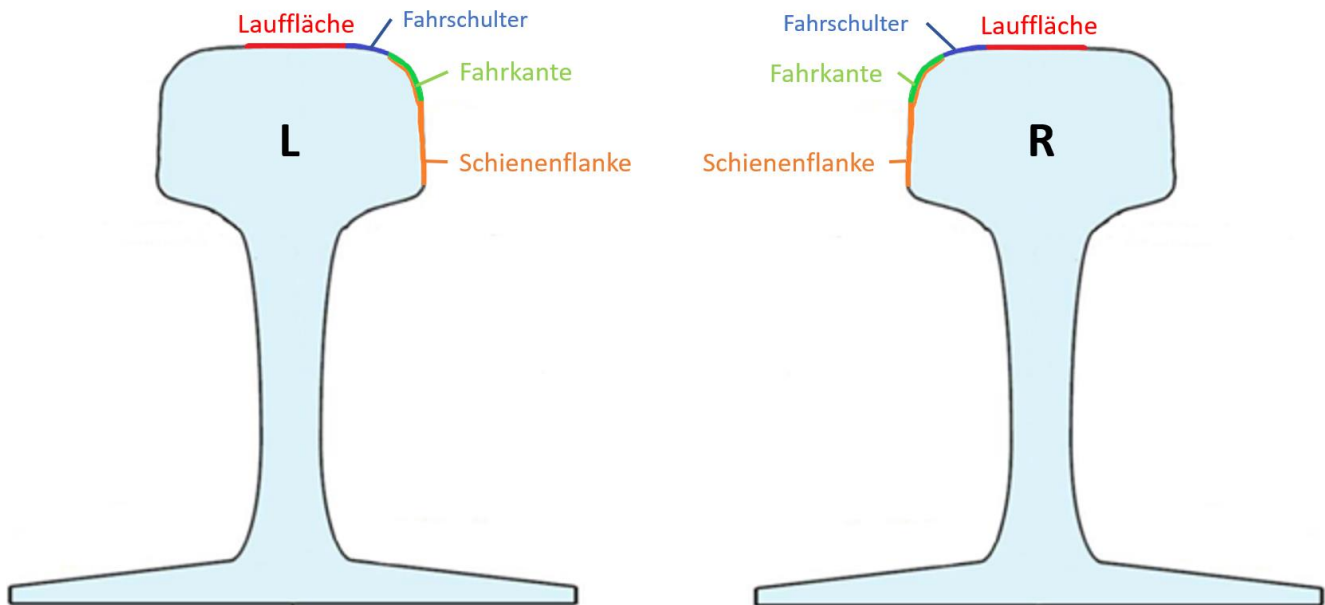


Abbildung 19: Querschnitt Schiene (L: Linke Schiene, R: Rechte Schiene)

#### Lauffläche

Ist die mittlere Teil des Schienenkopfes. Für die 46E1 Schiene wird diese Zone durch die beiden Radien R300mm und R80mm begrenzt.

#### Fahrschulter

Ist der Schienenkopfteil, der die Lauffläche mit der Fahrkante verbindet. Für die 46E1 Schiene ist diese Zone durch die zwei Radien R300mm und R80mm begrenzt

#### Fahrkante

Die Fahrkante bezieht sich auf den Teil der inneren Schienenflanke (von denen sie ein Teil ist.), der mit dem Rad in Berührung kommt. Für die 46E1 Schiene ist diese Zone durch die zwei Radien R80mm und R13mm begrenzt

#### Schienenflanke

Der Schienenflanken bezieht sich auf die seitlichen Enden des Schienenkopfes. Bei den Schienenflanken wird zwischen denjenigen in Richtung Gleismitte und in Richtung der Gleisaussenseite unterschieden. Der Begriff Schienenflanke umfasst auch die Fahrkante. Für die 46E1 Schiene ist diese Zone ab Radius R13mm definiert.



## 4.2 Codierung der kontaktmechanischen Schäden an der Schienenfahrfläche

Die *Tabelle 3* gibt einen Überblick über die Codierung nach EN-17397-1<sup>10</sup>.

- Die erste Zahl unterscheidet die Situation des Fehlers.
- Die zweite Zahl unterscheidet die Lage des Fehlers.
- Die dritte Zahl unterscheidet die Muster, Art oder die Ursprung, Ursache des Fehlers.
- Die vierte Zahl dient für Zusätzliche Eigenschaften und Unterscheidungen der Fehler

| 1. Zahl                                            | 2. Zahl                                                                                                                                                                                                                       | 3. Zahl                                                                                                                                                                                      | 4. Zahl                                        |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Situation                                          | Lage                                                                                                                                                                                                                          | Muster, Art                                                                                                                                                                                  |                                                |
| 1. Schienenende<br>2. Vollschiene                  | 0. Vollquerschnitt<br>1. Schienenkopf<br>3. Steg<br>5. Fuss                                                                                                                                                                   | 0. Unbekannte Herkunft<br>1. Quer<br>2. Horizontal<br>3. Vertikal in Längsrichtung<br>4. Korrosion<br>5. Durch ein Loch durchgehend<br>6. Nicht durch ein Loch durchgehend<br>9. Überwälzung | Zusätzliche Eigenschaften und Unterscheidungen |
| Situation                                          | Lage                                                                                                                                                                                                                          | Muster, Art                                                                                                                                                                                  | Keine 4. Stelle                                |
| 3. Durch Schäden an der Schiene verursachte Fehler | 0. Vollquerschnitt                                                                                                                                                                                                            | 1. Quetschen<br>2. Fehlerhafte maschinelle Bearbeitung<br>3. Dauerhafte Verformung                                                                                                           |                                                |
| Situation                                          | Lage                                                                                                                                                                                                                          | Muster, Art                                                                                                                                                                                  |                                                |
| 4. Schweiss- und Auftragsschweißfehler             | 1. Abbrennstrumpfschweissen<br>2. Aluminothermisches Schweißen<br>3. Lichtbogenschweissen<br>4. Autogenschweissen<br>5. Druckgasschweissen<br>6. Induktionsschweissen<br>7. Auftragsschweissen<br>8. Andere Schweissverfahren | 1. Quer<br>2. Horizontal oder Schälern<br>5. Schleuderstellen<br>7. Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche                                                                          | Zusätzliche Eigenschaften und Unterscheidungen |

*Tabelle 3: Schienenfehlercodierungssystem aus EN-17397-1*

Die Codierung für das *Schadenskatalog Interaktion* erfolgt in Anlehnung an die EN-17397-1.

Zusätzlich zur Codierung nach EN-17397-1 wird der Radfehlercode vom Schienenfehlercode unterschieden:

- Fehlercodierungen mit einem vorangestellten **R** beziehen sich auf **Radfehler**
- Fehlercodierungen mit einem vorangestellten **S** beziehen sich auf **Schienenfehler**

Die Codierung für Schienenfehler wird in der Folge wie folgt definiert:

➔ Fehlercode: **S- \_ \_ \_ \_**

Die *Tabelle 4* gibt einen Überblick über die berücksichtigten Schäden aus der EN-17397-1 im vorliegenden *Schadenskatalog Interaktion Kontaktflächen für die Schienen*:

<sup>10</sup> EN-17397-1 Bahnanwendungen – Schienenfehler Teil 1: Handhabung von Schienenfehlern, 2021 [10]

| S-1_ _ _ | Fehler in Schienenenden |                                                               | SN-EN-17397 | Schadenskatalog Interaktion - Kontaktflächen Schiene |
|----------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------|
|          | S-11_ _<br>S-12_ _      | Kopf                                                          | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-111_ Querriss                                               | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-112_ Horizontaler Riss                                      | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-113_ Vertikaler Riss in Längsrichtung                       | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-114_ Korrosion                                              | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-121_ Oberflächenfehler                                      | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-1211 Abblätterung                                           | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-1212 Längsrille                                             | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-1213 Rollflächenüberwalzung                                 | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-122_ Schälern der Lauffläche                                | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-1221 Fahrkantenausbruch «Shelling»                          | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-1222 Schälern / Fahrkanten-Abblätterungen «Flaking»         | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-1223 Head Check                                             | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-123_ Stauchen                                               | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-124_ Lokale Schrägung der Fahrfläche                        | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-125_ Isolierte / Einzelne Schleuderstelle                   | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-127_ Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-128_ Vertikaler Riss im Schienenquerschnitt                 | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-129_ Kontinuierliche Auswalzung (Schrägung) der Fahrfläche  | ✓           |                                                      |
|          | S-13_ _                 | Steg                                                          | ✓           |                                                      |
|          | S-15_ _                 | Fuss                                                          | ✓           |                                                      |
| S-2_ _ _ | Fehler in Vollschienen  |                                                               |             |                                                      |
|          | S-20_ _                 | Vollquerschnitt                                               | ✓           |                                                      |
|          | S-21_ _<br>S-22_ _      | Kopf                                                          | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-211_ Querriss                                               | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-212_ Horizontaler Riss                                      | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-213_ Vertikaler Riss in Längsrichtung                       | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-220_ Verschleiss                                            | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2201 Riffel                                                 | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-2202 Schlupfwellen                                          | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-2203 Übermässiger seitlicher Verschleiss                    | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2204 Übermässiger vertikaler Verschleiss                    | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-221_ Fahrflächenfehler                                      | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2211 Abblätterung                                           | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-2212 Längsrille                                             | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2213 Rollflächenüberwalzung                                 | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-222_ Fahrkantenfehler                                       | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2221 Fahrkantenausbruch «Shelling»                          | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-2222 Schälern / Fahrkanten-Abblätterungen «Flaking»         | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-2223 Head Check                                             | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-223_ Stauchen                                               | ✓           | ✓                                                    |
|          |                         | S-224_ Lokale Schrägung der Fahrfläche                        | ✓           |                                                      |
|          |                         | S-225_ Schleuderstelle                                        | ✓           |                                                      |

|          |                                             |        |                                                             |   |   |
|----------|---------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------|---|---|
|          |                                             | S-2251 | Isolierte / Einzelne Schleuderstelle                        | ✓ | ✓ |
|          |                                             | S-2252 | Mehrere Schleuderstelle                                     | ✓ | ✓ |
|          | S-227_                                      |        | Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche      | ✓ | ✓ |
|          | S-228_                                      |        | Kontinuierliche Auswalzung                                  | ✓ |   |
|          | S-228_                                      |        | Lokale Absenkung der Fahrfläche durch Tropfwasser in Tunnel | ✓ |   |
|          | S-23_ _                                     |        | Steg                                                        | ✓ |   |
|          | S-25_ _                                     |        | Fuss                                                        | ✓ |   |
| <b>3</b> | <b>Fehler durch Schäden an der Schiene</b>  |        |                                                             | ✓ |   |
|          | S-30_ _                                     |        | Vollquerschnitt                                             | ✓ |   |
|          |                                             | S-301_ | Eindrückungen / Quetschen                                   | ✓ | ✓ |
|          |                                             | S-302_ | Fehlerhafte maschinelle Bearbeitung                         | ✓ |   |
|          |                                             | S-303_ | Dauerhafte Verformung                                       | ✓ |   |
| <b>4</b> | <b>Schweiss und Auftragsschweisssfehler</b> |        |                                                             | ✓ |   |

*Tabelle 4: Schäden aus dem EN-17397 im Katalog Meterspur übernommen (graue Spalte). Klassifizierung der Schienenschädigungen nach EN-17397*

### 4.3 Zusammenstellung von kontaktmechanischen Schäden an den Schienenfahrfläche

Da sich dieses Lieferobjekt nur auf Fehler aufgrund der Kontaktmechanik fokussiert, werden nicht alle Fehler in der *Tabelle 3* dargestellt und entsprechend kodiert.

#### 4.3.1 Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211]

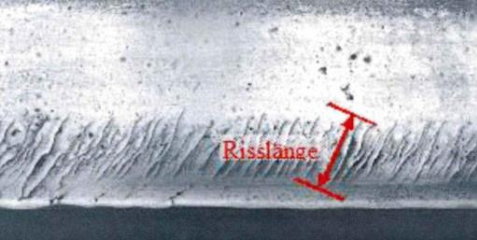
|                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                 | Spalling, welcher der Rollkontaktermüdung zuzuordnen ist, bildet zunächst eine scheinbar wellenförmige Verformung der Fahrfläche.<br>An Stellen mit wenig Verschleiss und höheren Belastungen beginnt die Abblätterung durch Rollkontaktermüdung, meistens an der Fahrfläche der bogeninneren Schienen, sie kann jedoch auch im geraden Gleis auftreten.<br>Sie beginnen auf der Fahrfläche der Schienen und setzen sich in Form von Verlust von Material der Schienenoberfläche fort.<br>Sie sind sichtbar und haben im Allgemeinen eine geringe Tiefe, breiten sich tendenziell in Längsrichtung aus und verbinden sich zu einem Netz aus Rissen, sie werden manchmal auch als Schlangenhaut bezeichnet. |                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Links und Mitte: EN-17397-1 [10]<br>Rechts: Rhätische Bahn |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                                                                               | - Lauffläche der bogeninneren Schienen, Lauffläche im geraden Gleis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                              | - Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221] im Gegensatz zu Spalling, ist durch Materialausbrüche an der Fahrkante und Fahrschulter charakterisiert                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                        | - Sehr hohe Kontaktspannung<br>- Höhe Kraftschlusskräfte in Längsrichtung<br>- Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                              | - Mit blossem Auge<br>- (Ultraschallprüfung) oder Wirbelstrom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                           | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene bearbeiten (Schleifen, Fräsen)</li> <li>- Schiene ausbauen</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Präventive Instandhaltung (Schienenschleifen bei ersten Anzeichen)</li> <li>- Verbesserung Schienenwerkstoff</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                            | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche, Radbruch</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenbruch</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erschütterungen, Lärm</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                        |
| <b>Empfehlung</b>                                                                              | Spalling im Spätstadium<br>Tiefe > 5 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sofort Schienen fräsen oder wechseln                                                                   |
|                                                                                                | Spalling im Frühstadium<br>Deutlich tiefer als 5 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |

#### 4.3.2 Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221]

|                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                 | <p>Der Schienenfehler Shelling zeigt Ausbrüche an der Fahrkante, die im Inneren des Schienenkopfes initiiert werden.</p> <p>Die Risse bilden sich in horizontaler Richtung unter der Oberfläche an der Fahrkante. Dabei zeigen sich in unregelmässigen Abständen längliche Ausbrüche an der Fahrkante.</p> <p>Die Risse breiten sich im Innen der Schiene in Richtung der Oberfläche aus. Sie bewirken im fortgeschrittenen Stadium ein Ausbrechen des Materials an der Fahrkante und örtliche Einsenkungen der Fahrfläche.</p> |                                                                                                                          |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Bild oben: Engineering Manual Tracks [11]<br><br>Bild unten: Roland Müller |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                          |
| <b>Verortung</b>                                                                                               | - Fahrkante des Schienenkopfs, üblicherweise an den Aussenschienen in Kurven                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                          |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                              | - Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                          |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mangelhafte Schleifprogramme</li> <li>- Ungeeignete Schmierprogramme</li> <li>- Rollkontaktermüdung</li> <li>- Hohe Flächenpressung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                          |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit blossen Auge</li> <li>- Automatische optische Prüfung</li> <li>- Ultraschallprüfung (bei Rissen)</li> <li>- Wirbelstrom Prüfung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                          |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                           | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <p>Je nach Tiefe der Fahrkantenausbruch:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene Beobachten</li> <li>- Schiene ausbauen</li> <li>- Schiene unverzüglich ausbauen</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schmierprogramme optimieren</li> <li>- Verbesserung Paarung Rad- und Schiene (Profile, Schienenstahl)</li> </ul>                                                                                                      |                                                                                                                          |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                            | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche, Radbruch</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenbruch</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erschütterungen, Lärm</li> </ul>                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                          |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                              | Fahrkantenausbruch im Spätstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Sofort Schienen fräsen (mit Rissprüfung) oder wechseln                                                                   |
|                                                                                                                | Fahrkantenausbruch im Frühstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen (mit Rissprüfung). Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |



### 4.3.3 Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b><br>Richtlinie 821.2007 [12]      | Head Checks entstehen meist in hochbelasteten Gleisen in grösseren Bogenradien an der Fahrschulter der Aussenschiene. Nachdem die Risstiefe 3 - 5 mm erreicht hat, wächst der Riss mit zunehmender Geschwindigkeit. Wachsen Risse zusammen kann es zu Spalling / Ausbrüche oder im Extremfall zum Schienenbruch kommen. Die Risswachstumsgeschwindigkeit ist dabei immer höher als der durch Schienenverschleiss entstehende Materialabtrag. Risse werden daher nicht durch Schienenverschleiss „herausgeschliffen“. In engen Bögen treten Head Checks aufgrund des hohen Schienenverschleisses nicht auf oder wachsen nicht. <div data-bbox="389 394 868 633">  </div> Abbildung: Richtlinie 821.2007 [12] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>EN-17397-1 [10] | <b>Head Checks der 1. Stufe</b><br>Sichtbare Länge der Head-checks kleiner 20 mm. <div data-bbox="389 804 735 1059">  </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Head Checks der 2. Stufe</b><br>Sichtbare Länge der Head-checks grösser 20 mm. Bildung schwarzer Bereiche entlang der Risse. Die Risse breiten sich in das Innere des Schienenkopfes aus. <div data-bbox="740 804 1118 1059">  </div> | <b>Head Checks der 3. Stufe</b><br>Es zeigen sich Stellen mit Ausbrüche (Shelling). Die Ausbrüche sind eine Folge davon, dass die längeren Risse unterhalb die Oberfläche vereinigt haben. <div data-bbox="1123 804 1481 1059">  </div> |
| <b>Verortung</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- In Bögen: an der Fahrkante/Fahrschulter der äusseren Schiene</li> <li>- In geraden Gleis: an der Lauffläche der beiden Schiene</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Mögliche Ursache</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rollkontaktermüdung</li> <li>- Erhöhte Tangentialkräfte im Kontakt zwischen Rad und Schiene</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit blossen Auge in jedem Stadium</li> <li>- Vor dem Ausbruch in einem Frühstadium und bis 5 mm Tiefe mit Wirbelstrom</li> <li>- Ultraschallprüfung, wenn die Risse tiefer als 5 mm sind. Die korrekte Bewertung der Tiefe kann durch Abschirmeffekte benachbarter Risse beeinträchtigt werden.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>            | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene beobachten</li> <li>- Reprofilierung (Schleifen oder Fräsen) oder Ersatz, je nach Tiefe</li> <li>- Notverlaschung</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung Paarung Rad- / Schienenwerkstoffe</li> <li>- Radialeinstellbare Radsätze</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Auswirkungen</b>                             | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine (Head Check Stufe 1) bis Einfluss auf Fahrkomfort, Lose Fahrwerkkomponenten, Federbrüche, Radbruch (Head Check Stufe 2 und 3)</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intensive Schleif- und Fräsintervalle</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine (Head Check Stufe 1) bis Einfluss auf Lärm und Erschütterung (Head Check Stufe 2 und 3)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Empfehlung</b>                               | Head Checks der 3. Stufe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Sofort Schienen fräsen oder wechseln. Wenn nicht möglich Prüfung Langsamfahrt und/oder Notverlaschung bis zur Beseitigung.                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                                                 | Head Checks der 1. und der 2. Stufe                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen.                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

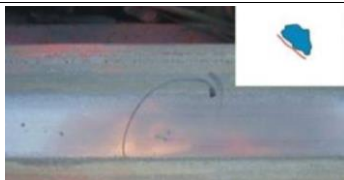
#### 4.3.4 Plastische Verformung (Überwalzung-Quetschung-Gratbildung) [Fehlercode S-123 / S-223]

|                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                           | Man beobachtet eine Einsenkung der Lauffläche und eine Verbreiterung des Fahrspiegels. Der Werkstoff wird nach der Seite und bei Schienenstössen manchmal zum Schienenende hin verdrängt. Im äussersten Fall kann sich ein Grat bilden, der dazu neigt, sich von der Schiene zu lösen.                                                                                                                                                        |                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>Bild links: EN-17397 [10]<br>Bild rechts: Rhätische Bahn |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrfläche</li> <li>- Fahrshulter</li> <li>- Fahrkante</li> <li>- Meist am Schienenende hinter der Schienenstosslücke in Fahrtrichtung</li> <li>- Bei den Thermitschweissungen</li> <li>- Flügelschiene und Stockschiene</li> <li>- Herzstückspitze</li> </ul>                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Übermässigem vertikalem Verschleiss</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stossbelastung</li> <li>- Plastisches Fliesen</li> <li>- Schlagbeanspruchung vor allem in Herzstücken von Weichen</li> <li>- Schleuderstellen</li> <li>- Zu weiche Schienenwerkstoffe</li> <li>- Gefügeveränderung bei Thermitschweissungen (hohe Temperatureinwirkung)</li> </ul>                                                                                                                   |                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit blossen Auge</li> <li>- Durch Lärm bei der Überfahrt von Zügen</li> <li>- (Profilmessung)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                        |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                     | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene beobachten</li> <li>- Eventuell abschleifen des Grates</li> <li>- Ausbessern durch Auftragsschweissung</li> <li>- Schienenwechsel</li> </ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenstahlsorte bewerten</li> <li>- Verbesserung Schweissverfahren</li> <li>- Beheben von Unstetigkeiten im Fahrflächenverlauf</li> </ul> |                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                      | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort</li> </ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenbruch, Schwellenhohllagen, hohe Schotterbeanspruchung</li> </ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erschütterungen, Lärm</li> </ul>                                                                                                                            |                                                                                                        |
| <b>Empfehlung</b>                                                                        | Plastische Verformung im Spätstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Sofort Schienenwechseln                                                                                |
|                                                                                          | Plastische Verformung im Frühstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |

#### 4.3.5 Isolierte / Einzelne Schleuderstelle [Fehlercode S-125 / S-2251]; Mehrere Schleuderstelle [Fehlercode S-2252]

|                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                              | <p>Schleuderstellen können auf allen Strecken, vor allem in Anfahr- und Bremsbereichen durch das Schleudern einer oder mehrerer angetriebener Achsen der Triebfahrzeuge/ Triebzüge entstehen. Schleuderstellen finden sich in der Regel gegenüberliegend auf beiden Schienen. Das ein- oder mehrmalige Schleudern verursacht einen aufgehärteten Fleck mit ovalem Umriss oder länglicher Ausdehnung. Die durch die thermomechanische Beanspruchung entstandenen Risse in der Schleuderstelle können sich vereinigen und zu Materialausbüchen aus der Fahrfläche führen. Unter der Einwirkung des Befahrens kommt es allmählich zu einer Vertiefung der Lauffläche, die zu einer erhöhten dynamischen Belastung führt. Einzelne Risse können in Richtung Schienensteg weiterwachsen und insbesondere in Kälteperioden zu einem senkrechten Dauerbruch führen.</p> <p>Schleuderstellen können in der Regel durch eine Einzelfehlerbeseitigung (Auftragsschweißen) beseitigt werden. Lediglich bei einem extremen Schadensausmass oder bei Häufung der Fehler ist der Ausbau der Schiene erforderlich.</p> <p>Schleuderstellen sollen so früh wie möglich mittels Auftragsschweissung beseitigt werden.</p> |                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>Bild links: EN 17397 [10]<br>Bild Mitte: IRS 70712 [13]<br>Bild rechts: RhB | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <b>Schleuderstelle<br/>(Antrieb)</b>  </div> <div style="text-align: center;"> <b>Schleuderstelle<br/>(Schnellbremspur)</b>  </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lauffläche</li> <li>- Fahrschulter</li> <li>- Im Allgemeinen an Schienen in der Nähe von Haltsignalen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211]</li> <li>- Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine oder schlechte Traktionsregelung bzw. Schleuderschutz</li> <li>- Radschlupf</li> <li>- Reibungsmanagement (schlechte Adhäsionsverhältnisse)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit blossem Auge</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                        | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene mit welligem Erscheinungsbild beobachten</li> <li>- Gegebenenfalls Ausschleifen leichter Schleuderstellen</li> <li>- Schienen mit «Netzrissen», die in der Nähe der Schleuderstelle bis an die Fahrkante reichen ausbauen</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimierung Antriebsregelung und Schleuderschutz</li> <li>- Schulung Lokpersonal</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                         | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erschütterungen, Lärm</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                        |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                           | Schleuderstelle im Spätstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sofort Schienen fräsen oder wechseln                                                                   |
|                                                                                                             | Schleuderstelle im Frühstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |

#### 4.3.6 Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]

|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                                                                       | Dieser Fehler zeigt sich auf der Lauffläche als Verbreiterung und örtliche Einsenkung des Fahrschulter (nierenförmigen Erweiterung des Fahrspiegels), begleitet von einem dunklen Fleck und bogenförmigen oder v-förmigen Rissen. Im Englischen bedeutet „to squat“ „sich hinhocken“ oder „in die Hocke gehen“. Da Squats nie in Tunneln gefunden wurden, wurde auch ein gewisser Anteil an hydraulisch beschleunigtem Risswachstum vermutet. Diese Risse breiten sich in das Innere des Schienenkopfes aus. Das Risswachstum erfolgt zuerst in einem flachen Winkel zur Fahrfläche. Nachdem eine Risstiefe von 3 bis 5 mm erreicht ist, biegen sie in Querrichtung nach unten ab und können einen Schienenbruch verursachen. Squats können nach Form in den drei folgenden Klassen klassifiziert werden und können einzeln oder mehrfach auf der Schienen auftreten. |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Einzeln Squats:<br>Schienenfehlerkatalog [14]<br>Mehrfach Squats:<br>Zentralbahn | <i>Einzeln Squat</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                      | <b>Klasse 1/A/leicht</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Kleiner Eindruck</li><li>- Riss an Oberfläche</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Klasse 2/B/mittel</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Fahrspiegelverbreiterung</li><li>- V-Riss an Oberfläche</li></ul> | <b>Klasse 3/C/schwer</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Starke Fahrspiegelverbreiterung</li><li>- V-Riss und gegenüberliegender Riss</li><li>- Ausbrüche der Oberfläche</li></ul> |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                  |                                                                                                         |
|                                                                                                                      | <i>Mehrfach Squats</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Verortung</b>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Lauffläche</li><li>- Fahrschulter</li><li>- In geraden Gleisen oder grossen Bögen</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>- White Etching Layers – WEL</li><li>- Studs</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"><li>- Rollkontaktermüdung</li><li>- Geringe Werkstofffestigkeit</li><li>- Vieles noch nicht bekannt</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>- Mit blosssem Auge</li><li>- Ultraschallprüfung zur Ermittlung der Risstiefe</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                                                                                 | <b>Korrektive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Schienenwechseln</li><li>- Schienenfräsen</li></ul> <b>Präventive Massnahme:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Keine präventiven Massnahmen bekannt, da Auftreten bei den meisten Meterspurbahnen bisher nur selten festgestellt</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Auswirkungen</b>                                                                                                  | <b>Rollmaterial</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Fahrkomfort</li></ul> <b>Infrastruktur</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Schienenbruch</li></ul> <b>Umwelt</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Erschütterungen, Lärm</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                            |
| <b>Empfehlung</b>                                                                                                    | Squat im Spätstadium oder mehrfach Squats                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Sofort Schienenwechseln. Langsamfahrt bis zum Wechseln                                                                             |                                                                                                                                                                                            |
|                                                                                                                      | Squat im Frühstadium                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen.                             |                                                                                                                                                                                            |



#### 4.3.7 Riffel [Fehlercode S-2201]

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                                 | <p>Riffel sind Schienenfahrflächenfehler, die längs des Schienenkopfes auf beiden Schienen hauptsächlich auf geraden oder fast geraden Strecken auftreten. Sie zeichnen sich durch wellenförmige Erscheinungen aus, bei denen sich die Wellenberge hell und glänzend ausprägen. Sie sind durch eine Aufhärtung der Schienenoberfläche gekennzeichnet. Die Wellentäler sind meist dunkel, weicher und weisen häufig Korrosionsnarben auf. Riffel wurden vor allem im Normalspurbereich mit einer Wellenlänge zwischen rund 10 und 100mm festgestellt.</p> <p>Es kommt zu einem erhöhten Rollgeräusch und aufgrund von höheren Belastungen und Vibrationen zu einem höheren Instandhaltungsaufwand am Fahrweg.</p> |                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br><br>Schienenfehlerkatalog [14] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                                               | - Lauffläche auf beiden Schienen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>                              | - Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                                        | - Riffel entstehen durch dynamische Beanspruchungen im Rad-Schiene-Kontaktbereich in Wechselbeziehung mit Werkstoffumwandlung und Materialabtrag durch Verschleiss<br>- Längsschlupf angetriebener Räder                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>                              | - Mit blossen Auge, Gehör im Fahrzeuginneren                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>                           | <b>Korrektive Massnahme:</b><br>- Je nach Wellentiefe und weiteren Schäden: Schleifen / Fräsen<br><b>Präventive Massnahme:</b><br>- Im Meterspurbereich noch keine bekannt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                                            | <b>Rollmaterial</b><br>- Fahrkomfort (Lärm)<br><b>Infrastruktur</b><br>- Verkürzte Schleifintervalle<br><b>Umwelt</b><br>- Lärm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                        |
| <b>Empfehlung aus der Normalspur</b>                           | Tiefe grösser 0.15mm <sup>1</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |
|                                                                | Tiefe grösser 0.07mm <sup>1</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Präventives Schienenschleifen                                                                          |

<sup>1</sup> Grenzwerte für den Meterspurbereich werden im Rahmen der Forschungsprojekte RAILplus festgelegt.



#### 4.3.8 Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                           | <p>Schlupfwellen sind Schienenfahrflächenfehler, die längs des Schienenkopfes auftreten. Hauptsächlich tritt der wellenförmige Fehler in engen Bögen (bis ca. R=300m) auf der bogeninneren Schiene auf. Charakteristisch ist die auf den Wellenbergen sehr glatte Fahrfläche, während die Oberfläche im Wellental rau, heller und breiter erscheint als auf dem Wellenberg.</p> <p>Es kommen Wellenlängen bis 300mm im Normalspurbereich und bis 200mm im Meterspurbereich vor. Ursache für Schlupfwellen sind der Querschleif und daraus resultierende Tangentialkräfte in den engen und sehr engen Bögen. Es kommt zu erhöhten Lärmemissionen im Fahrzeuginnen und Lärmemission in der Umgebung. Aufgrund von höheren Belastungen und Vibrationen zu einem höheren Instandhaltungsaufwand am Fahrweg (Schwellenhohlungen, Schottermehl). Eine ausbleibende Bearbeitung der Schienenfahrfläche führt zu Folgeschäden, deren Beseitigung mit hohem Aufwand verbunden sein kann.</p> |                                                                                                        |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>RAILplus |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                        |
| <b>Verortung</b>                         | Hauptsächlich auf der Lauffläche auf der bogeninneren Schiene und vereinzelt auf der bogenäusseren Schiene                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                        |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Riffel [Fehlercode S-2201]</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                        |
| <b>Mögliche Ursache</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dynamischer Verschleiss vor allem durch Querschleif</li> <li>- Hohe Kontaktkräfte durch schlechte Rad-Schiene-Profilpaarung, hohe Achslasten und starre Radsatzführungen</li> <li>- Plastische Verformung des gesamten Schienenfahrfläche</li> <li>- nicht optimierter Rad-Schiene-Kontaktkräfte allenfalls aufgrund von Schwellentyp, Befestigungsmittel oder Zwischenlage</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                        |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mit blossen Auge, Gehör im Fahrzeuginnen</li> <li>- Gleismesswagen</li> <li>- Schienenrauheitsmessgerät</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                        |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>     | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je nach Schlupfwellentiefe und weiteren Schadensmerkmalen (Schottermehl): Schleifen / Fräsen bzw. Schienenwechsel notwendig</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbesserung/Optimierung der Gleissteifigkeit durch weichere Schienenzwischenlagen, Erhöhung der Schienenhärte, Schwellenbesohlung oder Änderungen an den Fahrzeugen (z.B. Radialeinstellung der Radsätzen oder Schienenkopfkonditionierung, usw.)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                        |
| <b>Auswirkungen</b>                      | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fahrkomfort</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkürzte Schleif- oder Fräsintervalle</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erschütterungen, Lärm</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                        |
| <b>Empfehlung aus der Normalspur</b>     | Tiefe grösser 0.4 mm <sup>11</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Wenn möglich Schienenschleifen oder Schienenfräsen planen. Wenn nicht möglich Schienenwechseln planen. |
|                                          | Tiefe grösser 0.2 mm <sup>11</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Präventives Schienenschleifen                                                                          |

<sup>11</sup> Grenzwerte für den Meterspurbereich werden im Rahmen der Forschungsprojekte RAILplus festgelegt.

#### 4.3.9 Eindrückungen / Quetschen [Fehlercode S-301]

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Merkmal</b>                                | <p>Eine Eindrückung entsteht durch einen Fremdkörper auf der Schiene (Metallteile, Schotter, grober Sand, usw.).</p> <p>Sie können kontinuierlich, einzeln oder unregelmässig auftreten.</p> <p>Die Korrosion erfolgt an Eindrückungen beschleunigt, wenn sie nicht durch ausreichenden Verschleiss beseitigt werden.</p> <p>Die Schiene wird bei Auftreten von Einkerbungen höher belastet was zu Rissbildung und bei deren Fortschritt zum Schienenbruch führen kann.</p>                                                                                                                                            |                                                                                                                                                 |
| <b>Bildliche Darstellung</b><br>EN-17397 [10] |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                 |
| <b>Verortung</b>                              | - Lauffläche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                 |
| <b>Verwechslungsmöglichkeiten</b>             | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                 |
| <b>Mögliche Ursache</b>                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fremdkörper auf der Lauffläche</li> <li>- Einwirkung von Fremdkörpern aus Baustellen</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                 |
| <b>Verfahren zur Feststellung</b>             | - Visuell                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                 |
| <b>Unmittelbare Abhilfemassnahme</b>          | <p><b>Korrektive Massnahme:</b></p> <p>Je nach Schadenstiefe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiene Schleifen (Materialabtrag: Schadenstiefe +0.3mm)</li> <li>- Schiene Fräsen (Materialabtrag: Schadenstiefe +0.3mm)</li> <li>- Auftragsschweissung bei Einzelfehlern (Materialabtrag: Schadenstiefe +0.3mm)</li> <li>- Schienenwechsel</li> </ul> <p><b>Präventive Massnahme:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sichtkontrolle der Schienen auf Schädigungen nach Bauarbeiten am Gleis</li> <li>- Verhinderung von Vandalismus</li> <li>- Sichtkontrolle nach Entgleisungen</li> </ul> |                                                                                                                                                 |
| <b>Auswirkungen</b>                           | <p><b>Rollmaterial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul> <p><b>Umwelt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                 |
| <b>Empfehlung</b>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kein ausreichender Verschleissvorrat an Schiene vorhanden</li> <li>- Fehler hat sich über grössere Fläche durch Eindrückungen oder Rissbildung verstärkt</li> <li>- Ultraschallanzeige bei Fehler</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Sofort:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schienenwechsel</li> <li>- Langsamfahrstelle</li> <li>- Notlaschenverbindung</li> </ul> |
|                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausreichender Verschleissvorrat an Schiene vorhanden</li> <li>- Geringe Ausbreitung des Fehlers durch Eindrückungen oder Rissbildung</li> <li>- Keine Ultraschallanzeige</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schleifen, Fräsen planen oder Auftragschweissung</li> </ul>                                            |
|                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleinere Fehler</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beobachten</li> </ul>                                                                                  |
|                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |

## 4.4 Prüfverfahren zur Detektion von Schienenschäden

### 4.4.1 Visuelle Kontrolle

Schienenfehler werden üblicherweise visuell bei Gleisbegehungen durch den Streckenläufer erkannt. Aufgrund der bei Meterspurbahnen häufigen Begehungen durch den Streckenläufer kann ein Schienenfehler üblicherweise gut erkannt werden. Wichtig sind neben einer guten Ausbildung des Streckenläufers, dass bei Dunkelheit oder in Tunneln für eine gute Beleuchtung gesorgt wird, sodass die Fehler gut erkannt werden können. Es empfiehlt sich die Streckenbegehungen abwechselnd von verschiedenen Streckenläufern und anderen Verantwortlichen, wie den Bahnmeistern oder den Teamleitern durchführen zu lassen, damit das Vier-Augen-Prinzip auch bei den Gleisbegehungen angewendet wird.

### 4.4.2 Ultraschall (UT)

Schienenprüfungen mit Ultraschall werden bei den Bahnbetreibern häufig durchgeführt. Bei Normalspurbahnen werden Schienenprüfzüge (SPZ) eingesetzt, die grossflächig durch Ultraschallmessungen (SPZ-UT) Schienenfehler im Inneren der Schiene erkennen können (Fehler tiefer als 6mm unter Schienenoberfläche). Die durch den SPZ erkannten Fehler werden durch eine händische Prüfung mit einem handgeführten Schienenprüfgerät (SPG) nachgeprüft, bei entsprechendem Bedarf muss die Schiene dann durch Laschen gesichert und üblicherweise ausgewechselt werden.

Bei Meterspurbahnen gibt es keine vergleichbaren Schienenprüfzüge. Dies liegt daran, dass aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten und Belastungen es tendenziell zu weniger Schienenfehlern kommt und dass die Streckenbegehungen in einem verhältnismässig häufigeren Turnus stattfinden als bei den Normalspurbahnen.

Ein zukünftiger Einsatz von Schienenprüfzügen ist insbesondere dann erforderlich, wenn Bahnen die Begehungen durch den Streckenläufer reduzieren möchten.

Bei Schienen oder in Abschnitten, in denen eine erhöhte Anzahl oder schwierig zu beurteilenden Schienenfehlern erkannt wurden, empfiehlt sich eine Überprüfung mit einem SPG. So können Risse, die visuell nicht eindeutig beurteilt oder erkannt werden können, zuverlässig identifiziert und z.B. ein Schienenwechsel initiiert werden.

### 4.4.3 Wirbelstrom (ET)

Bei den Normalspurbahnen werden auch Schienenprüfzüge eingesetzt, die mit Wirbelstromprüfgeräten ausgerüstet sind (SPZ-ET). Wirbelstrommessungen an Schienen dienen zur Erkennung oberflächennaher Fehler und erkennen so überwiegend den Schienenfehler Head-Check mit einer genauen Angabe der Risstiefe. Aus dieser Risstiefe kann abgeleitet werden, bis zu welcher Tiefe die Schienen geschliffen werden müssen, um den Fehler zu beseitigen. Aufgrund bisher nicht bekanntem Auftreten von Head-Checks bei Schweizer Meterspurbahnen (aufgrund der meist eingleisigen Gleisabschnitte mit der Befahrung in beiden Richtungen) entfällt derzeit die Notwendigkeit einer solchen Überprüfung

## 5 Zuordnung von Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene

### 5.1 Schädigungen aus Trassierungsgegebenheiten

Die folgenden Schädigungen können hauptsächlich aus den Trassierungsgegebenheiten verursacht werden. Für eine umfassendere Erklärung der Ursache siehe die Beschreibung der Schädigungen im *Kapitel 3.3* und *Kapitel 4.3*.

|                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kontaktfläche Rad</b>                                                              |
| Polygone [Fehlercode: R-1105]                                                         |
| Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112]                |
| Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114]                 |
| <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>                            |
| Risse am Spurkranz [Fehlercode R-1210]                                                |
| Schädigung Spurkranzkuppe [Fehlercode: R-1211]                                        |
| Spurkranz mit Gratbildung (Überwalzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212]           |
| <b>Kontaktfläche Schiene</b>                                                          |
| Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211] |
| Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221]                            |
| Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]                                               |
| Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]     |
| Riffel [Fehlercode S-2201]                                                            |
| Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]                                                     |

*Tabelle 5: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus Trassierungsgegebenheiten*

## 5.2 Schädigungen aus dem Betreiben der Fahrzeuge

Die folgenden Schädigungen können hauptsächlich aus dem Betreiben der Fahrzeuge (z.B. durch antrieben oder bremsen) verursacht werden. Für eine umfassendere Erklärung der Ursache siehe die Beschreibung der Schädigungen im *Kapitel 3.3* und *Kapitel 4.3*.

| <b>Kontaktfläche Rad</b>                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flachstelle [Fehlercode: R-1101]                                                                                 |
| Polygone [Fehlercode: R-1105]                                                                                    |
| Materialauftragung [Fehlercode: R-1108]                                                                          |
| Auswälzung [Fehlercode: R-1109]                                                                                  |
| Abblätterung [Fehlercode R-1111]                                                                                 |
| Krötenhaut [Fehlercode: R-1113]                                                                                  |
| Risse am Spurkranz [Fehlercode R-1210]                                                                           |
| Spurkranz mit Gratbildung (Überwälzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212]                                      |
| Radiale Berührspuren und Beschädigungen an der inneren Radkranzstirnfläche [Fehlercode: R-1213]                  |
| <b>Kontaktfläche Schiene</b>                                                                                     |
| Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211]                            |
| Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221]                                                       |
| Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]                                                                          |
| Plastische Verformung (Überwälzung-Quetschung-Gratbildung) [Fehlercode S-123 / S-223]                            |
| Isolierte / Einzelne Schleuderstelle [Fehlercode S-125 / S-2251];<br>Mehrere Schleuderstelle [Fehlercode S-2252] |
| Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]                                |
| Riffel [Fehlercode S-2201]                                                                                       |
| Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]                                                                                |

Tabelle 6: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus dem Betreiben der Fahrzeuge



### 5.3 Schädigung aus Werkstoffeigenschaften

Die folgenden Schädigungen können hauptsächlich aus Werkstoffeigenschaften von Rad und Schiene verursacht werden. Für eine umfassendere Erklärung der Ursache siehe die Beschreibung der Schädigungen im *Kapitel 3.3* und *Kapitel 4.3*.

|                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kontaktfläche Rad</b>                                                              |
| Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]                                            |
| Polygone - Kurzweilige Rundheitsabweichungen [Fehlercode: R-1106]                     |
| Materialauftragung [Fehlercode: R-1108]                                               |
| Auswalzung [Fehlercode: R-1109]                                                       |
| Abblätterung [Fehlercode R-1111]                                                      |
| Krötenhaut [Fehlercode: R-1113]                                                       |
| Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114]                 |
| Spurkranz mit Gratbildung (Überwalzung Spurkranzkuppe) [Fehlercode: R-1212]           |
| <b>Kontaktfläche Schiene</b>                                                          |
| Abblätterung und Ausbrüche auf der Fahrfläche «Spalling» [Fehlercode S-1211 / S-2211] |
| Head Check [Fehlercode S-1223 / S-2223]                                               |
| Plastische Verformung (Überwalzung-Quetschung-Gratbildung) [Fehlercode S-123 / S-223] |
| Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]     |
| Riffel [Fehlercode S-2201]                                                            |
| Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]                                                     |

*Tabelle 7: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus Werkstoffeigenschaften*

## 5.4 Schädigungen aus weiteren Gründen

Die folgenden Schädigungen können hauptsächlich aus verschiedenen weiteren Gründen verursacht werden. Für eine umfassendere Erklärung der Ursache siehe die Beschreibung der Schädigungen im *Kapitel 3.3* und *Kapitel 4.3*

| <b>Kontaktfläche Rad</b>                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Singuläre Abplattungen [Fehlercode R-1102]                                                                       |
| Exzentrizität [Fehlercode R-1103]                                                                                |
| Ovalität [Fehlercode R-1104]                                                                                     |
| Polygone [Fehlercode: R-1105]                                                                                    |
| Polygone - Kurzzeitige Rundheitsabweichungen [Fehlercode: R-1106]                                                |
| Stochastische Rundheitsabweichungen [Fehlercode R-1107]                                                          |
| Materialauftragung [Fehlercode: R-1108]                                                                          |
| Auswalzung [Fehlercode: R-1109]                                                                                  |
| Ausbröckelungen (Spalling) [Fehlercode: R-1110]                                                                  |
| Abblätterung [Fehlercode R-1111]                                                                                 |
| Einprägungen (Eindrückungen) auf der Radlaufläche [Fehlercode: R-1112]                                           |
| Head Checks - RCF (Rolling-contact Fatigue) Risse [Fehlercode R-1114]                                            |
| Risse auf der Radlaufläche / Lauflächenquerrisse [Fehlercode R-1115]                                             |
| <b>Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</b>                                                       |
| Ausbrüche (Shelling) [Fehlercode: R-1119]                                                                        |
| Materialtrennung unter der Laufläche / Ablösung [Fehlercode R-1201]                                              |
| Fasenquerriss [Fehlercode R-1208]                                                                                |
| Risse am Spurkranz [Fehlercode R-1210]                                                                           |
| Schädigung Spurkranzkuppe [Fehlercode: R-1211]                                                                   |
| Radiale Berührspuren und Beschädigungen an der inneren Radkranzstirnfläche [Fehlercode: R-1213]                  |
| <b>Kontaktfläche Schiene</b>                                                                                     |
| Fahrkantenausbruch «Shelling» [Fehlercode S-1221 / S-2221]                                                       |
| Plastische Verformung (Überwalzung-Quetschung-Gratbildung) [Fehlercode S-123 / S-223]                            |
| Isolierte / Einzelne Schleuderstelle [Fehlercode S-125 / S-2251];<br>Mehrere Schleuderstelle [Fehlercode S-2252] |
| Squat, Rissbildung und lokale Absenkung der Fahrfläche [Fehlercode S-127 / S-227]                                |
| Riffel [Fehlercode S-2201]                                                                                       |
| Schlupfwellen [Fehlercode S-2202]                                                                                |
| Eindrückungen / Quetschen [Fehlercode S-301]                                                                     |

Tabelle 8: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus weiteren Gründen

## 6 Schlussfolgerungen

### 6.1 Zusammenfassung wichtigste Ergebnisse

Aus der bestehenden Normalspurliteratur wurden die Fehlercodes zur Identifizierung von Rad- und Schienenschädigungen übernommen.

In diesem Schadenskatalog wurden dem Fehlercode die Abkürzung R und S vorangestellt, um bei der Codierung die Fehler an den Rädern und an den Schienen voneinander zu unterscheiden. Der Fehlercode entspricht:

- **R- \_ \_ \_ \_** für Radschädigungen
- **S- \_ \_ \_ \_** für Schienenschädigungen

In diesem Dokument wurden nicht alle Fehler berücksichtigt, sondern nur jene, die durch die Kontaktmechanik verursacht werden und an den Kontaktflächen von Rad und Schiene auftreten.

Der Schadenskatalog richtet sich in erster Linie an die Ingenieure der Meterspurbahnen, um Schädigungen in den Werkstätten oder auf der Strecken mit Referenzbildern und Beschreibungen zu beurteilen und festzuhalten.

Für jede Art von Schäden werden auch die mögliche Ursachen und korrektiven bzw. präventiven Massnahmen zu deren Vermeidung beschrieben. Ausserdem werden Empfehlungen zur die Behandlung für jeden Fehler gegeben.

### 6.2 Empfehlungen

Es wird empfohlen, dass die Ingenieure der Meterspurbahnen mit dem Dokument vertraut gemacht werden.

Diese erste Version des Schadenskatalog Interaktion kann bereits als Arbeitsdokument verwendet werden. Es ist jedoch von grosser Bedeutung, dass das Dokument durch die Rückmeldungen von den Bahnen aktualisiert wird: weitere meterspurspezifische Fehler können ergänzt werden und andere Fehler, wenn sie nicht im Meterspurberiech verbreitet sind, können für die Zukunft weggelassen werden.

Auf diesem Weg kann der Schadenskatalog Interaktion genutzt werden, um das Wissen über kontaktmechanische Schädigungen bei den Meterspurbahnen zu verbreiten.

## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Referenzen

- [1] R RTE 41500: Instandhaltung Radsätze Meterspur
- [2] R RTE 41000: Instandhaltung Radsätze Normalspur
- [3] RAILplus Lieferobjekt P4.2: Fahrbahn
- [4] EN 15313: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzinstandhaltung
- [5] UIC B 169/DT 405 – Schadenskatalog Räder / Radsatzwellen / Radsätze – Teil 1: Einleitung, Terminologie, Klassierung der Fehler, Fehlerarten am Radsatz
- [6] EN 13262: Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Räder - Produktanforderungen
- [7] SBB CFF FFS: Arbeitsanweisung Laufflächenbeurteilung Radsätze
- [8] AVV: *Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen*
- [9] R RTE 29500: Standardisierung Radsätze und Weichen Meterspur
- [10] EN-17397-1: Bahnanwendungen – Schienenfehler Teil 1: Handhabung von Schienenfehlern
- [11] Engineering Manual Track: TMC 227 Surface Defects in Rails
- [12] Richtlinie 821.2007 Anhang 02 Schienenfehlerkatalog, Beurteilungsmassstäbe
- [13] IRS 70712: Schienenfehler
- [14] Schienenfehlerkatalog: Häufige Schienen- und Schweissfehler

### 7.2 Abbildungen

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Vorgehenskonzept .....                                                                                                                                                        | 8  |
| Abbildung 2: Kontaktfläche und Durchdringungszone zwischen Körper 1 (Schiene) und Körper 2 (Rad).....                                                                                      | 9  |
| Abbildung 3: Vergleich zwischen Kontaktfläche nach Hertz-Theorie und Kontaktfläche berechnet mit der Streifenmethode .....                                                                 | 9  |
| Abbildung 4: Darstellung der Kräfte in der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene .....                                                                                                    | 10 |
| Abbildung 5: Beispiel von plastischer Verformung in der Gefügestruktur .....                                                                                                               | 10 |
| Abbildung 6: Spannungszustand unter die Rad- und Schienenoberfläche .....                                                                                                                  | 11 |
| Abbildung 7: Spannungszustand unterhalb der Oberfläche .....                                                                                                                               | 11 |
| Abbildung 8: Spannungen durch Vertikalkraft (links) und Tangentialkraft (rechts) .....                                                                                                     | 11 |
| Abbildung 9: Spannungszustand an der Oberfläche.....                                                                                                                                       | 12 |
| Abbildung 10: Stauchen und Dehnen des Pneus von Strassenfahrzeugen beim Antreiben und Bremsen .....                                                                                        | 12 |
| Abbildung 11: Zug- und Druckbeanspruchungen an Rad und Schiene bei der Beschleunigung (links) und Bremsung (rechts) .....                                                                  | 13 |
| Abbildung 12: Hydrodynamischer Effekt als Treiber für den Rissfortschritt.....                                                                                                             | 13 |
| Abbildung 13: Richtung der Rissöffnung und Beispiel von RCF 3 Rissen (links, Roland Müller und rechts, EN 15313) sowie mit rotem Pfeil ist die Messkreisebene (Zone 3) gekennzeichnet..... | 14 |
| Abbildung 14: Zonen 1 und 2 beim vorlaufenden Radsatz in den Bögen .....                                                                                                                   | 15 |
| Abbildung 15: Kraftschlusskräfte und Rissbildung bei Bogenfahrt .....                                                                                                                      | 15 |
| Abbildung 16: Kontaktzone des Rades .....                                                                                                                                                  | 16 |
| Abbildung 17: Kennzeichnung der Räder .....                                                                                                                                                | 17 |
| Abbildung 18: Verlauf des Radius über den Umfang von Rädern aus UIC B 169/DT 405 .....                                                                                                     | 20 |
| Abbildung 19: Querschnitt Schiene (L: Linke Schiene, R: Rechte Schiene).....                                                                                                               | 45 |

### 7.3 Tabellen

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Beschreibung der Kontaktzonen des Rades .....                                                                                                      | 16 |
| Tabelle 2: Schäden aus dem UIC B 169/DT 405 im Katalog Meterspur übernommen (graue Spalte). Klassifizierung der Radschädigungen gemäss UIC B 169/DT 405 ..... | 19 |
| Tabelle 3: Schienenfehlercodierungssystem aus EN-17397-1 .....                                                                                                | 46 |
| Tabelle 4: Schäden aus dem EN-17397 im Katalog Meterspur übernommen (graue Spalte). Klassifizierung der Schienenschädigungen nach EN-17397 .....              | 48 |
| Tabelle 5: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus Trassierungsgegebenheiten .....                                                         | 59 |
| Tabelle 6: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus dem Betreiben der Fahrzeugen .....                                                      | 60 |
| Tabelle 7: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus Werkstoffeigenschaften .....                                                            | 61 |
| Tabelle 8: Schädigungen auf die Kontaktfläche von Rad und Schiene aus weiteren Gründen .....                                                                  | 62 |