

R RTE 41000

# Instandhaltung Radsätze

Normalspur

**Entwurf vom 03.08.2026  
für die einzige  
Vernehmlassung**

Entwurf

|                                                                                                                                            |                                                                                                                       |                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Herausgeber</b><br>VöV                                                                                                                  | <b>Ausgabedatum</b><br>xx.xx.20xx                                                                                     | <b>Zuordnung</b><br>–                                        |
| <b>Erarbeitet durch</b><br>Projektgruppe RTE                                                                                               | <b>Freigabe</b><br>PL RTE                                                                                             | <b>Ersatz für</b><br>R RTE 41000 vom 01.09.2015              |
| <b>Verteiler</b><br>Eisenbahnunternehmen des VöV<br>(Normalspur)<br>Bundesamt für Verkehr BAV<br>RTE-Webshop/RTE-Download<br>(rte.voev.ch) | <b>Inkrafttreten</b><br>Das Inkrafttreten dieser Regelung<br>legt jedes Eisenbahnunternehmen<br>für sich selbst fest. | <b>Sprachfassungen</b><br>d, f<br><b>Anzahl Seiten</b><br>xx |

# Instandhaltung Radsätze

Normalspur



**Anwendungsbedingungen für das Regelwerk Technik der schweizerischen Eisenbahnen (RTE)**

Bei der Anwendung der Dokumente ist zu beachten, dass sie ausschliesslich für die Bedürfnisse der Schweizer Eisenbahnen und Unternehmen im Bereich öV verfasst und für diesen Gebrauch bestimmt sind. Eine korrekte Anwendung setzt somit eine entsprechende Ausbildung und Praxis voraus. Das Regelwerk RTE beschränkt sich auf zwei Arten von Dokumenten:

- Die R-Regelungen sind Ergänzungen bzw. Lösungsvorschläge zu hoheitlichen Erlassen und Normen mit Regelungs- bzw. Weisungscharakter.
- Die D-Regelungen umfassen Handbücher und Dokumentationen als Empfehlungen und Hilfsmittel zur Arbeitsunterstützung oder bilden in Ausnahmefällen den Stand der Technik und die gelebte Praxis im Hinblick auf eine Standardisierung ab.

Die im Dokument in männlicher Form enthaltenen Formulierungen gelten in gleichem Mass für jegliches Geschlecht.

Der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) sowie die an der Erstellung dieser Regelung des Regelwerks Technik Eisenbahn (RTE) beteiligten Personen haften nicht für Schäden, die durch die Verwendung von Informationen aus dieser Regelung entstehen können. Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für die Vollständigkeit oder Richtigkeit.

**Projektgruppe RTE****Leitung**

Wolfgang Kling, BLS AG, Spiez

**Mitglieder**

Dominik Oliver Gürtler, Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern  
Ralf Willkommen, Schweizerische Südostbahn SOB, Herisau

**Traduction (nur bei Franz & Ital.)**

Name, Ort

**Lektorat**

Martin Strobel, Verband öffentlicher Verkehr (VöV), Bern

**Herausgeber**

VöV Verband öffentlicher Verkehr  
System Bahn  
Dählhölzliweg 12, CH-3005 Bern  
www.voev.ch, RTE@voev.ch

**Druck**

Gebundene Ausgabe: Peter Gaffuri AG, Bern

**RTE-Webshop/RTE-Download**

rte.voev.ch

**ISBN xx**

© Verband öffentlicher Verkehr, Bern, Monat 20xx

Entwurf einzige Vernehmlassung vom 3.8.26



## Änderungsgeschichte

---

| Ausgabedatum | Änderungen |
|--------------|------------|
| 01.09.2015   | 1. Ausgabe |
| xx.xx.20xx   | 2. Ausgabe |

Entwurf

## Vorwort

---

Die R RTE 41000 ist eine Zusammenfassung des zur Instandhaltung von Radsätzen notwendigen Basiswissens, einerseits für die präventive Instandhaltung im eingebauten Zustand und andererseits für die vollumfängliche Aufarbeitung. Dies beinhaltet die korrekte Bezeichnung der einzelnen Bauteile und Baugruppen sowie der Funktionsmasse, die relevanten Grenzwerte gemäss gängiger Normen und Hinweise zur zerstörungsfreien Prüfung.

Im Weiteren werden die Grundprinzipien der gesamten Instandhaltung und die gängigen Instandhaltungsstufen sowie deren Inhalte beschrieben.

Farbbeschichtung und Kennzeichnung von Radsätzen werden ebenso erörtert wie die korrekte Lagerung und der Transport. Ein weiteres Kapitel ist der Messtechnik zur Beurteilung von Messgrössen am Radsatz gewidmet. Daneben sind Besonderheiten in der Radsatzinstandhaltung gemäss Erfahrungen von Schweizer Bahnen beschrieben, die sonst in keinem Regelwerk zu finden sind.

Die R RTE 41000 stellt nicht nur ein Regelwerk auf Zahlenbasis dar sondern versucht, tiefer gehendes Wissen zu vermitteln und dient damit als wertvolles Nachschlagewerk auch für Personen, die sich nicht mehrheitlich mit Radsätzen befassen sondern nur über einzelne Teilbereiche Informationen wünschen. Der Schreibstil ist bewusst nicht wissenschaftlich ausgerichtet sondern soll eine leichte Lektüre für alle Anwender sein und dazu verleiten, bei sich bietender Gelegenheit etwas nachzulesen.

Bei Anwendung der R RTE 41000 ist es möglich, Radsätze diverser Bauarten gemäss den gültigen Regeln der Technik korrekt instand zu halten. Alle Angaben, insbesondere Grenzwerte und weitere technische Vorgaben harmonisieren mit den diversen gültigen Normen und hoheitlichen Vorgaben.

Bern, xx. Monat 20xx

|          |                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Allgemeines.....</b>                                              | <b>12</b> |
| 1.1      | Ziel der Regelung.....                                               | 12        |
| 1.2      | Anwendung.....                                                       | 12        |
| 1.2.1    | Anwendungsbereich.....                                               | 12        |
| 1.2.2    | Ausnahmen.....                                                       | 12        |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen.....</b>                                               | <b>13</b> |
| 2.1      | Hoheitliche Regelungen.....                                          | 13        |
| 2.2      | Normen.....                                                          | 14        |
| 2.3      | RTE- und Regelungen der Bahnen.....                                  | 16        |
| 2.4      | Richtlinien und Merkblätter.....                                     | 16        |
| 2.5      | Weitere, eingeschränkt verwendete Grundlagen.....                    | 18        |
| <b>3</b> | <b>Abkürzungen, Begriffe und Definitionen.....</b>                   | <b>19</b> |
| 3.1      | Abkürzungen.....                                                     | 19        |
| 3.2      | Begriffe.....                                                        | 20        |
| 3.3      | Definitionen.....                                                    | 21        |
| 3.3.1    | Halter.....                                                          | 21        |
| 3.3.2    | Werkstattarten.....                                                  | 21        |
| 3.3.3    | Unterscheidung Güterwagen – Dienstwagen.....                         | 21        |
| <b>4</b> | <b>Grundsätze.....</b>                                               | <b>22</b> |
| 4.1      | Bewertung bei der Auslegung - Besonderen Schweizer Verhältnisse..... | 22        |
| <b>5</b> | <b>Instandhaltung generell.....</b>                                  | <b>23</b> |
| 5.1      | Definition der Instandhaltung.....                                   | 23        |
| 5.2      | Gründe für die Instandhaltung.....                                   | 24        |
| 5.2.1    | Sicherheit.....                                                      | 24        |
| 5.2.2    | Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.....                               | 24        |
| 5.2.3    | Wirtschaftlichkeit.....                                              | 25        |
| 5.3      | Zielsetzung der Instandhaltung.....                                  | 25        |
| 5.4      | Instandhaltungsfunktionen.....                                       | 25        |
| 5.4.1    | Anforderungen an die Instandhaltung.....                             | 26        |
| 5.4.2    | Instandhaltungsregelwerk.....                                        | 26        |
| 5.4.3    | Instandhaltungs-Planung und -Auswertung.....                         | 27        |
| 5.4.4    | Instandhaltungs-Durchführung.....                                    | 28        |
| <b>6</b> | <b>Definition – Radsätze Normalspur.....</b>                         | <b>29</b> |
| 6.1      | Radsatzkomponenten.....                                              | 29        |
| 6.1.1    | Radsatz.....                                                         | 29        |
| 6.2      | Radsatz-Komponententypen.....                                        | 30        |
| 6.2.1    | Radsatzwelle.....                                                    | 31        |
| 6.2.2    | Rad.....                                                             | 32        |
| 6.2.3    | Radsatzlagerung/Radsatzlager.....                                    | 36        |
| 6.2.4    | Komponenten zu Bremssystem.....                                      | 38        |
| 6.2.5    | Komponenten zu Antriebseinheit.....                                  | 39        |
| 6.2.6    | Komponenten zur Erdung.....                                          | 41        |
| 6.3      | Terminologie und Bezeichnungen.....                                  | 42        |
| 6.3.1    | Benennungen am Radsatz.....                                          | 42        |
| 6.3.2    | Geometrische Kennwerte des Radsatzes.....                            | 43        |

|          |                                                                              |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4      | Beschaffung von neuen Komponenten.....                                       | 44         |
| 6.4.1    | Komplette Radsätze .....                                                     | 44         |
| 6.4.2    | Vollräder, Felgen und Radreifen .....                                        | 44         |
| 6.4.3    | Radsatzwelle .....                                                           | 45         |
| 6.4.4    | Antriebsbauteile.....                                                        | 45         |
| 6.4.5    | Verantwortlichkeiten bei Prüfungen .....                                     | 45         |
| 6.5      | Radprofile.....                                                              | 47         |
| 6.5.1    | Radprofiltypen .....                                                         | 48         |
| 6.5.2    | Radprofil-Formabweichung.....                                                | 49         |
| 6.5.3    | Oberflächengüten am Radkranz .....                                           | 50         |
| 6.5.4    | Grenzmassrille .....                                                         | 51         |
| 6.6      | Beurteilungskriterien.....                                                   | 52         |
| 6.6.1    | Beurteilungskriterien Radprofil.....                                         | 54         |
| 6.6.2    | Beurteilungskriterien Radsatz generell .....                                 | 65         |
| <b>7</b> | <b>Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) .....</b>                                  | <b>112</b> |
| 7.1      | Methoden der zerstörungsfreien Prüfung .....                                 | 112        |
| 7.1.1    | Kapillarverfahren .....                                                      | 112        |
| 7.1.2    | Magnetische und induktive Verfahren.....                                     | 113        |
| 7.1.3    | Schallverfahren .....                                                        | 114        |
| 7.1.4    | Strahlenverfahren .....                                                      | 115        |
| 7.1.5    | Angewendete Prüfverfahren an Radsätzen .....                                 | 115        |
| 7.1.6    | Anforderungen an das Prüfpersonal .....                                      | 115        |
| 7.2      | Prüfintervalle für ZfP.....                                                  | 116        |
| 7.3      | Vorgehen und Tätigkeiten .....                                               | 117        |
| 7.4      | UT-Prüfung .....                                                             | 118        |
| 7.5      | MT-Prüfung .....                                                             | 124        |
| 7.6      | ET-Prüfung.....                                                              | 124        |
| <b>8</b> | <b>Planung und Intervall der Instandhaltung.....</b>                         | <b>125</b> |
| 8.1      | Systematik der Instandhaltungsintervalle .....                               | 125        |
| 8.2      | Instandhaltungsintervalle von Reisezugwagen- und Triebfahrzeugradsätzen..... | 126        |
| 8.2.1    | Kontrollstufen (Inspektion) .....                                            | 126        |
| 8.2.2    | Revisionsstufen (Instandsetzung).....                                        | 127        |
| 8.3      | Instandhaltungsintervalle für Güter- und Dienstwagen .....                   | 128        |
| 8.3.1    | Intervalle für Güterwagenradsätze im internationalen Betrieb .....           | 129        |
| 8.3.2    | Intervalle für Güter- und Dienstwagenradsätze im nationalen Betrieb.....     | 130        |
| 8.3.3    | Unterschied der Intervalle im internationalen und nationalen Betrieb.....    | 131        |
| 8.3.4    | Instandhaltungsstufe IS 0 (Inspektion).....                                  | 131        |
| 8.3.5    | Instandhaltungsstufe IS 1 .....                                              | 132        |
| 8.3.6    | Instandhaltungsstufe IS 2 .....                                              | 132        |
| 8.3.7    | Instandhaltungsstufe IS 3 .....                                              | 132        |
| 8.3.8    | Instandhaltungsstufe IL .....                                                | 132        |
| 8.4      | Verschleisskennwerte an Radsätzen.....                                       | 133        |
| 8.4.1    | Verschleisskennwerte des Raddurchmessers .....                               | 133        |
| 8.4.2    | Verschleisskennwerte am Radprofil.....                                       | 136        |
| <b>9</b> | <b>Instandhaltung – Radsätze Lokomotiven und Personenfahrzeuge...</b>        | <b>137</b> |
| 9.1      | Anforderungen an Instandhaltungsbetriebe .....                               | 137        |
| 9.2      | Leichte Instandhaltung Kontrollstufen K1 – K4 und R0.....                    | 137        |

|           |                                                                        |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2.1     | Kontrollen (K1 – K4) der Radsätze .....                                | 137        |
| 9.2.2     | Zulässige Ausbesserungsarbeiten am Radsatz .....                       | 138        |
| 9.2.3     | Reprofilierung auf UFD (Unterflurdrehbank, R0 Radsatz eingebaut) ..... | 140        |
| 9.2.4     | Kontrolle nach besonderen Ereignissen .....                            | 140        |
| 9.3       | Schwere Instandhaltung Revisionsstufen R0 – R4 .....                   | 141        |
| 9.3.1     | Haupttätigkeiten bei der Aufarbeitung R0 – R4 .....                    | 141        |
| 9.3.2     | Aufnahme der Radsatzgeometrie IST-Zustand bei IH-Eingang .....         | 141        |
| 9.3.3     | Demontage Achslagerung .....                                           | 141        |
| 9.3.4     | Demontage Radsatzkomponenten .....                                     | 141        |
| 9.3.5     | Aufarbeitung Radsatzwelle .....                                        | 142        |
| 9.3.6     | Reparaturen an Radsatzwelle und Radscheibe .....                       | 142        |
| 9.3.7     | Reprofilierung auf Portaldrehmaschine (R0 Radsatz ausgebaut) .....     | 142        |
| 9.3.8     | Aufpressen von Komponenten auf die Radsatzwelle .....                  | 143        |
| 9.3.9     | Neubereifung .....                                                     | 143        |
| 9.3.10    | Auswuchten Laufradsatz .....                                           | 145        |
| 9.3.11    | Nachdrehen der Bremsscheiben .....                                     | 145        |
| 9.3.12    | Schallabsorber .....                                                   | 145        |
| 9.3.13    | Revision Radsatzlager (Pendelrollenlager, etc.) .....                  | 146        |
| 9.3.14    | Revision Kartuschenlager .....                                         | 146        |
| 9.3.15    | Montage Radsatzlager .....                                             | 146        |
| 9.3.16    | Lackierung Radsatz .....                                               | 146        |
| <b>10</b> | <b>Instandhaltung – Radsätze Güterwagen und Dienstwagen .....</b>      | <b>147</b> |
| 10.1      | Mindestanforderungen an Instandhaltungsbetriebe .....                  | 147        |
| 10.1.1    | Mitarbeiter .....                                                      | 147        |
| 10.1.2    | Mess- und Betriebsmittel .....                                         | 147        |
| 10.1.3    | Dokumentenverwaltung .....                                             | 147        |
| 10.2      | Instandhaltungsstufe IS 0 .....                                        | 148        |
| 10.3      | Instandhaltungsstufe IS 1 .....                                        | 148        |
| 10.4      | Instandhaltungsstufe IS 2 .....                                        | 149        |
| 10.5      | Instandhaltungsstufe IS 3 .....                                        | 149        |
| 10.5.1    | Demontage der Radscheiben .....                                        | 150        |
| 10.5.2    | Montage der Radscheiben .....                                          | 150        |
| 10.6      | Kennzeichnung .....                                                    | 151        |
| 10.7      | Dokumentation der Aufarbeitung .....                                   | 153        |
| <b>11</b> | <b>Dokumentation/Datenpflege .....</b>                                 | <b>154</b> |
| 11.1      | Kategorie der Datensicherungsfrist .....                               | 154        |
| <b>12</b> | <b>Reinigung, Schmierung und Korrosionsschutz .....</b>                | <b>159</b> |
| 12.1      | Reinigung .....                                                        | 159        |
| 12.1.1    | Reinigungsmethoden .....                                               | 159        |
| 12.1.2    | Reinigungsstandards .....                                              | 161        |
| 12.2      | Schmierung .....                                                       | 161        |
| 12.2.1    | Radsatzlager .....                                                     | 161        |
| 12.2.2    | Getriebe und Antriebskomponenten .....                                 | 164        |
| 12.3      | Korrosionsschutz für den Betriebseinsatz .....                         | 164        |
| 12.3.1    | Korrosionsschutz der Radsatzwelle .....                                | 165        |
| 12.3.2    | Korrosionsschutz der Räder .....                                       | 168        |
| 12.3.3    | Radsatzlagergehäuse .....                                              | 169        |

|           |                                                                         |            |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.3.4    | Korrosionsschutz am kompletten Radsatz .....                            | 170        |
| 12.3.5    | Untergrundvorbereitung.....                                             | 170        |
| 12.3.6    | Beschichtungstypen .....                                                | 171        |
| 12.3.7    | Ausbessern von Farbschäden an Radsätzen .....                           | 172        |
| 12.4      | Temporärer Korrosionsschutz bei der Lagerung.....                       | 173        |
| 12.4.1    | Kurzfristiger Korrosionsschutz .....                                    | 173        |
| 12.4.2    | Längerfristiger Korrosionsschutz .....                                  | 174        |
| <b>13</b> | <b>Transport und Lagerung von Radsätzen und Bauteilen.....</b>          | <b>175</b> |
| 13.1      | Lagerung.....                                                           | 175        |
| 13.1.1    | Lagerung von Radsatzwellen .....                                        | 175        |
| 13.1.2    | Lagerung von (Wagen)radsätzen .....                                     | 176        |
| 13.1.3    | Lagerung von Radscheiben.....                                           | 177        |
| 13.2      | Transport von Radsätzen .....                                           | 178        |
| 13.2.1    | Wichtige Hinweise .....                                                 | 178        |
| 13.2.2    | Kontrollen .....                                                        | 179        |
| 13.2.3    | Transporteinrichtungen für Radsätze (mit Transportgeräten).....         | 179        |
| 13.2.4    | Hebeeinrichtungen für Radsätze (mit Kranen).....                        | 180        |
| 13.2.5    | Transporteinrichtungen auf Fahrzeugen .....                             | 181        |
| 13.3      | Zwischenlagerung von Radsätzen.....                                     | 183        |
| 13.4      | Transporteinrichtungen für Radsatzkomponenten .....                     | 184        |
| 13.4.1    | Transport und Zwischenlagerung von Radsatzwellen.....                   | 184        |
| 13.4.2    | Transport und Zwischenlagerung von Radscheiben .....                    | 184        |
| <b>14</b> | <b>Radprofil-Radsatz-Messmittel / Messmethoden .....</b>                | <b>186</b> |
| 14.1      | Messen von geometrischen und physikalischen Messgrößen am Radsatz ..... | 186        |
| 14.1.1    | Die Messunsicherheit .....                                              | 187        |
| 14.1.2    | Bezugssysteme .....                                                     | 189        |
| 14.1.3    | Messmittelmanagement und Kalibrierung.....                              | 190        |
| 14.2      | Messwerterfassung am Radprofil .....                                    | 190        |
| 14.2.1    | Spurkranzdicke $S_d$ .....                                              | 191        |
| 14.2.2    | Spurkranzhöhe $Sh$ .....                                                | 191        |
| 14.2.3    | Flankensteilheit $q_R$ .....                                            | 191        |
| 14.2.4    | Radkranzbreite $B_R$ .....                                              | 192        |
| 14.2.5    | Auswalzung $a$ .....                                                    | 192        |
| 14.2.6    | Hohllauf $h$ .....                                                      | 192        |
| 14.2.7    | Gesamtes Radprofil.....                                                 | 193        |
| 14.3      | Messwerterfassung am Radsatz .....                                      | 195        |
| 14.3.1    | Radrückenabstand $A_R$ .....                                            | 195        |
| 14.3.2    | Spurmass $S_R$ .....                                                    | 196        |
| 14.3.3    | Raddurchmesser $D$ .....                                                | 196        |
| 14.3.4    | Radreifendicke $b$ bei Rädern mit Radreifen .....                       | 200        |
| 14.3.5    | Hohllauf und Restdicke bei Bremsscheiben.....                           | 201        |
| 14.3.6    | Rundlauf $H$ .....                                                      | 201        |
| 14.3.7    | Planlauf $G$ .....                                                      | 203        |
| 14.3.8    | Unwucht $U$ .....                                                       | 204        |
| 14.3.9    | Elektrischer Widerstand $R$ .....                                       | 206        |
| 14.3.10   | Gewicht $m$ .....                                                       | 207        |
| 14.4      | Messgeräte und Einrichtungen für Messungen am Radsatz.....              | 207        |

|                                        |                                                                                                                                 |            |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 14.4.1                                 | Kombinierte elektronische Messung .....                                                                                         | 207        |
| 14.4.2                                 | Kombinierte mechanische Messung .....                                                                                           | 209        |
| 14.4.3                                 | Messung einzelner Masse und Grössen.....                                                                                        | 210        |
| <b>15</b>                              | <b>Besonderheiten der Radsatzinstandhaltung .....</b>                                                                           | <b>219</b> |
| 15.1                                   | Aufpresskräfte und Arbeitsweise bei der Montage von Vollrädern und Radnaben .....                                               | 219        |
| 15.1.1                                 | Aufpressen von Radkörpern und Vollrädern im kalten Zustand .....                                                                | 220        |
| 15.1.2                                 | Qualitätsprüfung der kalt montierten Radkörper und Vollräder .....                                                              | 223        |
| 15.1.3                                 | Nacharbeit der Radnabensitze an Radsatzwellen .....                                                                             | 226        |
| 15.2                                   | Eigenspannung am Radkranz von Vollrädern.....                                                                                   | 229        |
| 15.2.1                                 | Auswirkung der thermischen Belastung auf Vollräder .....                                                                        | 229        |
| 15.2.2                                 | Behandlung thermisch geschädigter Vollräder in der schweren Instandhaltung<br>und Grenzwerte für die Eigenspannungsmessung..... | 231        |
| 15.3                                   | Wuchtungsgerechte Paarung von Vollrädern und Wellenbremsscheiben .....                                                          | 232        |
| 15.3.1                                 | Paarung von Radsätzen mit Vollrädern .....                                                                                      | 233        |
| 15.3.2                                 | Paarung von Radsätzen mit Vollrädern und 2 oder 3 Wellenbremsscheiben ...                                                       | 233        |
| <b>16</b>                              | <b>Literatur .....</b>                                                                                                          | <b>235</b> |
| 16.1                                   | Literaturquellen .....                                                                                                          | 235        |
| 16.2                                   | Weiterführende Literatur.....                                                                                                   | 235        |
| 16.3                                   | Abbildungsnachweis.....                                                                                                         | 236        |
| <b>Anhang A1 – A3 (Allgemein).....</b> |                                                                                                                                 | <b>238</b> |
| <b>A1</b>                              | <b>Zeichnungen von Radprofilen .....</b>                                                                                        | <b>238</b> |
| A1.1                                   | Radprofil SBB 28-2.....                                                                                                         | 239        |
| A1.2                                   | Radprofil SBB 28-2 Reduktion I.....                                                                                             | 240        |
| A1.3                                   | Radprofil SBB 28-2 Reduktion II.....                                                                                            | 241        |
| A1.4                                   | Radprofil SBB 28-2 Reduktion III.....                                                                                           | 242        |
| A1.5                                   | Radprofil SBB 28-2 Reduktion IV .....                                                                                           | 243        |
| A1.6                                   | Radprofil SBB 28-3.....                                                                                                         | 244        |
| A1.7                                   | Radprofil SBB 30-2.....                                                                                                         | 245        |
| A1.8                                   | Radprofil SBB 30-3.....                                                                                                         | 246        |
| A1.9                                   | Radprofil SBB 32-3.....                                                                                                         | 247        |
| A1.10                                  | Radprofil VSG RN02.058 .....                                                                                                    | 248        |
| A1.11                                  | Radprofil DB 60°/4020.....                                                                                                      | 249        |
| A1.12                                  | Radprofil Matisa MR 10443.0 .....                                                                                               | 250        |
| A1.13                                  | Radprofil Plasser UD00.1035 .....                                                                                               | 251        |
| <b>A2</b>                              | <b>Zeichnungen von mechanischen Messgeräten .....</b>                                                                           | <b>252</b> |
| A2.1                                   | Spurkranzmesslehre .....                                                                                                        | 253        |
| A2.2                                   | q <sub>R</sub> -Mass-Lehre .....                                                                                                | 255        |
| A2.3                                   | Hohllauflehre .....                                                                                                             | 256        |
| A2.4                                   | Lehre Radkranzbreite.....                                                                                                       | 257        |
| <b>A3</b>                              | <b>Ursachenkatalog Profildrehen.....</b>                                                                                        | <b>258</b> |

# 1 Allgemeines

---

## 1.1 Ziel der Regelung

---

Die Regelung beschreibt die an normalspurigen Radsätzen notwendigen Instandhaltungsarbeiten, abhängig von deren Einsatzbereich unter Beachtung der hoheitlichen Regelungen und des internationalen Einsatzes. Bisherige, durch Normen und Vorgaben nicht klar definierte Grenzwerte und Vorgaben, sind unter Berücksichtigung der bisher gängigen Praxis in dieser Regelung so weit möglich definiert.

Diese Regelung soll dazu beitragen, die bei den verschiedenen Radsatzinstandhaltern der Schweiz angewendeten Vorgaben zu vereinheitlichen und das vorhandene Fachwissen festzuhalten.

## 1.2 Anwendung

---

### 1.2.1 Anwendungsbereich

Die RTE-Regelung kommt bei der Instandhaltung von normalspurigen Radsätzen zur Anwendung, die nicht unter die Ausnahmen in Abschnitt 1.2.2 fallen.

### 1.2.2 Ausnahmen

Diese Regelung ist nicht oder nur teilweise auf Radsätze folgender Fahrzeuge anwendbar:

- Zahnradbahnen, Radsätze mit Zahnrädern
- historische Fahrzeuge, insbesondere Dampflokomotiven
- Werkbahnen
- Fahrwerke mit einzeln gelagerten Radscheiben System Talgo/TransGoldenPass
- Fahrzeuge mit spurwechselfähigen Radsätzen



## 2 Grundlagen

Die nachfolgenden Regelungen und Normen geben u.a. Hinweise oder Vorgaben zu:

- Instandhaltungsintervallen
- Montage/Demontage von Komponenten
- Geometrie/Abmessungen/Grenzmasse
- Prüfungen/Prüfverfahren
- Unterhalt/Instandhaltung generell
- zulässigen Nachbesserungen

Hinweis:

UIC-Merkblätter, die ursprünglich für die Lieferung von Radsätzen verwendet wurden, enthalten keine Angaben zu den Verfahren der Produktqualifizierung und Produkteigenschaften. UIC-Merkblätter wurden daher zum Teil aufgehoben und durch SN EN-Normen ersetzt (Beispiele: UIC 813 → SN EN-13260; UIC 811-1/-2 → SN EN 13261). Solche UIC-Merkblätter sind hier ebenfalls aufgeführt, um einen allgemeinen Überblick über vorhandenen Unterlagen zum Thema zu geben, eventuell können daraus ebenfalls noch Informationen gewonnen werden. Gleiches gilt auch für andere Normen und Dokumente.

Die Hierarchie der Regelungen und Normen ist in der R RTE 11000 definiert.

### 2.1 Hoheitliche Regelungen

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| AB-EBV<br>SR 742.141.11             | Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (allgemeine Bestimmungen, Instandhaltung)                                                                                                                                                                                                                             | Stand<br>01.07.2024 |
| TSI WAG<br>VO<br>(EU) 321/2013      | Verordnung vom 13. März 2013 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Güterwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union und zur Aufhebung der Entscheidung 2006/861/EG der Kommission; zuletzt geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694         | Stand<br>28.09.2023 |
| TSI LOC&PAS<br>VO<br>(EU) 1302/2014 | Verordnung vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems «Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen» des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union; zuletzt geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694                                               | Stand<br>10.08.2023 |
| TSI INF<br>VO<br>(EU) 1299/2014     | Verordnung vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems «Infrastruktur» des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union; zuletzt geändert durch Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694                                                                            | Stand<br>28.09.2023 |
| ECM<br>DVO<br>(EU) 2019/779         | Durchführungsverordnung vom 16. Mai 2019 mit Durchführungsbestimmungen für ein System zur Zertifizierung von für die Instandhaltung von Fahrzeugen zuständigen Stellen gemäß der Richtlinie (EU) 2016/798 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 445/2011 der Kommission | Stand<br>16.06.2020 |

## 2.2 Normen

|                   |                                                                                                                                      |              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| SN EN 1330-1      | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie - Teil 1: Allgemeine Begriffe                                                                | Ausgabe 2015 |
| SN EN 1330-2      | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie - Teil 2: Begriffe, die von allen zerstörungsfreien Prüfverfahren benutzt werden             | Ausgabe 1999 |
| SN EN 1330-3      | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie - Teil 3: Begriffe der industriellen Durchstrahlungsprüfung                                  | Ausgabe 1998 |
| SN EN ISO 5577    | Zerstörungsfreie Prüfung – Ultraschallprüfung – Terminologie                                                                         | Ausgabe 2017 |
| SN EN ISO 12707   | Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung – Vokabular                                                                           | Ausgabe 2016 |
| SN EN ISO 20484   | Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Begriffe                                                                              | Ausgabe 2017 |
| SN EN 1330-9      | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung                                                | Ausgabe 2017 |
| SN EN 1330-10     | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 10: Begriffe für Sichtprüfung                                                         | Ausgabe 2003 |
| SN EN 1330-11     | Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 11: Begriffe der Röntgendiffraktometrie von polykristallinen und amorphen Materialien | Ausgabe 2007 |
| SN EN 1369        | Giessereiwesen - Magnetpulverprüfung                                                                                                 | Ausgabe 2012 |
| SN EN 12080+A1    | Bahnanwendungen – Radsatzlager – Wälzlager                                                                                           | Ausgabe 2022 |
| SN EN 12081+A1    | Bahnanwendungen – Radsatzlager - Schmierfette                                                                                        | Ausgabe 2017 |
| SN EN 12082+A1    | Bahnanwendungen – Radsatzlager – Prüfung des Leistungsvermögens                                                                      | Ausgabe 2021 |
| SN EN 13103-1 +A1 | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Teil 1: Konstruktionsleitfaden für aussengelagerte Radsatzwellen                       | Ausgabe 2023 |
| CEN/TS 13103-2    | Bahnanwendungen - Radsätze und Drehgestelle - Teil 2: Konstruktionsleitfaden für innengelagerte Radsatzwellen                        | Ausgabe 2021 |
| SN EN 13260       | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsätze – Produktanforderungen                                                        | Ausgabe 2021 |
| SN EN 13261       | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzwellen – Produktanforderungen                                                   | Ausgabe 2024 |
| SN EN 13262       | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Räder – Produktanforderungen                                                           | Ausgabe 2026 |
| SN EN 13306       | Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung                                                                                         | Ausgabe 2018 |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| SN EN 13715       | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Räder – Radprofile                                                                                                                                                                                                                                    | Ausgabe 2020 |
| SN EN 13979-1     | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Vollräder- Technisches Zulassungsverfahren – Teil 1: Geschmiedete und gewalzte Räder                                                                                                                                                                  | Ausgabe 2024 |
| SN EN 14363+A2    | Bahnanwendungen – Versuche und Simulationen für die Zulassung der fahrtechnischen Eigenschaften von Eisenbahnfahrzeugen – Fahrverhalten und stationäre Versuche                                                                                                                                     | Ausgabe 2022 |
| SN EN 14865-1 +A1 | Bahnanwendungen – Schmierfette für Radsatzlager – Teil 1: Prüfung der Schmierfähigkeit                                                                                                                                                                                                              | Ausgabe 2011 |
| SN EN 14865-2 +A2 | Bahnanwendungen – Schmierfette für Radsatzlager – Teil 2: Prüfverfahren für mechanische Stabilität bei Schienenfahrzeugen bis zu Geschwindigkeiten von 200 km/h                                                                                                                                     | Ausgabe 2011 |
| SN EN 15085-1     | Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen – Teil 1: Allgemeines                                                                                                                                                                                                        | Ausgabe 2023 |
| SN EN 15085-2 +A2 | Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen – Teil 2: Anforderungen an Schweissbetriebe                                                                                                                                                                                  | Ausgabe 2025 |
| SN EN 15085-3 +A1 | Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen – Teil 3: Konstruktionsvorgaben                                                                                                                                                                                              | Ausgabe 2023 |
| SN EN 15085-4     | Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen – Teil 4: Fertigungsanforderungen                                                                                                                                                                                            | Ausgabe 2023 |
| SN EN 15085-5     | Bahnanwendungen – Schweißen von Schienenfahrzeugen und -fahrzeugteilen – Teil 5: Prüfung und Dokumentation                                                                                                                                                                                          | Ausgabe 2023 |
| SN EN 15313       | Bahnanwendungen – Radsätze und Drehgestelle – Radsatzinstandhaltung                                                                                                                                                                                                                                 | Ausgabe 2024 |
| SN EN 15437-1 +A1 | Zustandsüberwachung von Radsatzlagern – Schnittstellen und Gestaltungsanforderungen – Teil 1: Heissläuferortungsanlagen und Radsatzlagergehäusegestaltung                                                                                                                                           | Ausgabe 2023 |
| SN EN ISO 8501-1  | Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen – Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit – Teil 1: Rostgrade und Oberflächenvorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahloberflächen und Stahloberflächen nach ganzflächigem Entfernen vorhandener Beschichtungen | Ausgabe 2008 |
| SN EN ISO 9001    | Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen                                                                                                                                                                                                                                                          | Ausgabe 2015 |
| SN EN ISO 9606-1  | Prüfung von Schweißern – Schmelzschweißen – Teil 1: Stähle                                                                                                                                                                                                                                          | Ausgabe 2018 |

|                   |                                                                                                                                               |              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| SN EN ISO 9712    | Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung                                       | Ausgabe 2022 |
| SN EN ISO 9934-1  | Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung – Teil 1: Allgemeine Grundlagen                                                                | Ausgabe 2017 |
| SN EN ISO 9934-2  | Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung – Teil 2: Prüfmittel                                                                           | Ausgabe 2015 |
| SN EN ISO 9934-3  | Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung – Teil 3: Geräte                                                                               | Ausgabe 2015 |
| SN EN ISO 12944-4 | Beschichtungsstoffe – Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme – Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung | Ausgabe 2018 |
| DIN 27201-3       | Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen und Fertigungstechnologien – Teil 3: Werkstattfahrt                                               | Ausgabe 2024 |
| DIN 27201-4       | Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen – Teil 4: Behandeln von Eisenbahnfahrzeugen nach gefährlichen Ereignissen                         | Ausgabe 2025 |
| DIN 27201-9       | Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen und Fertigungstechnologien – Teil 9: Messen                                                       | Ausgabe 2024 |
| DIN 27201-11      | Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen – Teil 11: Verfahrensweise zur Erstellung eines Fehlertoleranzkonzeptes                           | Ausgabe 2022 |

## 2.3 RTE- und Regelungen der Bahnen

|                   |                                                                             |                        |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| R RTE 29001       | Wechselwirkung Fahrzeug/Fahrweg (Fahrtechnik) Normalspur                    | 1. Ausgabe 17.02.2022  |
| SBB BCA 20059323  | Technische Regel Reprofilierung von Radsätzen (nicht öffentlich publiziert) | Ausgabe 2014           |
| SBB Cargo TSP 004 | Haltervorschrift Radsatz SBB Cargo (nicht öffentlich publiziert)            | Version 4.0 01.10.2013 |

## 2.4 Richtlinien und Merkblätter

|                     |                                                                                                                            |                    |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| AVV Anlage 9        | Mängel und Schäden an Güterwagen im Betrieb und Folgemaßnahmen                                                             | Ausgabe 01.01.2026 |
| AVV Anlage 10       | Mindestzustand und Massnahmen zur Wiederherstellung der Lauffähigkeit von Güterwagen                                       | Ausgabe 01.01.2026 |
| COTIF 1999          | Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF)                                                            | Stand 01.12.2010   |
| ETV WAG             | Einheitliche Technische Vorschriften zum Teilsystem: «Fahrzeuge – GÜTERWAGEN» (ETV WAG)                                    | Ausgabe 22.06.2021 |
| Fehlerkatalog (BAV) | Fehlerkatalog für die Kontrolle von Zügen, Güter-, Reisezug-, und Gefahrgutwagen, V18.0 Aktenzeichen: BAV-521.110.0-1/34/2 | Ausgabe 01.01.2026 |

|                                |                                          |                         |
|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|
| VPI -EMG 04<br>(VPI-Leitfaden) | Instandhaltung von Güterwagen – Radsätze | Ausgabe 5<br>01.12.2024 |
|--------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|

|                      |                                                                                                                                                    |                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| UIC 510-2<br>(VE)    | Wagen. Bedingungen für die Verwendung von Rädern verschiedener Durchmesser in Laufwerken unterschiedlicher Bauart                                  | 4. Ausgabe<br>2002       |
| IRS 50510-5<br>(UIC) | Additional requirements for the technical approval of forged and rolled wheels according to EN 13979-1                                             | 1. Ausgabe<br>2023       |
| UIC 519<br>(VE)      | Methode zur Bestimmung der äquivalenten Konizität                                                                                                  | 1. Ausgabe<br>2004       |
| UIC 579-1<br>(VE)    | Güterwagen – Periodische Revision – Methodologien zur Bestimmung ihrer Häufigkeit und ihres Umfangs                                                | 3. Ausgabe<br>2003       |
| UIC 810-1<br>(V)     | Technische Lieferbedingungen für Rohradreifen aus gewalztem, unlegiertem Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen                                        | 5. Ausgabe<br>2003       |
| UIC 810-2<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen für unbearbeitete Radreifen für Triebfahrzeuge und Wagen – Toleranzen                                                 | 4. Ausgabe<br>1985       |
| UIC 810-3<br>(V)     | Technische Lieferbedingungen für unlegierten Flach- und Formstahl für Radreifensprengringe                                                         | 1. Ausgabe<br>1990       |
| UIC 811-1<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen, Radsatzwellen für Triebfahrzeuge und Wagen<br>(aufgehoben, ersetzt durch SN EN 13261)                                | 4. Ausgabe<br>1987       |
| UIC 811-2<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen, Radsatzwellen für Triebfahrzeuge und Wagen – Toleranzen<br>(aufgehoben, ersetzt durch SN EN 13261)                   | 2. Ausgabe<br>2004       |
| UIC 812-1<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen für gewalzte oder geschmiedete Radkörper am Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen – Gütevorschriften                     | 1. Ausgabe<br>1989       |
| UIC 812-2<br>(VE)    | Vollräder für Triebfahrzeuge und Wagen – Toleranzen                                                                                                | 1. Ausgabe<br>2002       |
| UIC 812-3<br>(V)     | Technische Lieferbedingungen für Vollräder aus gewalztem unlegiertem Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen                                            | 1. Ausgabe<br>1984       |
| UIC 812-4<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen für bereifte Räder für Wagen und Triebfahrzeuge – Bereifung und Toleranzen                                            | 1. Ausgabe<br>1990       |
| UIC 812-5<br>(VE)    | Technische Lieferbedingungen für gewalzte oder geschmiedete Radkörper aus Stahl für Triebfahrzeuge und Wagen – Toleranzen und Oberflächenrauigkeit | 1. Ausgabe<br>1988       |
| UIC 813<br>(V)       | Technische Lieferbedingungen, Radsätze für Triebfahrzeuge und Wagen – Toleranzen und Montage<br>(aufgehoben, ersetzt durch SN EN 13260)            | 2. Ausgabe<br>2003       |
| UIC<br>V-BKS (K)     | UIC-Baurichtlinie V-BKS (K):                                                                                                                       | 9. Ausgabe<br>01.08.2013 |

|                |                                                                                                                                                                            |                           |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                | Konstruktion und Auslegung von Güterwagen mit Verbundstoff-Bremsklotzsohlen mit hohem Reibwert (K) – Bremsbetrieb, Überwachung und Instandhaltung                          |                           |
| UIC V-BKS (LL) | UIC-Anwendungsrichtlinie V-BKS (LL): Auslegung von Güterwagen mit Verbundstoff-Bremsklotzsohlen mit niedrigem Reibwert (LL) – Bremsbetrieb, Überwachung und Instandhaltung | 10. Ausgabe<br>01.08.2013 |

Verbindlichkeit von UIC-Merkblättern: (V) Verbindlich (E) Empfehlend (I) Informativ

## 2.5 Weitere, eingeschränkt verwendete Grundlagen

|                              |                                                                                                 |                           |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| DIN 5573<br>(zurückgezogen)  | Schienenfahrzeuge - Radprofile - Breite 135 und 140 mm                                          | Ausgabe<br>1995           |
| DIN 51501<br>(zurückgezogen) | Lubricants; Lubricating Oils L-AN; Minimum Requirements                                         | Ausgabe<br>1979           |
| EBA                          | Allgemeinverfügung: Instandhaltung von Radsätzen an Güterwagen                                  | Ausgabe<br>10.07.2007     |
| EBA                          | Allgemeinverfügung: Dokumentation der Historie und Instandhaltung von Güterwagenradsätzen       | Ausgabe<br>23.12.2009     |
| ECCM <sup>a)</sup>           | European Common Criteria for Maintenance (of wheelset axles)                                    | Version 1.1<br>22.06.2010 |
| ERA                          | JNS Normales Verfahren<br>"Unfall Gotthard-Basistunnel - gebrochene Räder",<br>Abschlussbericht | Version 3.0<br>04.04.2025 |
| EVIC <sup>b)</sup>           | Europäischer Sichtprüfungskatalog (EVIC) für Güterwagenradsatzwellen.                           | Stand<br>01.01.2015       |
| EWT <sup>c)</sup>            | European Wheelset Traceability<br>(for freight wagon axles)                                     | Ausgabe<br>26.07.2010     |
| GM/RT2466                    | Railway Group Standard - Railway Wheelsets                                                      | Issue 5<br>04.03.2023     |

a) Der Inhalt ist in die SN EN 15313 und den EVIC-Katalog übergegangen.

b) Der EVIC-Katalog ist inzwischen fester Bestandteil des AVV, Anlage 10, Anhang 3.

c) Der Inhalt ist in die SN EN 15313 und den AVV übergegangen.

## 3 Abkürzungen, Begriffe und Definitionen

---

### 3.1 Abkürzungen

---

|        |                                                                                                                                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AB-EBV | Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung                                                                                                                    |
| AVV    | Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen                                                                                                              |
| CER    | Community of European Railway and Infrastructure Companies                                                                                                         |
| COTIF  | Convention relative aux Transports Internationaux Ferroviaires<br>(Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr)                                        |
| ECM    | Entity in Charge of Maintenance                                                                                                                                    |
| ERFA   | European Rail Freight Association                                                                                                                                  |
| ERA    | European Railway Agency                                                                                                                                            |
| ETV    | Einheitliche technische Vorschriften (OTIF-Entsprechung zur TSI)<br>siehe auch PTU (in Französisch), UTP (in Englisch)                                             |
| EVIC   | European Visual Inspection Catalogue (Visuelle Kontrolle der Radsatzwelle)                                                                                         |
| EVU    | Eisenbahnverkehrsunternehmen                                                                                                                                       |
| EWT    | European Wheelset Traceability                                                                                                                                     |
| HFO    | Heissläufer-Ortungsanlage                                                                                                                                          |
| IS     | Instandhaltungsstufen IS 0 bis IS 3 am Radsatz<br>gemäss VPI 04 (VPI-Leitfaden).                                                                                   |
| JNS    | Joint Network Secretariat zur Erarbeitung harmonisierter Massnahmen<br>nach schwerwiegenden Ereignissen im Eisenbahnverkehr auf europäi-<br>scher Ebene            |
| LRS    | Laufadsatz                                                                                                                                                         |
| OTIF   | Organisation Intergouvernementale pour les Transports Internationaux<br>Ferroviaires (zwischenstaatliche Organisation für den internationalen<br>Eisenbahnverkehr) |
| PTU    | Prescriptions techniques uniformes (OTIF-Entsprechung zur TSI)<br>siehe auch ETV (in Deutsch), UTP (in Englisch)                                                   |
| RCF    | Rolling Contact Fatigue (Rollkontaktermüdung)                                                                                                                      |
| RIC    | Regolamento Internazionale delle Carrozze                                                                                                                          |
| RIV    | Regolamento Internazionale Veicoli                                                                                                                                 |
| TEN    | Trans-European Networks                                                                                                                                            |
| TRS    | Triebradsatz                                                                                                                                                       |
| TSI    | Technical specification for Interoperability                                                                                                                       |
| UFD    | Unterflurdrehbank für Radsätze                                                                                                                                     |



|       |                                                                                                                  |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UIC   | Union internationale des chemins de fer                                                                          |
| UIP   | International Union of Wagon Keepers                                                                             |
| UIRR  | International Union of Combined Road-Rail Transport Companies                                                    |
| UITP  | L'Union internationale des transports publics                                                                    |
| UNIFE | Association of the European Rail Industry                                                                        |
| UTP   | Uniform Technical Prescriptions (OTIF-Entsprechung zur TSI)<br>siehe auch ETV (in Deutsch), PTU (in Französisch) |
| VPI   | Verband der Güterwagenhalter in Deutschland                                                                      |
| ZfP   | Zerstörungsfreie Prüfung                                                                                         |
| ZKE   | Zugskontrolleinrichtung                                                                                          |

## 3.2 Begriffe

---

Für die Anwendung dieser Regelung gelten folgende Begriffe:

|            |                                                                                                                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Radkörper  | Korrekte Bezeichnung für den umgangssprachlichen Begriff «Felge» oder «Radnabe».                                                                                                |
| Radreifen  | Neue Bezeichnung für den veralteten Begriff «Bandage».                                                                                                                          |
| Radsatz    | Technisch korrekte Bezeichnung einer Radsatzwelle mit zwei montierten Radscheiben sowie ggf. der Lagerung und weiterer Anbauteile. Umgangssprachlich auch als Achse bezeichnet. |
| Radscheibe | Siehe Vollrad.                                                                                                                                                                  |
| Vollrad    | Neue Bezeichnung für den veralteten Begriff «Monoblocrad». Wird auch als Radscheibe bezeichnet.                                                                                 |



### 3.3 Definitionen

---

Folgende Sachverhalte gelten für diese RTE-Regelung:

#### 3.3.1 Halter

Führt der Halter die Funktion der Instandhaltungserbringung nicht selbst aus, müssen die Zuständigkeiten zwischen Halter und der ausführenden Stelle vertraglich geregelt sein.

#### 3.3.2 Werkstattarten

- **Instandhaltungswerkstatt**  
Werkstatt, die Inspektionen an Radsätzen durchführen kann, in der Regel Werkstätten für die betriebsnahe Instandhaltung, bei verschiedenen Bahnen auch Serviceanlage genannt
- **Fachwerkstatt**  
Werkstatt, die Radsätze tiefgreifender behandeln (instandsetzen) kann (reprofilieren im ausgebauten Zustand, Neubescheidung, Lageraufarbeitung, etc.), auch als Industriewerk oder Hauptwerkstätte bezeichnet

#### 3.3.3 Unterscheidung Güterwagen – Dienstwagen

- **Güterwagen**  
Wagen zur kommerziellen Beförderung von Gütern
- **Dienstwagen**  
Güterwagen für bahndienstliche Zwecke und nicht kommerzielle Beförderung von Gütern, vorwiegend für die Bahninfrastruktur

## 4 Grundsätze

Zur Verwendung der aktuellen SN EN-Normen im Bereich Radsatz gilt folgende Klassifizierung:

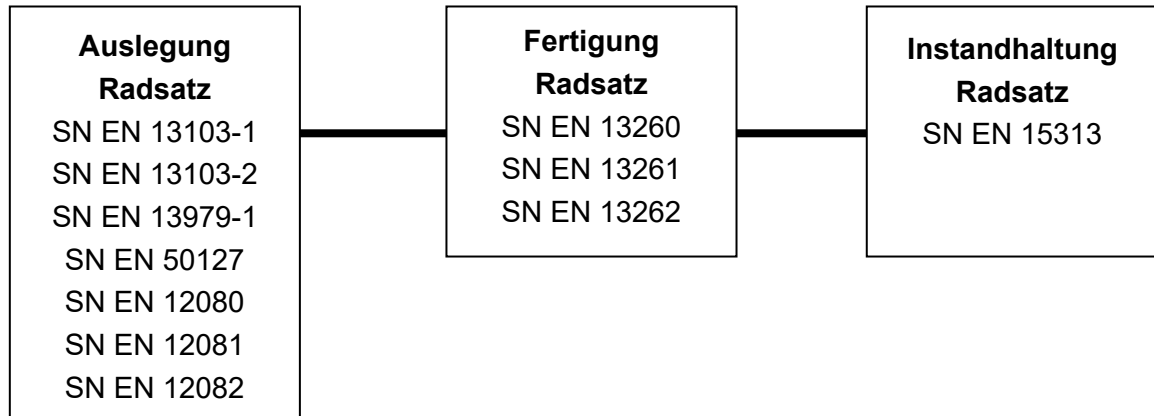


Abbildung 4-1: Übersicht SN EN-Normen im Bereich Radsatz (nicht abschliessend)

Dabei ist sicher zu stellen, dass stets die aktuelle Version vorliegt bzw. die Migration im Zuge der Erstellung der TSI berücksichtigt wird sowie die nachfolgend beschriebenen besonderen Schweizer Verhältnisse bei den Vorgaben für die mechanische Bewertung gemäss Ziffer 4.4 der SN EN 13979-1 (Beschreibung der Strecken, Parameter der Bögen, Höchstgeschwindigkeit, Fahrzeugen auf diesen Strecken) einfließen.

### 4.1 Bewertung bei der Auslegung - Besonderen Schweizer Verhältnisse

Gemäss der Regelung R RTE 29001 «Wechselwirkung Fahrzeug/Fahrweg (Fahrtechnik) Normalspur» ist bei der Fahrzeugauslegung, der Fahrzeugbeschaffung und beim Fahrzeugeinsatz den besonderen Schweizer Verhältnissen sowie den betrieblichen Anforderungen Rechnung zu tragen. Die Trassierung des Normalspur-Schienennetzes in der Schweiz weist eine verhältnismässig grosse Anzahl an Strecken auf, die Gleisbögen mit sehr kleinen Bogenradien  $R < 400$  m und extra kleinen Bogenradien  $R < 250$  m beinhalten, welche im Vergleich zu anderen europäischen Ländern unter Berücksichtigung der gefahrenen Geschwindigkeiten fahrtechnisch sehr anspruchsvoll sind.

Als spezifischer Parameter für die Auslegung von Radscheiben und Radsatzwellen beträgt der Bogenanteil  $R \leq 800$  m des Schweizer Normalspurnetzes rund 30 % (siehe auch IRS 50510-5 Absatz 8.2.1.3). Dementsprechend sind im Rahmen der mechanischen Auslegung für die aussergewöhnliche Belastung und die Ermüdungsbelastung gemäss SN EN 13979-1 (Ziffern 4.4 und 8.2) und SN EN 13103-1 unter Berücksichtigung des fahrzeugspezifischen Fahrverhaltens höhere Rad/Schiene-Kräfte zu berücksichtigen.

Dies bedeutet, dass entweder sämtliche Radsätze als führend zu betrachten und bei der mechanischen Auslegung die Vorgaben der SN EN 13979-1 für die Führungskräfte  $F_{y\lim}$  (aussergewöhnliche Belastung) und  $F_y$  (Ermüdungsbelastung) um einen Faktor  $f_y = 1.3$  zu erhöhen oder das fahrzeugspezifische Fahrverhalten mit den daraus resultierenden Führungskräften zu berücksichtigen sind.

## 5 Instandhaltung generell

### 5.1 Definition der Instandhaltung

Die Instandhaltung von Radsätzen umfasst die Kombination aller technischen und administrativen Massnahmen zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass die geforderte Funktion erfüllt werden kann.

Die Instandhaltung wird gemäss SN EN 13306 in vier Bereiche unterteilt. Diese können dem Radsatz wie folgt zugeordnet werden:

- **Wartung**  
Unter Wartung fallen Massnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrates. Zur Wartung eines Radsatzes gehören beispielsweise Ausbesserungen von Farbschäden oder Nachschmieren von Radsatzlagern.
- **Inspektion**  
Unter Inspektion fallen Massnahmen zur Festlegung und Beurteilung des Istzustandes einer Betrachtungseinheit, einschliesslich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung. In Bezug auf den Radsatz sind darunter die Tätigkeiten der leichten Instandhaltung zu verstehen.
- **Instandsetzung**  
Unter Instandsetzung fallen Massnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen. In Bezug auf den Radsatz sind darunter die Tätigkeiten der schweren Instandhaltung zu verstehen.
- **Verbesserung**  
Verbesserung ist die Kombination aller technischen und administrativen Massnahmen sowie Massnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern. Bei Radsätzen kann dies der Einsatz eines besseren Werkstoffes sein.

Im Gegensatz zur SN EN 13306 werden im Bereich dieser RTE-Regelung nur Wartung, Inspektion und Instandsetzung der Radsätze behandelt.

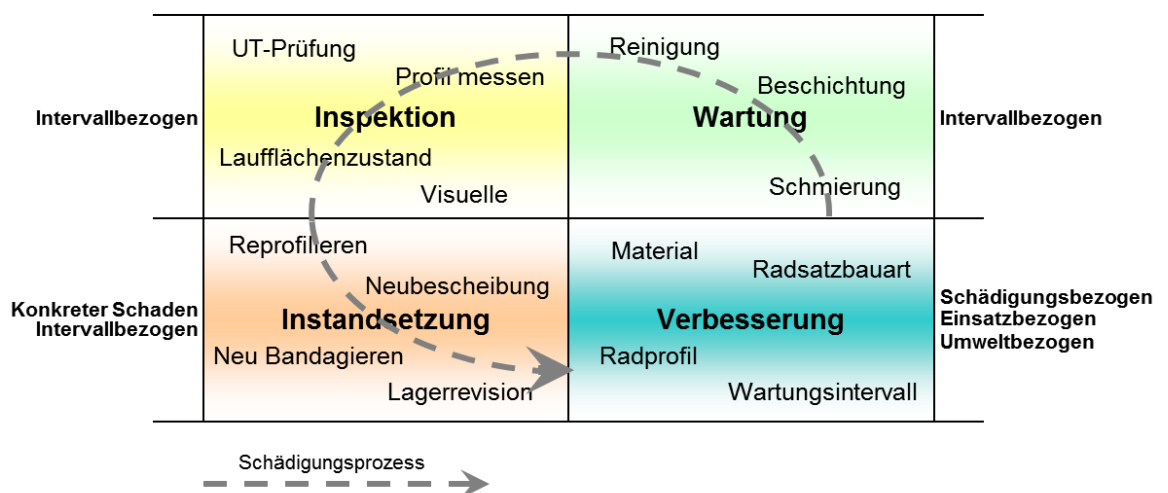


Abbildung 5-1: Instandhaltung

## 5.2 Gründe für die Instandhaltung

---

Ein sicherer Bahnbetrieb ist nur mit Komponenten gewährleistet, die regelmässig auf ihre weitere Betriebstauglichkeit hin geprüft werden. Diese Überprüfung erfolgt im Rahmen der Inspektion und der Instandsetzung und stellt sicher, dass die entsprechende Komponente genügend Materialreserven (und Zeitreserve) für ein weiteres Einsatzintervall hat bzw. nachweislich fehlerfrei ist.

Bei Radsätzen handelt es sich dabei in erster Linie um Materialreserven der Räder zur Sicherstellung eines konformen Radprofils und, sofern vorhanden, Bremsscheiben sowie die Bestätigung fehlerfreier und damit rissfreier Radscheiben und Radsatzwellen und die Funktionstüchtigkeit der Radsatzlager.

### Grundsätzlich gilt

Durch die Instandhaltungsarbeiten ist sicher zu stellen, dass der Radsatz sämtliche Anforderungen an die Sicherheit bis zur nächsten vorgesehenen Instandhaltung erfüllen kann. Wünschenswert ist ebenfalls, dass die Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit ebenso erfüllt werden, wobei die Aspekte der Sicherheit in jedem Fall prioritär sind.

Die Instandhaltung zum Erzielen der geforderten Sicherheit ist in der Regel zwingend und durch Vorschriften geregelt und liegt in der Verantwortung des Fahrzeughalters oder des Instandhaltungserbringers. Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit sind stark von Betriebseinsatz und den Erwartungen des Betreibers abhängig.

### 5.2.1 Sicherheit

Im Bereich Radsatz ist der Betriebssicherheit grösste Aufmerksamkeit zu widmen. Das Versagen einzelner Bauteile eines Radsatzes kann verheerende Folgen haben. Durch eine regelmässige Instandhaltung kann dieses Risiko sehr stark minimiert werden. Gesetze, Vorschriften, Vorgaben des Herstellers und Betriebserfahrung regeln im Bereich der sicherheitskritischen Bauteile weitgehend die Massnahmen zur Instandhaltung.

Das Verletzen von Betriebsgrenzwerten, gleich aus welchem Hintergrund, ist grundsätzlich nicht zulässig, wenn der entsprechende Radsatz im laufenden Betrieb eingesetzt wird. Radsätze, die Betriebsgrenzwerte verletzen, sind umgehend der Instandsetzung zuzuführen.

### 5.2.2 Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Über den Grad der erwünschten Zuverlässigkeit der Radsätze im Betrieb und damit der Verfügbarkeit der Fahrzeuge insgesamt kann jeder Fahrzeughalter in gewissem Rahmen selber entscheiden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei Radsätzen die Grenze der Zuverlässigkeit in der Regel auch eine Sicherheitsgrenze ist. Bei Radsätzen spielt daher die Bewertung nach der Verfügbarkeit der Fahrzeuge eine untergeordnete Rolle, die Sicherheit zur Gewährleistung der Einhaltung von Betriebsgrenzmassen ist vorrangig. Die Instandsetzung dient bei Ausfällen und bei Verschleiss der Wiederherstellung der vollständigen Betriebstüchtigkeit.

Bei räumlich begrenzten Einsätzen von Fahrzeugen kann z.B. im Rahmen der Verfügbarkeit das Radprofil kontrolliert bis an seine Grenzwerte abgefahren werden, während dies bei internationalen Einsätzen, vorzugsweise im Güterverkehr, in der Regel mangels kurzer Kontrollintervalle nicht möglich ist.

### 5.2.3 Wirtschaftlichkeit

Radsätze und deren Instandhaltung ist kostenintensiv. Es ist daher das Ziel, einen Radsatz so gut wie möglich im Betrieb zu nutzen und vorhandene Materialreserven gezielt auszunutzen. Gezielt geplante Instandhaltungen können die Nutzungsdauer unter Umständen verlängern und zu einer besseren Nutzung der vorhandenen Ressourcen beitragen.

Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben unter anderem:

- Reprofilierungsintervall Laufflächen und damit je nach Fahrzeug
  - Angepasstes Radprofil
  - Bremsregelung (Gleitschutz)
  - Traktionsregelung (Schleuderschutz)
  - Einsatzgebiet des Fahrzeugs
- Laufflächenverschleiss pro Laufkilometer
- Materialvorrat Laufkreisdurchmesser
- Vollradwerkstoff/Radreifenwerkstoff
- Betriebsverschleiss der Bremsflächen bei Bremsscheiben
- Kontrollintervall UT-Untersuchung Radsatzwelle am Fahrzeug
- Lebensdauer Vollrad oder Radreifen
- Lebensdauer der Radsatzlager
- Qualität Radsatzlagerfett
- Qualität der Oberflächenbeschichtung
- Beschaffungskosten
- Instandhaltungskosten

Einen weiteren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat eine vom Fahrzeughalter zu definierende Grenze, bis zu der eine Aufarbeitung noch wirtschaftlich vertretbar ist. Als Beispiel sei die Entscheidungsgrenze zwischen Reprofilierung und Restlaufleistung oder Neubeschreibung bzw. Neubereifung genannt.

## 5.3 Zielsetzung der Instandhaltung

---

Durch die mit der Instandhaltung in den verschiedenen Stufen verbundenen Arbeiten und Kontrollen soll sichergestellt werden, dass der Radsatz unter Ausnützung der zulässigen Betriebsgrenzmasse zu einem vertretbaren Kostenaufwand sicher und zuverlässig eingesetzt werden kann. Die korrekte Ausführung der Instandsetzungsarbeiten muss dokumentiert und gemäss gesetzlichen Vorgaben archiviert werden (siehe dazu auch Kapitel 11).

## 5.4 Instandhaltungsfunktionen

---

Die Instandhaltung betrifft die Überwachung der unter den Fahrzeugen eingebauten Radsätze (Inspektion), die Behandlung eingebauter und ausgebauter Radsätze und die Behandlung von aussergewöhnlichen Vorfällen, die im laufenden Betrieb durch verschiedene Instanzen festgestellt wurden, z.B. Heissläufer, Festbremsen, Kollisionen, Überladung, Hochwassereinwirkung, etc.

Zur Sicherstellung der korrekten Behandlung von Radsätzen ist ein Instandhaltungsmanagementsystem (z.B. ECM) notwendig, das die verschiedenen Tätigkeiten koordiniert.

#### 5.4.1 Anforderungen an die Instandhaltung

Zur korrekten Durchführung aller Instandhaltungsmassnahmen an Radsätzen muss mindestens folgendes vorhanden sein:

- Alle Instandhaltungsarbeiten sind von entsprechend ausgebildetem Personal unter Aufsicht qualifizierter Fachleute durchzuführen.
- Die benötigten Werkzeuge, Lehren und Messmittel sind bereit zu stellen und in gutem Zustand zu halten. Lehren und Messmittel sind in definierten Abständen zu überprüfen.
- ein Instandhaltungsprogramm im Sinne eines Regelwerkes zur Behandlung der Radsätze
- ein organisierter Rückfluss von Betriebserfahrungen
- eine Organisation zum Verwalten von Bauteilen und der Produktion
- eine Organisation zum Verwalten der Bauteilehistorie (Rückverfolgbarkeit)
- qualifiziertes Werkzeug für die Instandhaltung von Radsätzen
- qualifiziertes Personal für die zerstörungsfreie Prüfung an Radsätzen und an Radsatzkomponenten (Qualifizierung zum Beispiel gemäss SN EN ISO 9712)
- gemäss SN EN ISO 9606-1 qualifiziertes und geprüftes Personal für Schweissarbeiten an Radsatzkomponenten (Beispiele: Verschleissplatten an Radsatzlagergehäusen, Auswuchtgewichte an Sprengringen, Schweissarbeiten an Speichenrädern)

Das Instandhaltungswerk muss für alle Radsatzbauarten, die es im Rahmen der Instandhaltung behandelt, entsprechend qualifiziert sein. Dies betrifft alle Tätigkeiten am Radsatz im eingebauten und ausgebauten Zustand sowie reduzierte Instandhaltungsaufgaben wie z.B. Reprofilierung.

Der Fahrzeughalter bzw. ECM 1 ist dafür verantwortlich, dass die Arbeiten durch zertifizierte Instandhaltungswerke ausgeführt werden.

#### 5.4.2 Instandhaltungsregelwerk

Für die Instandhaltung von eingebauten und ausgebauten Radsätzen ist es notwendig, über ein Instandhaltungsregelwerk (entsprechend SN EN 15313) zu verfügen. Dieses Instandhaltungsregelwerk muss folgende Punkte behandeln können:

- Anforderungen an die Instandhaltung auf Basis technischer und hoheitlicher Vorgaben
- Anforderung an die Organisation und Planung der Instandhaltung (AVOR)
- Anforderung an die Durchführung der Instandhaltung mit geeigneten Mitteln (Werkstatt)
- Auswertung der Instandhaltung zur Schwachstellenanalyse/KVP
- Sicherstellen der Datenerfassung entsprechend den Vorgaben aus Kapitel 11 (SN EN 15313)

Die ECM 1 ist dafür verantwortlich, dass das Instandhaltungsprogramm von einem kompetenten technischen Dienst (Rolle des ECM 2) aus dem Eisenbahnbereich erstellt wird. Die verschiedenen ECM-Rollen können innerhalb des gleichen Unternehmens angesiedelt sein. Es ist sicher zu stellen, dass das Instandhaltungsregelwerk dem Stand der Technik entspricht.

### 5.4.3 Instandhaltungs-Planung und -Auswertung

Die Instandhaltungsplanung und die Auswertung der durchgeführten Instandhaltungsmassnahmen sollen über einen Datenrückfluss gekoppelt sein, um eine Optimierung der Planung zu ermöglichen. Dazu ist ein Rückfluss von Erfahrungen aus der Instandhaltung notwendig. Dabei sollen auch die Massnahmen zur Behandlung von Ereignissen einfließen, die ausserhalb des Instandhaltungsprogramms festgestellt wurden, z.B. durch den Visiteur oder Heissläuferortungsanlagen. Eine Instandhaltungsplanung kann nur dann effizient sein und die unter Abschnitt 5.2 definierten Ziele erreichen, wenn die Instandhaltungsintervalle und die notwendigen Tätigkeiten auf Basis der Betriebserfahrungen ständig überprüft werden.

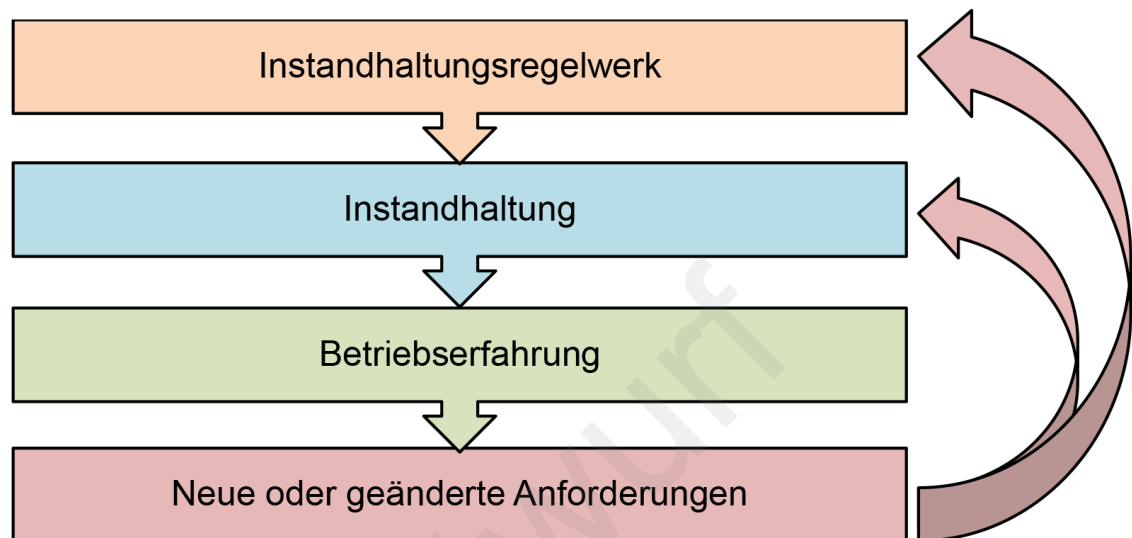


Abbildung 5-2: Rückfluss der Betriebserfahrung

#### 5.4.4 Instandhaltungs-Durchführung

Die Instandhaltung an Radsätzen kann durch Instandhaltungswerkstätten oder Fachwerkstätten ausgeführt werden. Dabei ist in der Qualifikation der Werkstätten zu unterscheiden zwischen

- **Inspektionsarbeiten (Instandhaltungs- und Fachwerkstätten)**  
visuelle Kontrollen am Radsatz, messen einzelner Masse und Entscheidung bezüglich der Verletzung von Betriebs-, Werks- oder Haltergrenzmassen, Dokumentation der ausgeführten Arbeiten und Rückmeldung an den Fahrzeughalter
- **Instandsetzung (Fachwerkstätten)**  
aufarbeiten von Radsätzen je nach notwendiger Instandhaltungsstufe von Reprofilierung bis Neubeschreibung bzw. Neubereifung (Dies ist nur in darauf spezialisierten Werkstätten möglich, diese sind durch den Fahrzeughalter zu zertifizieren.)

Die einzelnen Arbeitsschritte und die dazu notwendigen Vorgaben werden in Kapitel 9 und 10 erläutert.

Sowohl Inspektions- wie auch Instandhaltungsarbeiten müssen nachvollziehbar dokumentiert werden und die relevanten Daten gemäss den Angaben in Kapitel 11 angegeben und gemäss gesetzlichen Vorgaben archiviert werden.

Entwurf



## 6 Definition – Radsätze Normalspur

---

Radsatzbauarten werden für einen definierten Einsatzbereich (einzelner Fahrzeugtyp oder Fahrzeuggruppen) konstruiert und sind nicht beliebig untereinander austauschbar. Bei Fahrzeugumbau- oder Abänderungen ist die weitere Eignung der bisher verwendeten Radsatzbauart zu prüfen.

Bei Radsätzen für den möglichen Einsatz in lärmsanierten Fahrzeugen mit K-, L- oder LL-Bremssohlen ist zu berücksichtigen, dass nur für den Einsatz mit diesen Bremssohlenarten zugelassene Radsätze mit Vollrädern verwendet werden dürfen. Dies ist z.B. bei spannungsarmen Vollrädern (Kennzeichnung «sa») oder Vollrädern aus dem Material R7T, deren spezifische Eignung für diesen Einsatzfall nachgewiesen wurde, der Fall. Der Einsatz von bandagierten Radsätzen und Vollradmaterial BV2/R2 ist verboten. Massgebend sind die Vorgaben der Bau- und Anwendungsrichtlinien V-BKS der UIC.

Bei der Neukonstruktion von Vollrädern für den Einsatz mit Bremssohlen ist das technische Zulassungsverfahren gemäss SN EN 13979-1 unter Berücksichtigung der besonderen Schweizer Verhältnisse gemäss Abschnitt 4.1 durchzuführen.

Die Instandhaltungsarbeiten haben sich grundsätzlich gemäss den Vorgaben der AB-EBV, aktuell gültigen SN EN-Normen und UIC-Richtlinien sowie den geltenden Unterhaltsvorschriften des Lieferanten zu richten. Die Hierarchie der Vorgaben ist in der R RTE 11000 festgelegt. Wo keine Lieferantenvorschriften vorhanden sind, gelten die nachfolgenden Vorgaben.

Für Güterwagenradsätze, welche im internationalen Verkehr eingesetzt werden (z.B. Radsätze für TEN-RIV-Wagen), gelten die entsprechenden Vorgaben der TSI respektive der ERA/COTIF und des VPI.

### 6.1 Radsatzkomponenten

---

Ein Radsatz besteht je nach Bauart aus unterschiedlichen Komponenten, die alle in ihrer Gesamtheit zur korrekten Funktion des Radsatzes beitragen. Diese können grob in Funktionseinheiten gegliedert werden.

#### 6.1.1 Radsatz

Grundsätzlich besteht ein Radsatz aus den Komponenten:

- Radsatzwelle
- Rad
- Radsatzlagerung
- Komponenten zum Bremssystem, bauartabhängig
- Komponenten zum Antriebssystem, bauartabhängig

## 6.2 Radsatz-Komponententypen

---

Die unten aufgeführten Komponententypen fallen unter den Geltungsbereich der R RTE 41000:

### **Radsatz**

- Lauf- und Triebradsatz (Ausnahmen siehe Abschnitt 1.2.2)

### **Radsatzwelle**

- Vollwelle und Hohlwelle

### **Rad**

- Vollrad
- Scheibenrad mit Radreifen
- Speichenrad mit Radreifen
- Radkörper mit und ohne Schallabsorber
- Radkörper mit und ohne Radbremsscheibe
- Radkörper mit gummigefedertem Radreifen

### **Radsatzlagerung**

- Aussenlagerung, Innenlagerung
- Lager mit Radsatzlagergehäuse

### **Lagerart**

- Wälzlager

### **Komponenten zum Bremssystem**

- Radbremsscheibe, Wellenbremsscheibe
- Impulsgeber für Gleitschutz

### **Komponenten zum Antriebssystem**

- Zahnrad, Getriebe und Tatzlagerung (oder auch nur Bestandteile davon, welche je nach Fahrzeug und Instandhaltungsstufe der Radsätze nicht demontiert werden müssen)
- Impulsgeber für Schleuderschutz und Geschwindigkeitserfassung

### **Komponenten zur Erdung**

- Kontaktscheiben für Erdbürsten, direkt auf der Radsatzwelle oder der Radscheibe montiert
- Erdbürsten zur stirnseitigen Montage an der Radsatzwelle

### 6.2.1 Radsatzwelle

Die Seite der Radsatzwelle mit der vollständig gestempelten Stirnseite wird als Seite A oder linke Seite bezeichnet, die entgegengesetzte Seite als Seite B oder rechte Seite. Diese Definition gilt auch für einen komplett montierten Radsatz.

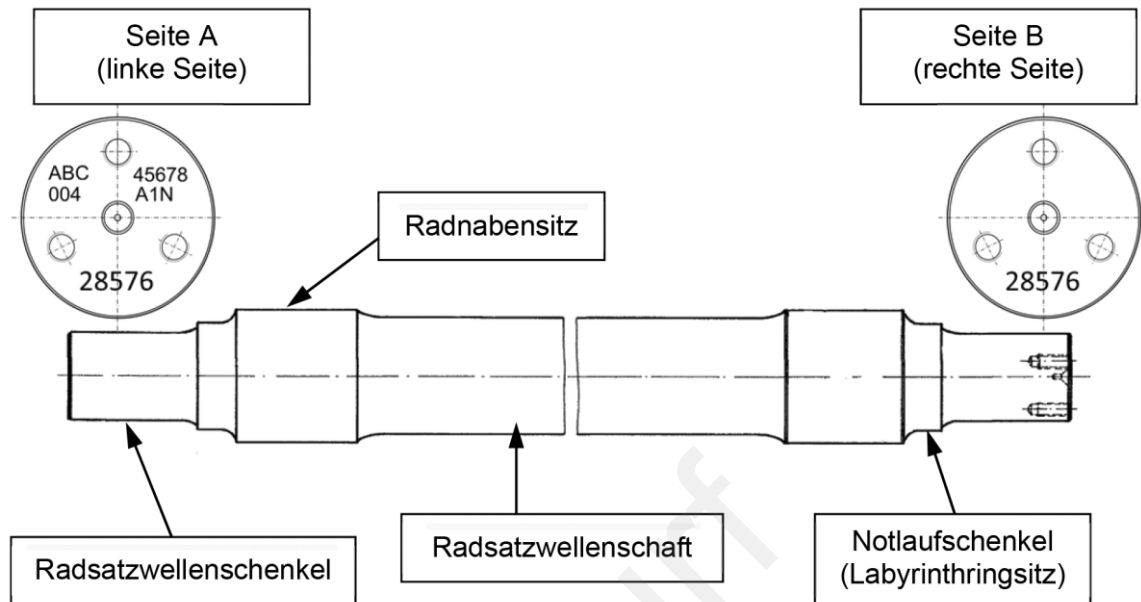


Abbildung 6-1: Laufradsatzwelle (Beispiel: Vollwelle)

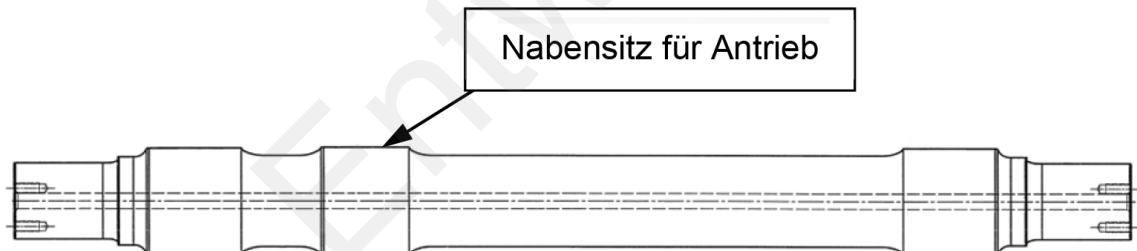


Abbildung 6-2: Triebradsatzwelle als Hohlwelle

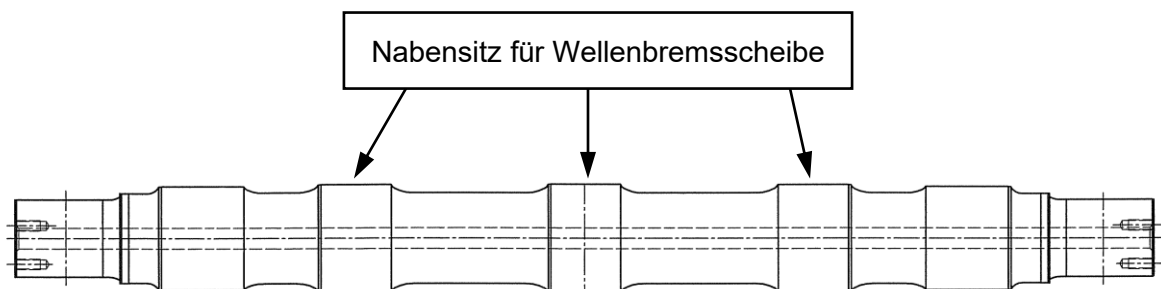


Abbildung 6-3: Laufradsatzwelle als Hohlwelle mit Wellenbremsscheibensitzen

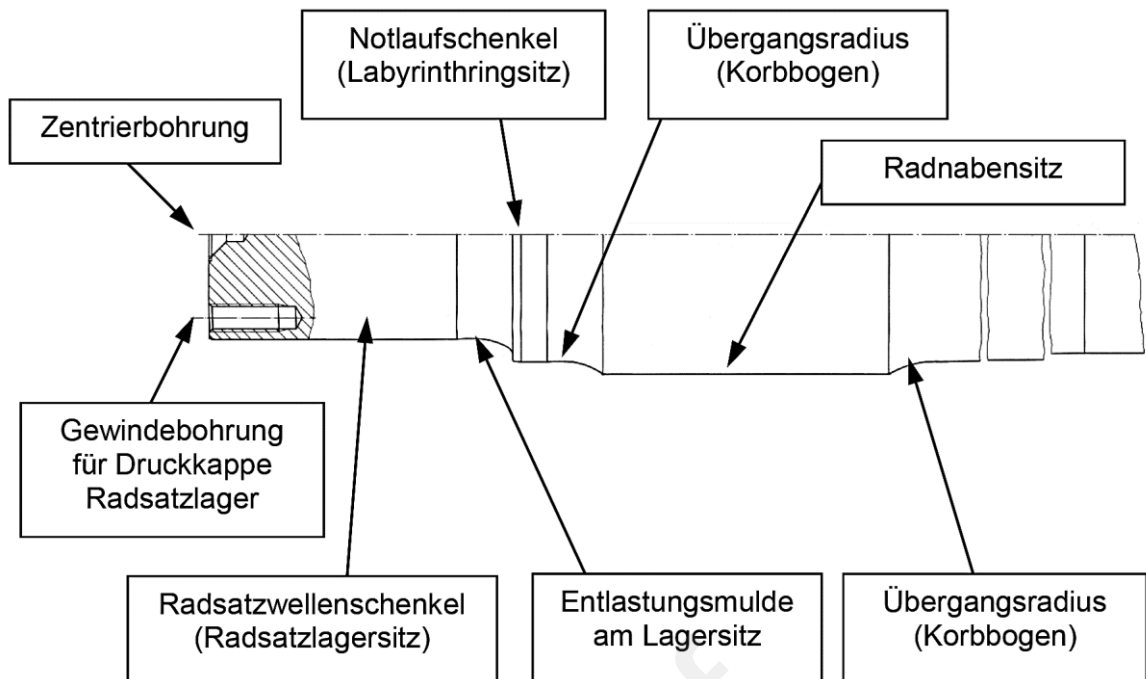


Abbildung 6-4: Detail Radsatzwelle Lager- und Radscheibensitz

### 6.2.2 Rad

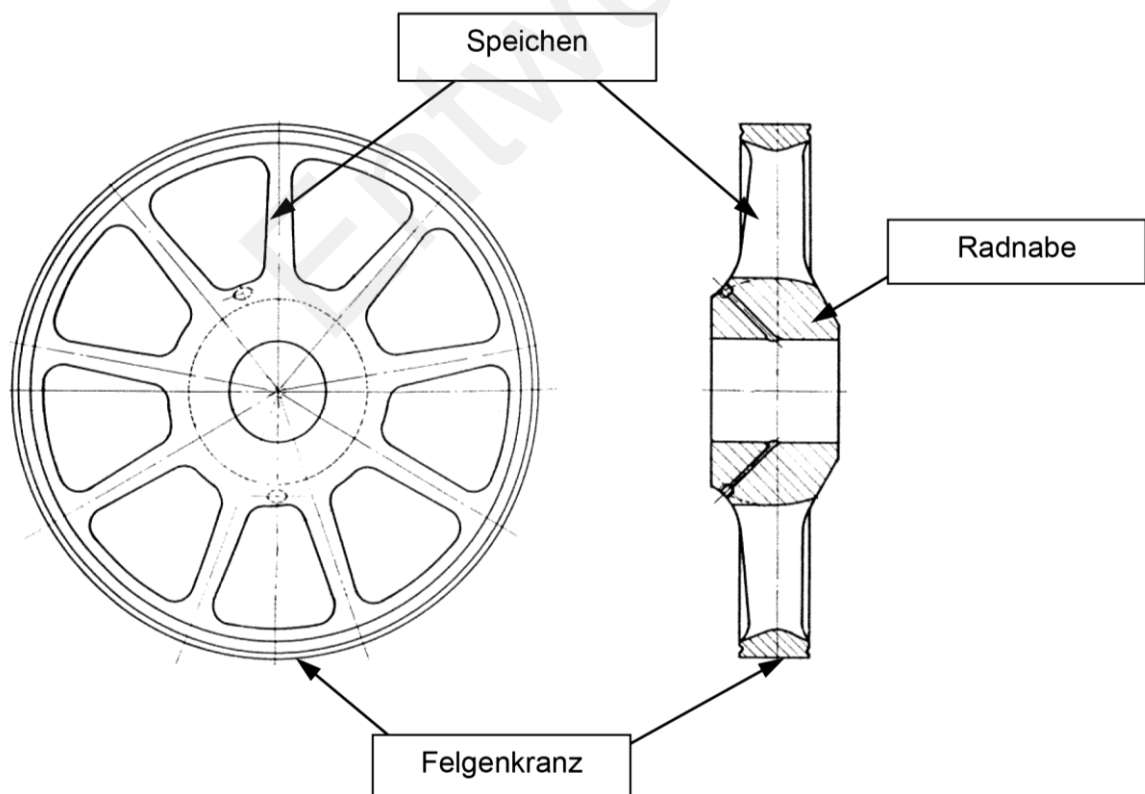


Abbildung 6-5: Radkörper, Speichenrad

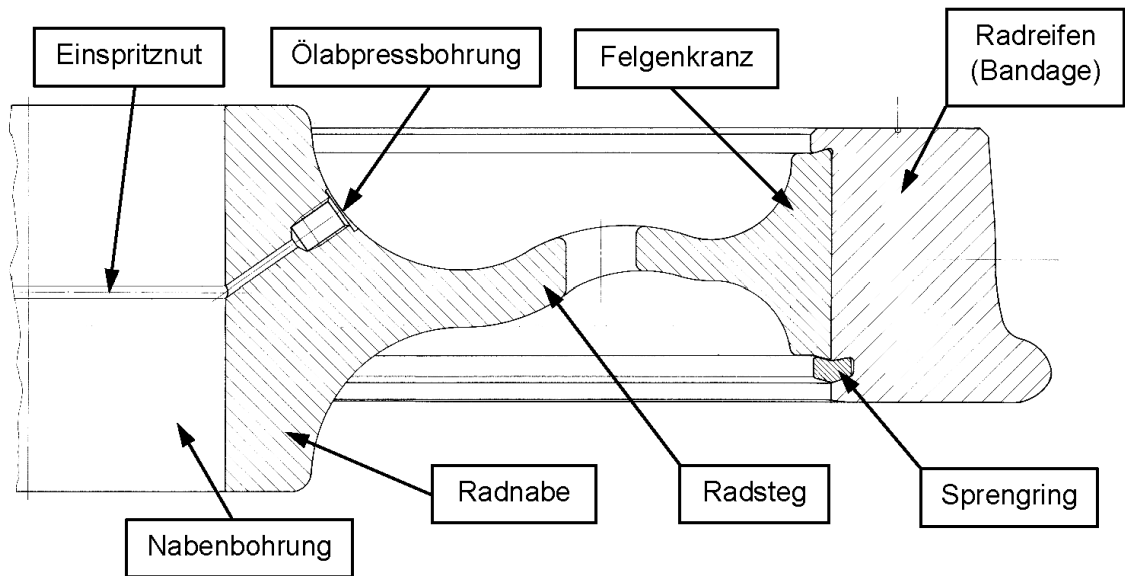


Abbildung 6-6: Bereiftes Rad mit Radkörper ohne Speichen

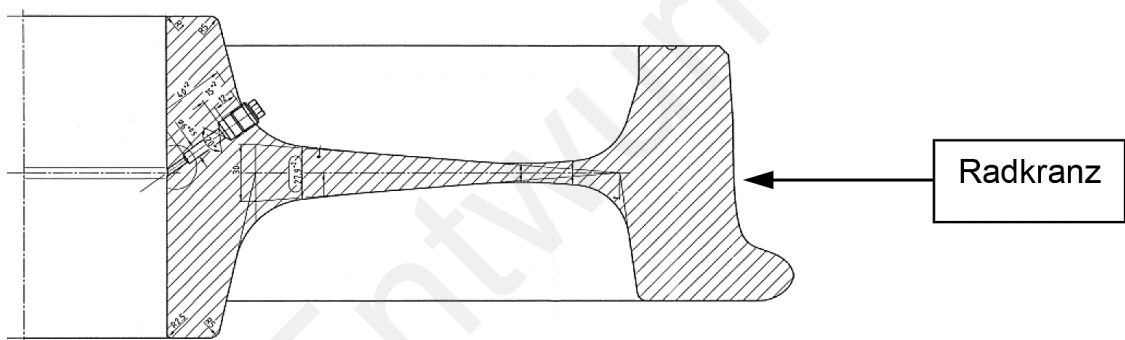


Abbildung 6-7: Vollrad mit geradem Radsteg

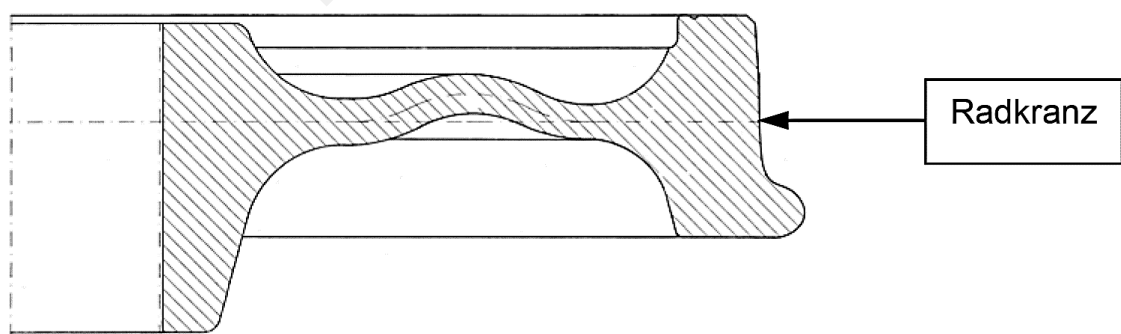


Abbildung 6-8: Vollrad mit gewölbtem Radsteg

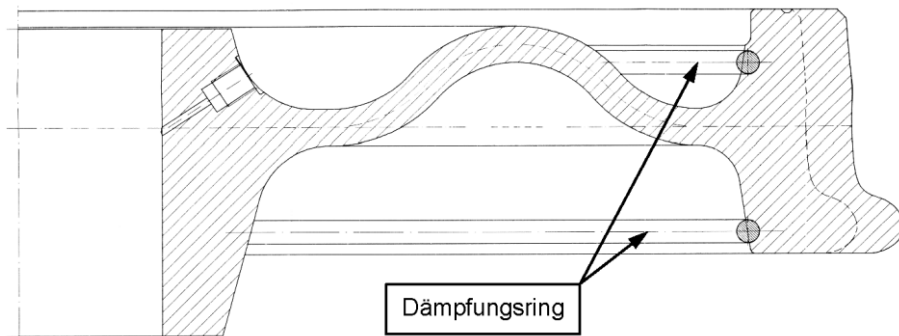


Abbildung 6-9: Spannungsarmes Vollrad mit Dämpfungsringen zur Schwingungsminimierung

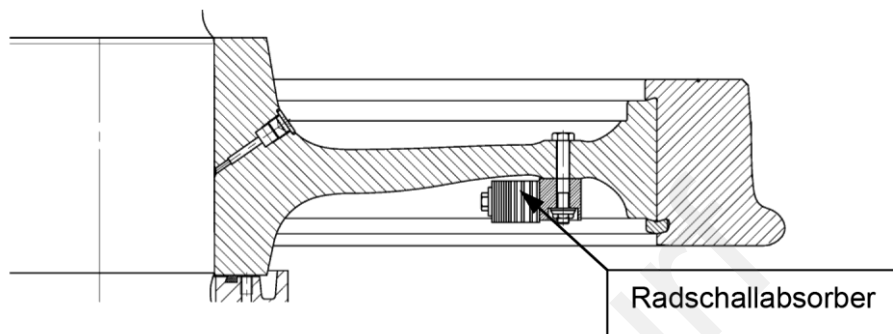


Abbildung 6-10: Bereiftes Rad mit Radschallabsorbern

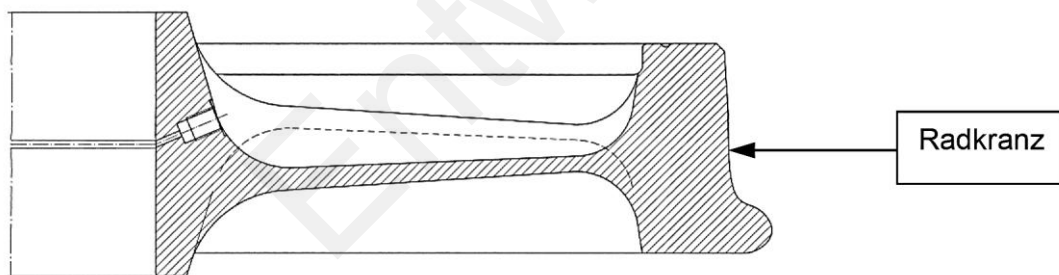


Abbildung 6-11: Vollrad mit tangential gewellter Radscheibe

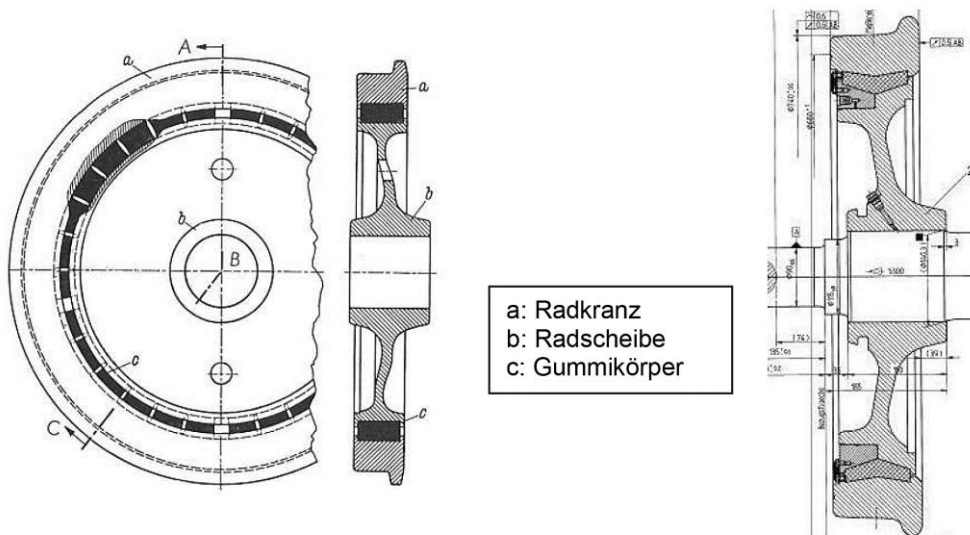
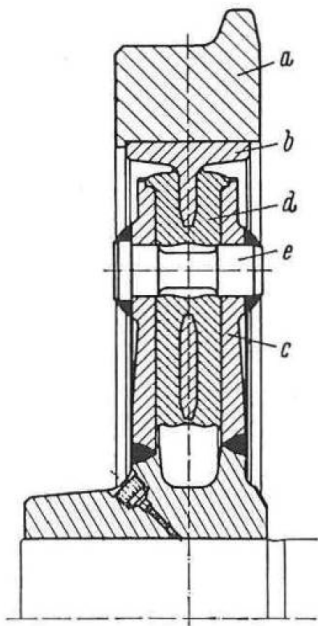


Abbildung 6-12: Gummigefederte Räder, Gummibeanspruchung auf Druck



- a: Radkranz  
 b: T-Ring  
 c: äussere Radscheibe  
 d: Gummikörper, an b und c anvulkanisiert  
 e: Vorspannbolzen

Abbildung 6-13: Gummigefedertes Rad, Gummibeanspruchung auf Schub

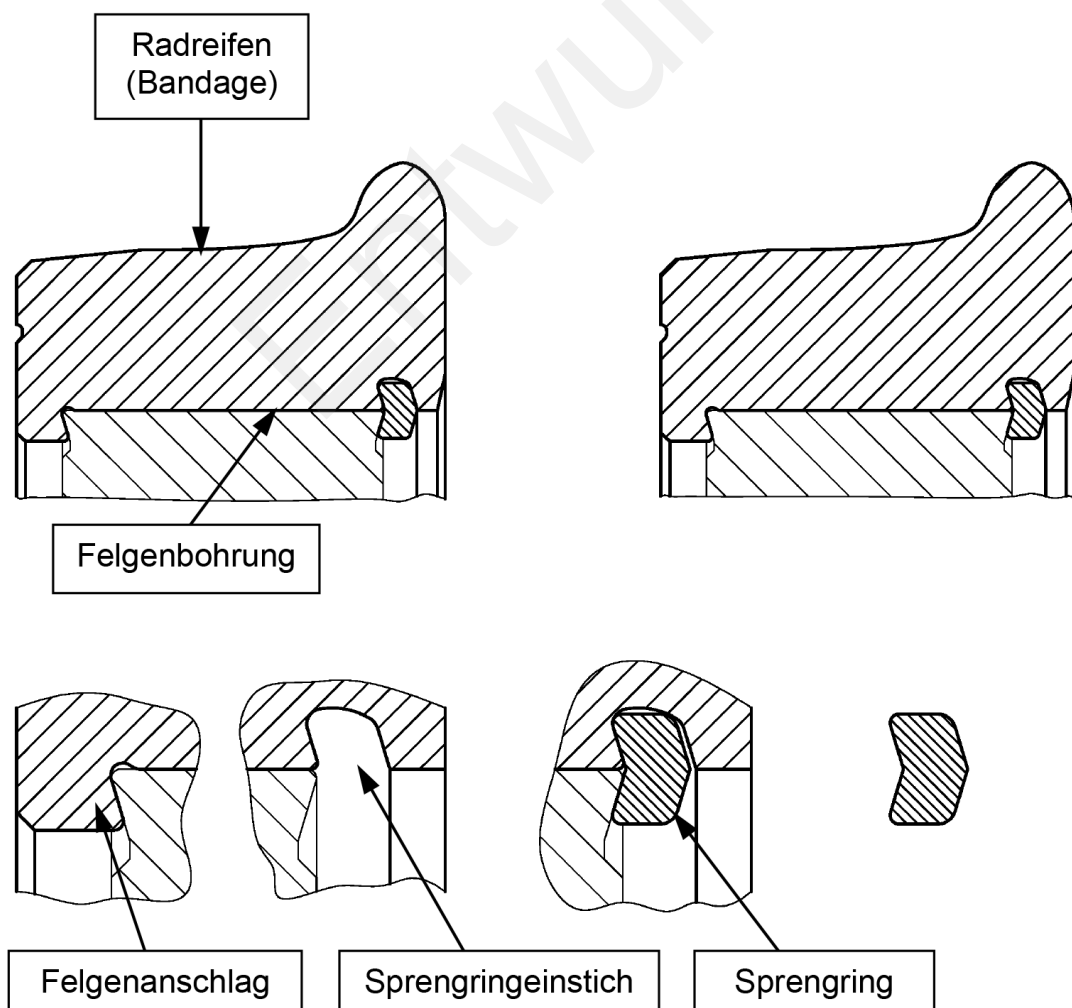


Abbildung 6-14: Radreifen und Sprengringprofil



### 6.2.3 Radsatzlagerung/Radsatzlager

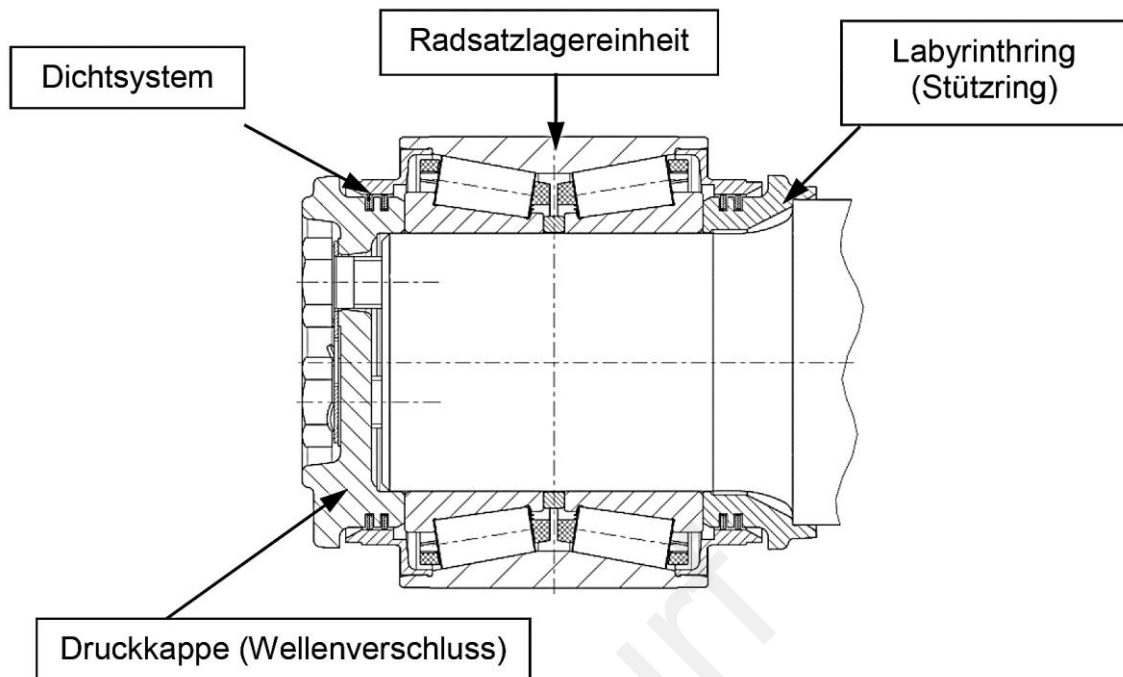


Abbildung 6-15: Kartuschenlager, Einsatz bei allen moderneren Fahrzeugen

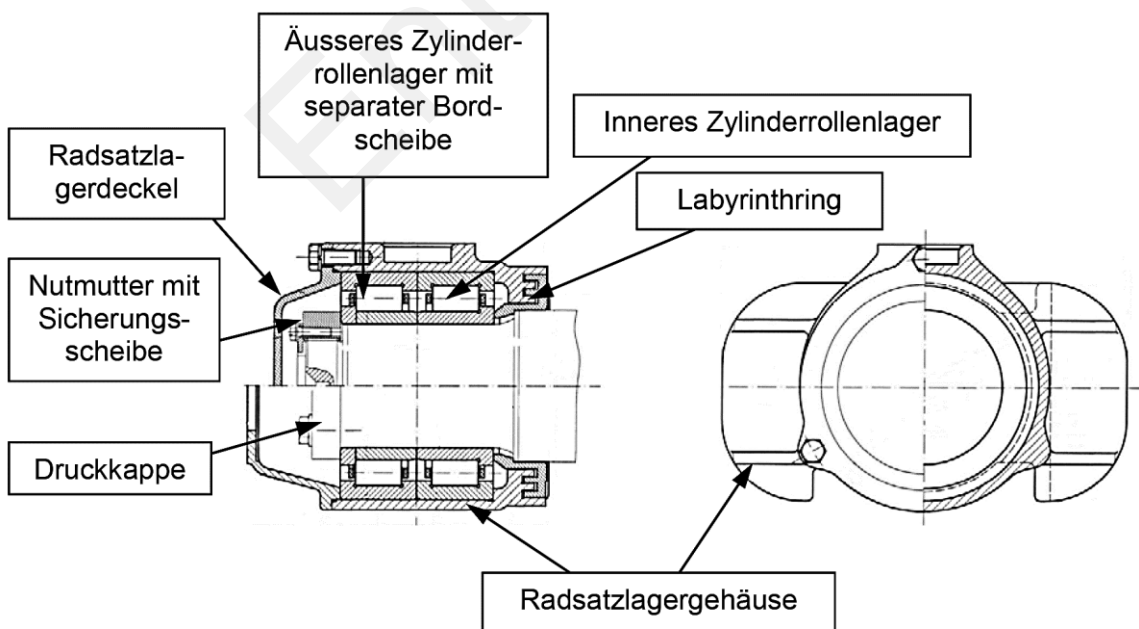


Abbildung 6-16: Standard-Zylinderrollenlager für Güterwagen



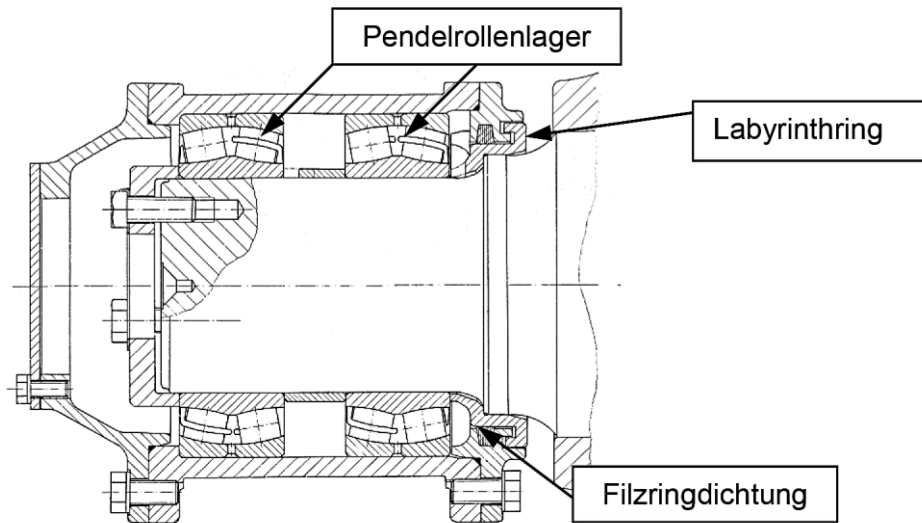


Abbildung 6-17: Radsatzlagerung mit Pendelrollenlager, ältere Bauart

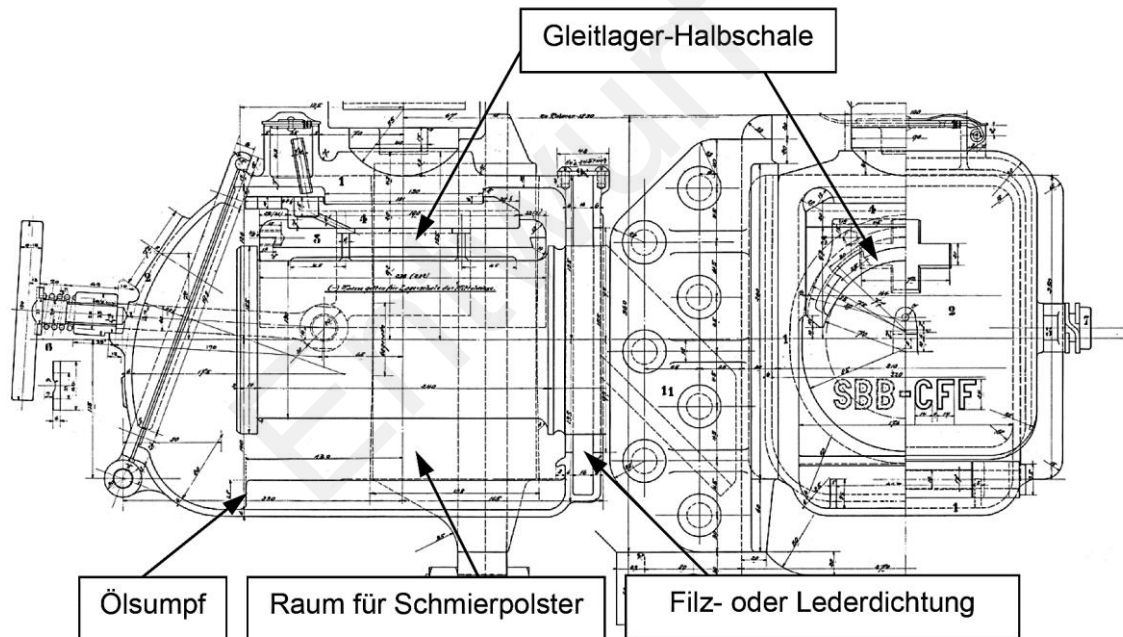


Abbildung 6-18: Radsatz-Gleitlager; Einsatz nur bei historischen Fahrzeugen

## 6.2.4 Komponenten zu Bremssystem

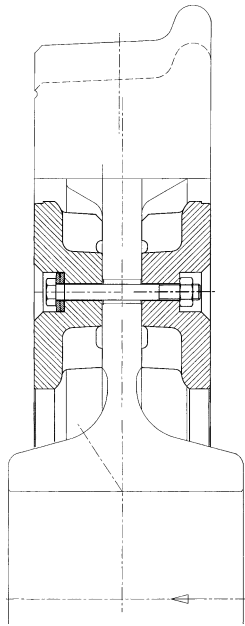


Abbildung 6-19:  
Radbremsscheibe

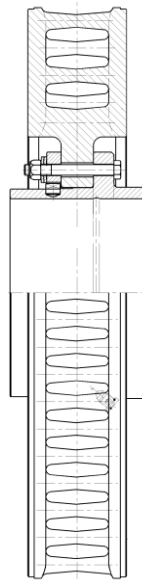


Abbildung 6-20:  
Wellenbremsscheibe (zweiteilig)

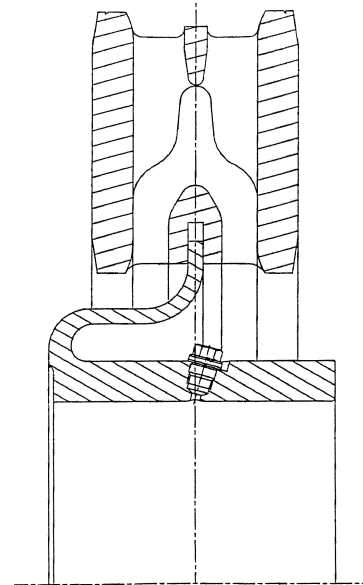


Abbildung 6-21:  
Wellenbremsscheibe (einteilig)

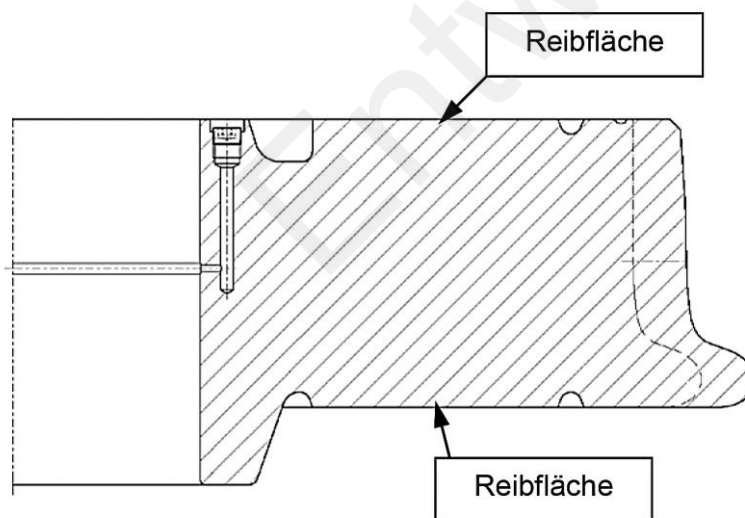


Abbildung 6-22: Vollrad mit integrierter Bremsfläche als Radbremsscheibe

### 6.2.5 Komponenten zu Antriebseinheit

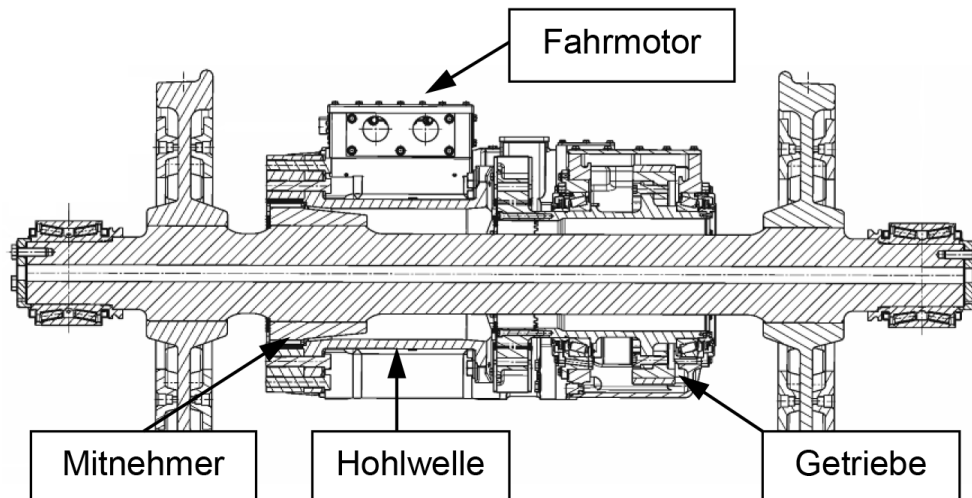


Abbildung 6-23: Triebbradsatz mit aufgepresstem Mitnehmer zu Hohlwellenantrieb

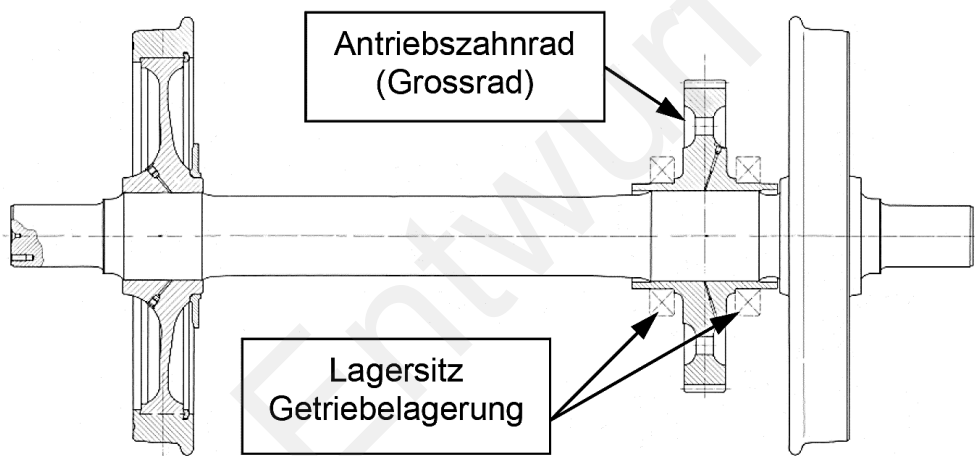


Abbildung 6-24: Triebbradsatz mit aufgepresstem Antriebszahnrad

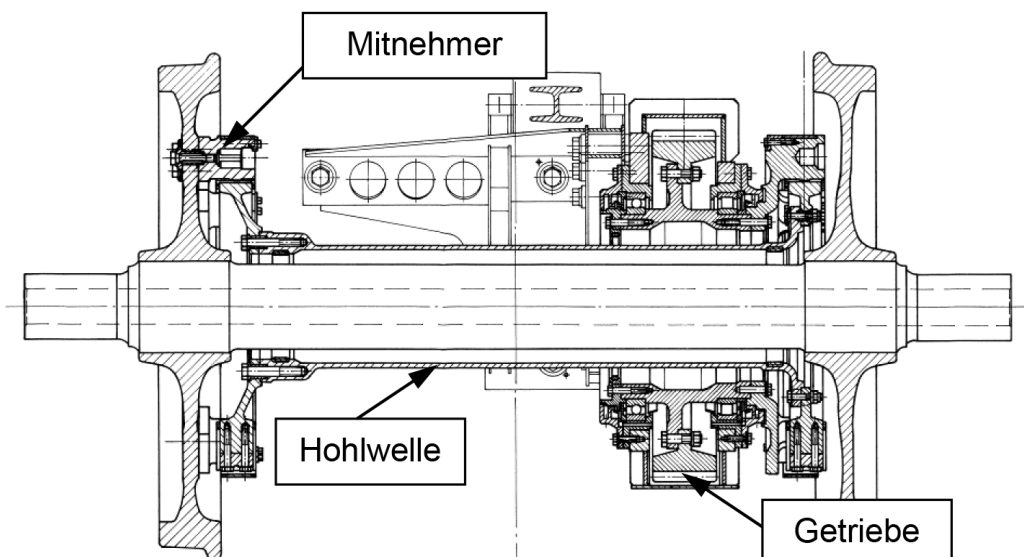


Abbildung 6-25: Triebbradsatz mit Hohlwellenantrieb direkt auf die Radscheibe

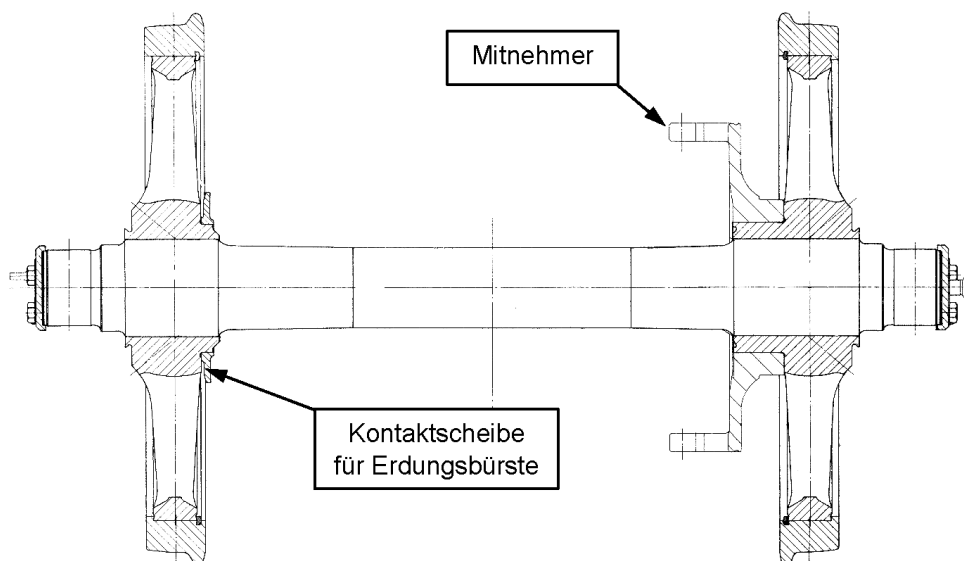


Abbildung 6-26: Triebradsatz mit Mitnehmer auf dem Speichenradkörper und Kontaktscheibe für Erdungsbürste

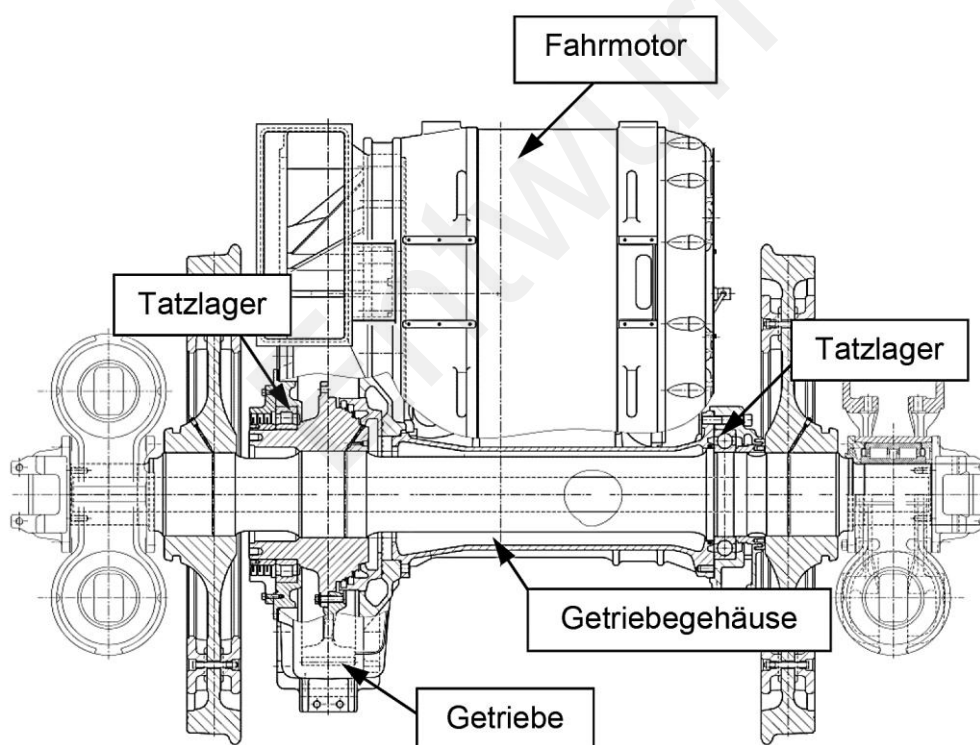


Abbildung 6-27: Triebradsatz mit Getriebe und Fahrmotor in Tatzlageranordnung (ungefederte Lagerung auf dem Radsatz)

## 6.2.6 Komponenten zur Erdung

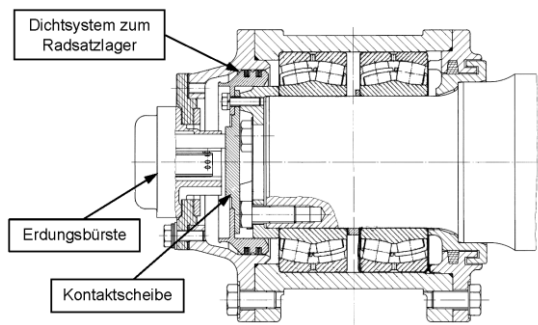


Abbildung 6-28: Rollenachslager mit Erdungsbürste (Typ Ferraz)

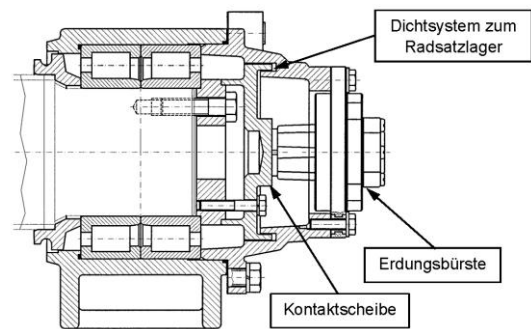


Abbildung 6-29: Rollenachslager mit Erdungsbürste (Typ Tibram)

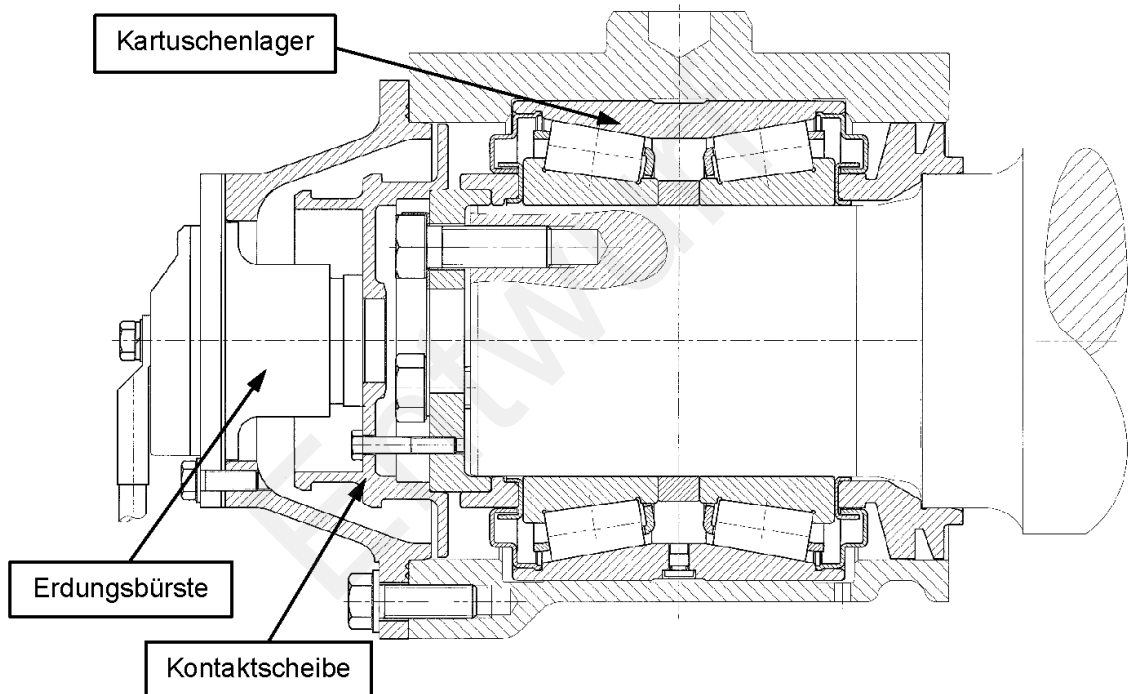


Abbildung 6-30: Kartuschenlager mit Erdungsbürste

Erdungsbürsten werden umgangssprachlich auch als Erdbürsten bezeichnet. Beide Begriffe sind gleichwertig.

## 6.3 Terminologie und Bezeichnungen

Die nachfolgenden Bezeichnungen am Radsatz entsprechen der allgemeingültigen Normung und nehmen keine Rücksicht auf umgangssprachliche Begriffe. In offiziellen Radsatzdokumenten sind die nachfolgenden Begriffe zu verwenden.

### 6.3.1 Benennungen am Radsatz

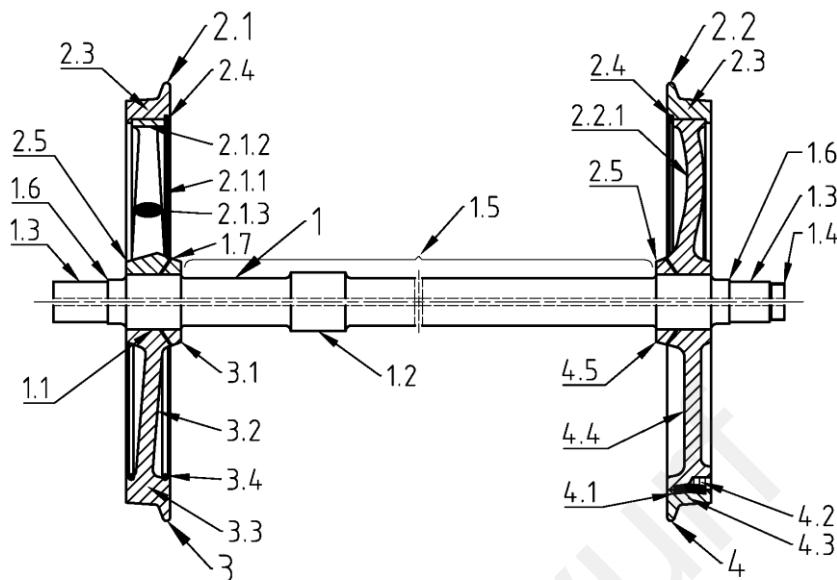


Abbildung 6-31: Begriffe am Radsatz

Legende zu Abbildung 6-31:

| <b>1.</b> | <b>Radsatz allgemein</b>                  | <b>2.1</b> | <b>Bereiftes Speichenrad</b>           |
|-----------|-------------------------------------------|------------|----------------------------------------|
| 1.1       | Radnabensitz                              | 2.1.1      | Speichenradkörper                      |
| 1.2       | Nabensitze für Bremsscheiben und Antriebe | 2.1.2      | Felgenkranz                            |
| 1.3       | Radsatzwellenschenkel                     | 2.1.3      | Speichenquerschnitt                    |
| 1.4       | Gewindeansatz für Nutmutter               | 2.2        | Bereiftes Scheibenrad                  |
| 1.5       | Radsatzwellenschaft                       | 2.2.1      | Scheibenradkörper (Felge)              |
| 1.6       | Notlaufschenkel (Labyrinthingsitz)        | 2.3        | Radreifen (Bandage)                    |
| 1.7       | Abpressbohrung                            | 2.4        | Sprengring                             |
|           |                                           | 2.5        | Radnabe                                |
| <b>3</b>  | <b>Vollrad (Monoblocrad)</b>              | <b>4</b>   | <b>Bereiftes Rad mit Gummifederung</b> |
| 3.1       | Radnabe                                   | 4.1        | Elastomer                              |
| 3.2       | Radsteg                                   | 4.2        | Felgenring                             |
| 3.3       | Radkranz                                  | 4.3        | Radreifen (Bandage)                    |
| 3.4       | Radschallabsorber                         | 4.4        | Scheibenradkörper (Felge)              |
|           |                                           | 4.5        | Radnabe                                |



### 6.3.2 Geometrische Kennwerte des Radsatzes

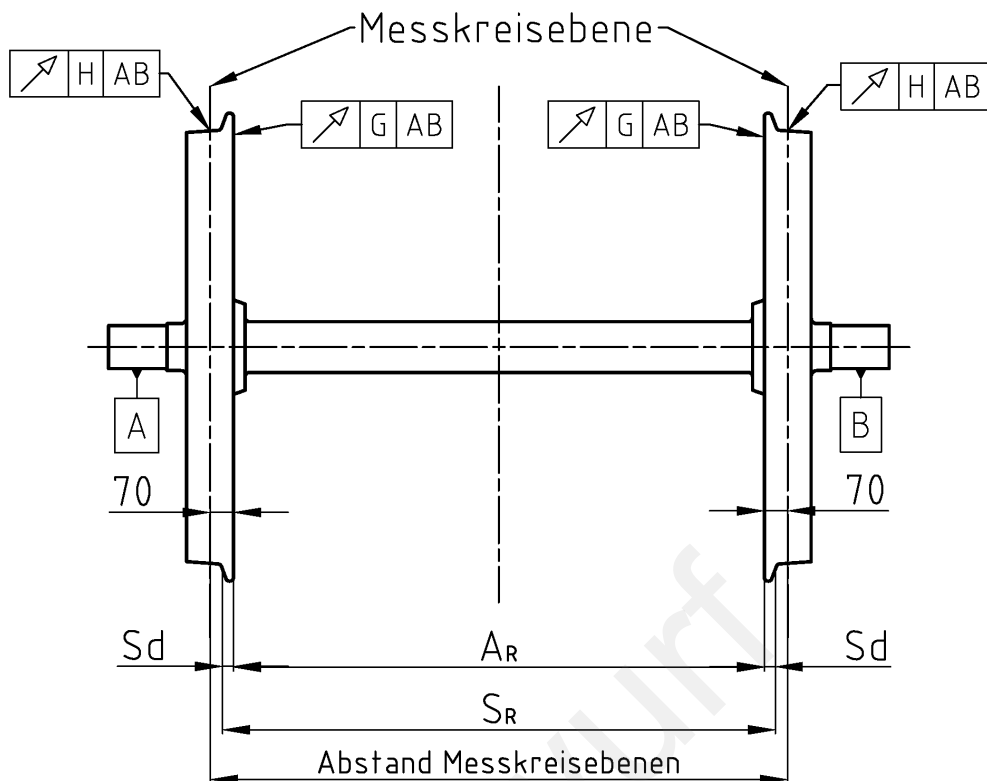


Abbildung 6-32: Geometrische Kennwerte am Radsatz

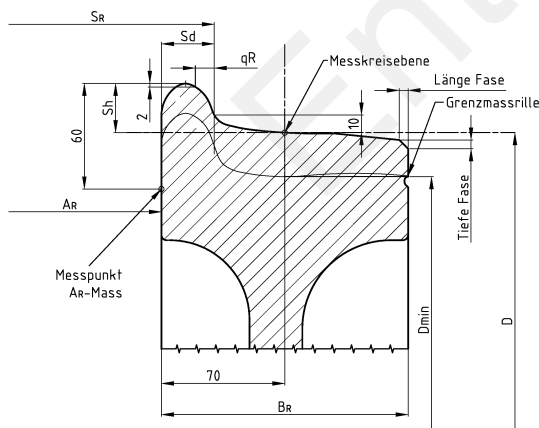


Abbildung 6-33: Geometrische Kennwerte am Radprofil

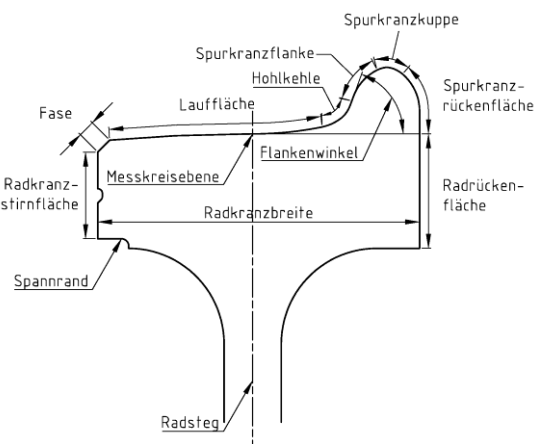


Abbildung 6-34: Begriffe am Radprofil

Legende zu Abbildung 6-33 und Abbildung 6-34:

| Bezeichnung<br>gemäss TSI | Bezeichnung gemäss<br>SN EN 15313 | Benennung                                              |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $A_R$                     | a1                                | Radrückensabstand oder Abstand der inneren Planflächen |
| $B_R$                     | L                                 | Radkranzbreite oder Radreifenbreite                    |
| $D$                       | d                                 | Raddurchmesser in der Messkreisebene                   |
| $D_{min}$                 | —                                 | Raddurchmesser Betriebsgrenzmass                       |
| $q_R$                     | $q_R$                             | Spurkranzflankenmass                                   |

|                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| Sd             | e              | Spurkranzdicke |
| Sh             | h              | Spurkranzhöhe  |
| S <sub>R</sub> | a <sub>2</sub> | Spurmass       |

Abweichend von den Vorgaben der SN EN 15313 verwendet diese RTE-Regelung aus praktischen Gründen die TSI-Bezeichnungen der Masse, da sich diese Bezeichnungen weitgehend an den etablierten Ausdrücken, wie sie in der Schweiz verwendet werden, anlehnen. Die Bezeichnungen gemäss SN EN 15313 können nach eigenem Ermessen frei verwendet werden, es bestehen keine Einschränkungen.

Für die Rund- und Planlaufmasse werden nachfolgende Bezeichnungen verwendet

g Planlaufabweichung der inneren Planflächen.

h Rundlaufabweichung des Raddurchmessers in der Messkreisebene.

## 6.4 Beschaffung von neuen Komponenten

Neue Radsätze und Komponenten sind in Abstimmung mit den in Kapitel 2 aufgeführten und entsprechend zutreffenden Normen und Regelwerken zu beschaffen.

Spezielle Vorgaben des Käufers z.B. bezüglich Materialien und Radprofil sowie Umfang der Dokumentation sind dabei zu berücksichtigen und mit dem Lieferanten abzuklären.

Änderungen an Radsatzkomponenten, die einen Einfluss auf die Festigkeit haben können, sind dem BAV zur Stellungnahme mitzuteilen. Dies betrifft insbesondere die Änderung des Werkstoffs und der Geometrie von Rad und Radsatzwelle.

### 6.4.1 Komplette Radsätze

Bei der Beschaffung komplett montierter Radsätze muss mit dem Lieferanten der Umfang der Dokumentation und die Form der Datenübergabe geklärt werden. Als Mindestumfang werden die Punkte gemäss Kapitel 11 empfohlen, soweit bei neuen Komponenten zutreffend.

Es muss die eindeutige Rückverfolgbarkeit folgender Komponenten am Radsatz gewährleistet sein:

- Radsatzwelle
- Radscheiben (Vollrad oder Radkörper und Radreifen)
- Radsatzlager

Über die Standarddokumentation (siehe SN EN 13260 Anhang D und F oder UIC 813 Anlage B) hinaus wird empfohlen, Protokolle über die korrekte Beschichtung des Radsatzes, der Nachweis des aufgedrehten Radprofils sowie der Raddurchmesser und der Restunwucht sowie der allgemeinen geometrisch wichtigen Masse (insbesondere A<sub>R</sub>-Mass sowie Rund- und Planlauf) und der Widerstandsmessung zu verlangen.

Bei Radsätzen mit Hohlwellen wird zu einer Nullprüfung mit Ultraschall im fertig gefügten Zustand geraten. Dies ist in einer separaten Vereinbarung zwischen Hersteller und Käufer zu regeln.

### 6.4.2 Vollräder, Felgen und Radreifen

Bei allen genannten Komponenten ist die Rückverfolgbarkeit über Materialcharge und laufende Nummer zwingend. Dies ist bei unbearbeiteten rohen Schmiedeteilen ausreichend.



Sind die Komponenten bereits bearbeitet, so sind die Daten gemäss Vorgaben des Käufers zu liefern, insbesondere:

- geometrische Werte, hierbei insbesondere die Durchmesser der Nabenbohrung und der Felge
- aufgedrehtes Radprofil
- Nachweis der korrekten Beschichtung. Dazu kann zwischen Hersteller und Käufer bei Bedarf eine Gitterschnittprüfung vereinbart werden. Der Prozentsatz der Teile, an denen eine Gitterschnittprüfung auszuführen ist, muss vorgängig festgelegt werden.

Bezüglich der mit den Bauteilen mitzuliefernden Daten siehe auch Kapitel 11.

#### **6.4.3 Radsatzwelle**

Bei den Radsatzwellen ist die Rückverfolgbarkeit über Materialcharge und laufende Nummer zwingend.

Sind die Komponenten bearbeitet, so sind die Daten gemäss Vorgaben des Käufers zu liefern, insbesondere:

- geometrische Werte, hierbei insbesondere die Durchmesser sämtlicher Sitze (Lager, Radscheiben, Getriebe, Wellenbremsscheiben, etc.)
- Nachweis der korrekten Beschichtung. Dazu kann zwischen Hersteller und Käufer bei Bedarf eine Gitterschnittprüfung vereinbart werden. Der Prozentsatz der Teile, an denen eine Gitterschnittprüfung auszuführen ist, muss vorgängig festgelegt werden.

Bezüglich der mit den Bauteilen mitzuliefernden Daten siehe auch Kapitel 11.

#### **6.4.4 Antriebsbauteile**

Bezüglich der Bauteile zur Antriebsanlage am Radsatz bestehen keine eindeutigen Vorgaben. Es wird empfohlen, zumindest die Fertigungslos- und Materialcharge festzuhalten.

Bei Antriebszahnradern oder Mitnehmern, die auf die Radsatzwelle oder Radscheibe aufgedrückt werden, sollte eine Seriennummer pro Bauteil vergeben werden, auf deren Basis die Qualitätsdokumente der Herstellung zugewiesen werden können. Der Umfang und die Notwendigkeit solcher Dokumentationen ist zwischen dem Hersteller und dem Käufer zu vereinbaren.

#### **6.4.5 Verantwortlichkeiten bei Prüfungen**

In der Bestellung oder ihren Anlagen ist festzulegen, ob allfällige Prüfungen entweder auf Auftrag von der zuständigen Abteilung des Herstellerwerkes oder im Beisein eines Vertreters des Käufers vorgenommen werden.

Bei den Prüfungen ist zu beachten, dass diese nachvollziehbar zu dokumentieren sind.

Wird in der Bestellung nichts anderes angegeben, so gelten die Bestimmungen der anwendbaren Normen und Regelwerke. Die nachfolgende Auflistung ist eine Zusammenstellung der wichtigsten Normen/UIC-Merkblätter, wobei stets die aktuellste Version zu berücksichtigen ist. Weitere respektive aktuellere Normen sind durch den Besteller zu prüfen. Die UIC-Merkblätter sind zum Teil ungültig und nur aus informatorischen Gründen aufgeführt.

| <b>Bauteil</b>       | <b>Qualitätsanforderungen</b>      | <b>Abmessungsanforderungen für den «montagefertigen» Zustand</b> |
|----------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Radsatzwellen        | SN EN 13261<br>(ehemals UIC 811-1) | SN EN 13261<br>(ehemals UIC 811-2)                               |
| Vollräder            | SN EN 13262<br>(ehemals UIC 812-3) | SN EN 13262<br>(ehemals UIC 812-2)                               |
| Radkörper            | UIC 812-1                          | UIC 812-5                                                        |
| Radreifen            | UIC 810-1                          | UIC 810-2                                                        |
| Bereifte Räder       | –                                  | UIC 812-4                                                        |
| Radreifensprengringe | UIC 810-3                          | –                                                                |
| Radsatzrollenlager   | –                                  | SN EN 12080                                                      |
| Radsatz komplett     | SN EN 13260                        | SN EN 13260                                                      |

Tabelle 6-1: Anwendbare Normen bei der Materialbeschaffung

Die Übertragung der Prüfung an die zuständige Abteilung des Herstellerwerkes seitens des Käufers schliesst das Recht des Käufers nicht aus, eine Überwachung der Wirksamkeit der Fertigungskontrollen selbst vorzunehmen sowie die Wirksamkeit der Prüf- und Inspektionsmethoden eventuell in anderen Versuchsanstalten zu überprüfen.

## 6.5 Radprofile

Die Entwicklung der Radprofile wurde in den letzten Jahrzehnten durch die Anforderungen an eine Verschleissanpassung und an einen stabilen Radsatzlauf bei höheren Geschwindigkeiten vorangetrieben.

Das Radprofil hat im Zusammenwirken mit dem Schienenkopfprofil unter Berücksichtigung der Schienenneigung und der daraus entstehenden Berührgeometrie einen grossen Einfluss auf das Lauf- und Traktionsverhalten des Radsatzes. Entsprechend der Berührungspunkte kann das Radprofil so ausgelegt werden, dass ein Optimum zwischen geforderter Laufstabilität und Verschleiss, so weit möglich angepasst auf die Schienenverhältnisse, erreicht wird.

Radprofile können, sofern die gängigen Grenzwerte der Radgeometrien eingehalten werden, auf Basis von lauftechnischen Berechnungen weitgehend freizügig gestaltet werden. Fahrzeugspezifische Ausnahmen und Auflagen sind zu beachten (z.B. Laufstabilität nur bei bestimmtem Spurmass erreichbar). Es wird jedoch empfohlen, normierte Radprofile und deren Variationsmöglichkeiten zu verwenden. Profile, die nicht der SN EN 13715 entsprechen bedürfen vor dem Einsatz einer Vereinbarung zwischen dem Fahrzeughalter und dem Infrastrukturmanagement bzw. der Zulassungsbehörde.

Durch die Festlegungen für Spurkranzhöhe  $M_{sh}$  und Spurkranzdicke  $M_{sd}$  (siehe Abbildung 6-35) anhand des Laufkreisdurchmessers in anderen Normen ist die Form des Spurkranzes innerhalb enger Grenzen vordefiniert.

Die variable Partie bei Radprofilen umfasst im Wesentlichen den Konturzug zwischen den Punkten D1 und A1 gemäss nachfolgender Abbildung. Diese Partie beeinflusst insbesondere das Laufverhalten des Fahrzeuges.

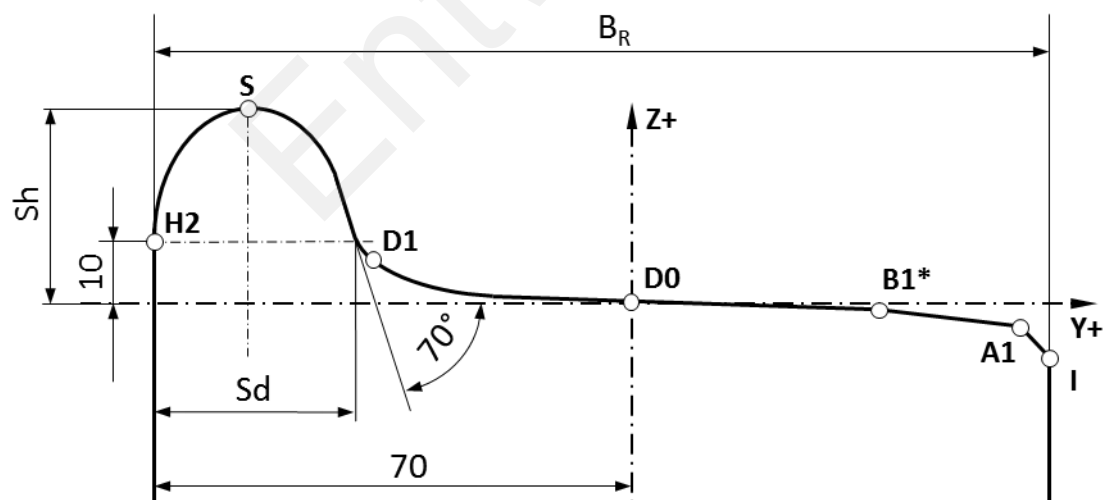


Abbildung 6-35: Radprofil

Bei Änderungen des Radprofils an einem im Betrieb stehenden Fahrzeugtyp muss das Infrastrukturmanagement und die Zulassungsbehörde informiert werden, sofern die Laufstabilität des Fahrzeuges oder das Verschleissverhalten massgeblich beeinflusst wird. Beispiel: Veränderung des Spurmasses bei Fahrzeugen, die nur mit einem bestimmten Spurmass als laufstabil nachgewiesen werden konnten.

### 6.5.1 Radprofiltypen

Für Internationale Einsätze werden Profile gemäss SN EN 13715 Typ S1002 oder EPS empfohlen. Sie gelten als zugelassen für Raddurchmesser grösser 330 mm.

Die Angabe des Radprofils gemäss SN EN 13715 erfolgt z.B. beim S1002 gemäss folgender Konvention:

SN EN 13715 - S1002 / h28 / e30.5 / 6.7 %

Wobei:

S1002: Profil, abgeleitet vom Bezugsprofil S1002 gemäss SN EN 13715

h28: Wert der Spurkranzhöhe  $Sh$  (auch  $h$ )

e30.5: Wert der Spurkranzdicke  $Sd$  (auch  $e$ )

6.7 %: Wert der äusseren Kegelneigung

Vereinfachte Angaben des Radprofils sind zulässig, z.B. «S1002/28/30.5». Wird der Wert der äusseren Kegelneigung nicht angegeben, ist diese mit 6.7 % anzunehmen.

Neben den Radprofilen gemäss SN EN 13715 sind auch ältere, normativ nicht erfasste Profile bei der SBB und weiteren Betreibern im Einsatz:

- SBB 28-2, 30-2: Fahrzeuge mit verminderter Laufstabilität
- SBB 28-3, 30-3: Fahrzeuge mit unzureichender Laufstabilität
- SBB 32-3: kleine Raddurchmesser, die eine minimale Spurkranzhöhe von 32 mm erfordern
- VSG RN 02.058: Radsätze Typ Talbot der BLS
- Plasser UD00.1035: Gleisbaumaschinen von Plasser
- MR 10443.0: Matisa Gleisbaumaschinen
- DB 60°/4020: Spezialfahrzeuge

Die Radprofile von Typ S1002 und EPS werden in der SN EN 13715 genau definiert, die gängigsten Spezial-Radprofile (SBB, Baumaschinen und diverse Spezialanwendungen) sind im Anhang A aufgeführt.

## Kegelneigung des Radprofils

Die SN EN 13715 lässt äussere Kegelneigungen der Strecke B1 – A1 gemäss Abbildung 6-36 mit 6.7 %, 10 % und 15 % zu. Die Angabe erfolgt direkt bei der Radprofilbezeichnung in % (Beispiel: S1002/h28/e30.5/6.7 %).

Auf älteren Zeichnungen kann auch statt der vollständigen Profilangabe mit Kegelneigung die Angabe zeichnerisch mit dem Neigungssymbol und dem entsprechenden Bruchwert angegeben sein.

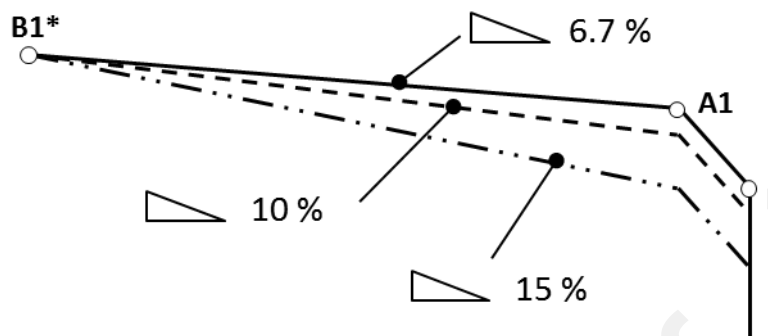


Abbildung 6-36: Kegelneigungen am Radprofil S1002

In der Regel wird eine Kegelneigung von 6.7 % angewendet. Räder mit Kegelneigungen von 15 % können gemäss Erfahrungen der SBB Herzstücke von Weichen beschädigen. Der Einsatz von Kegelneigungen grösser 6.7 % ist daher vorgängig mit dem Infrastrukturbetreiber abzuklären. Räder mit grösseren Kegelneigungen haben eine geringere Tendenz zur Bildung von Auswalmungen, was sich positiv auf die Instandhaltungsintervalle auswirken kann.

Für Fahrzeuge, die nur in der Schweiz verkehren wird eine Kegelneigung von 6.7 %, jedoch maximal 10 % empfohlen. Bei Fahrzeugen im internationalen Verkehr gelten die Vorgaben der TSI.

### 6.5.2 Radprofil-Formabweichung

In der Regel wird auf der Herstellerzeichnung der Radsätze bzw. Radscheiben die zulässige Formabweichung des Radprofils von der theoretischen Ideallinie definiert. Sind keine Angaben vorhanden, so wird eine maximal zulässige Formabweichung von 0.5 mm empfohlen. Die DIN 5573 gestattet eine Formabweichung bis zu 1.0 mm, welche jedoch im Bereich der Spurkranzflanke nicht empfohlen wird, da dies einen direkten Einfluss auf die Spurkranzdicke hat.

Radprofilabweichungen können in der Praxis nach der Bearbeitung mit einer Formlehre optisch beurteilt werden (Luftspaltmethode), sofern vom Besteller keine andere Messmethode vorgegeben wird, oder die Profilkontrolle durch Aufzeichnung dokumentiert werden muss.

Radprofil-Formabweichung nach der Herstellung:

- Maximal 0.5 mm empfohlen.
- Maximal 1.0 mm gemäss DIN 5573 (zurückgezogen) zulässig.

### 6.5.3 Oberflächengüten am Radkranz

Die Endkontur des Radkranzes wird sowohl bei der Herstellung als auch bei der Reprofilierung durch eine Drehbearbeitung hergestellt. Eine Profilbearbeitung durch Schleifen darf als Ausnahme bezeichnet werden. Insbesondere beim Drehen kann durch die Wahl der Bearbeitungswerkzeuge und der Vorschubgeschwindigkeit die Oberflächengüte markant beeinflusst werden. In der Regel gibt der Radsatzhersteller auf seinen Zeichnungen die zu erreichende Oberflächengüte an. Der Anwender ist frei, eine bessere Oberflächengüte bei der Bearbeitung zu erreichen. Eine Verschlechterung der Oberflächengüte wird nicht empfohlen.

Die Oberflächengüte beeinflusst über den Werkzeugvorschub bei der Bearbeitung direkt die Bearbeitungszeit. Diese sollte in der Regel möglichst gering ausfallen, um Bearbeitungskosten zu sparen. Allerdings hat eine gröbere Oberfläche auch nachteilige Einflüsse auf das Verschleissverhalten des Radprofils und auf die Ausbildung von Unrundheiten.

Aus diesem Grund empfiehlt es sich, mindestens die geforderte Oberflächengüte herzustellen, eine bessere als die minimal geforderte Oberflächengüte ist anzustreben. Die dadurch erhöhten Kosten durch eine verlängerte Bearbeitungszeit können unter Umständen durch eine höhere Laufleistung des Radsatzes eingespart werden.

Folgende Oberflächengüten am Radkranz werden empfohlen:

- Radrückenfläche und Radkranzstirnfläche mit Fase: Ra 12.5 bis Ra 25
- Spurkranzrückenfläche und Spurkranzkuppe: Ra 12.5
- Spurkranzflanke, Hohlkehle und Lauffläche bis zur Kegelfläche: Ra 3.2 bis Ra 6.3
- Kegelfläche: Ra 12.5

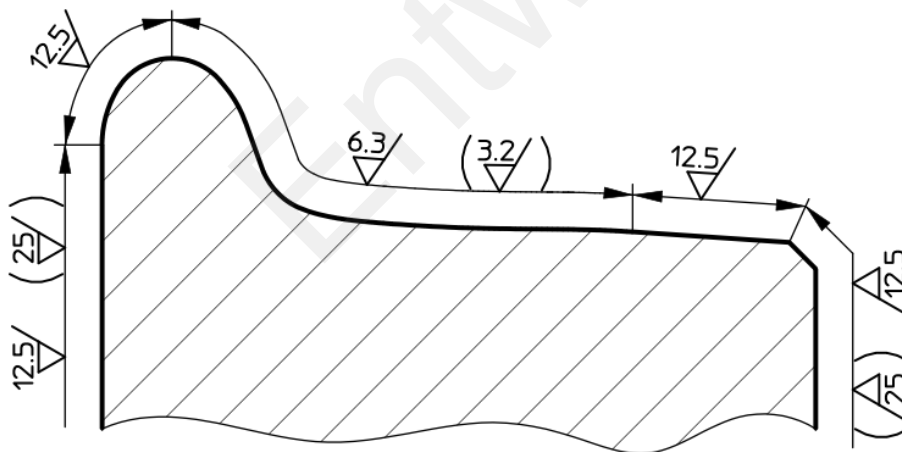


Abbildung 6-37: Oberflächengüten am Radkranz

### 6.5.4 Grenzmassrille

Die Position der Grenzmass- oder Minimumrille auf der äusseren Radstirnfläche muss die Geometrie des verwendeten Radprofils – insbesondere die Koordinaten des Punktes I gemäss Abbildung 6-36 berücksichtigen. In der Regel wird die Position der Grenzmassrille auf Basis des Betriebsgrenzmasses Raddurchmesser vom Radsatzhersteller angegeben. Nach einer Reprofilierung muss die Grenzmassrille bei Güter- und Personenwagenradsätzen noch vollständig vorhanden sein, eine Touchierung der Grenzmassrillenkontur mit der Fase ist nicht zulässig. Bei Triebfahrzeugen und Triebzügen, die nur in der Schweiz verkehren, kann die Grenzmassrille im Rahmen einer Sonderfreigabe und Überwachung des Laufkreisdurchmessers durch den Fahrzeughalter bei einer Reprofilierung angeschnitten werden. Für diesen Fall ist auf Basis des gedrehten Laufkreisdurchmessers eine Restlaufleistung zu definieren (typisch: ca. 10'000 km/mm Raddurchmesser). Bei Bedarf ist die Sonderfreigabe auf dem Fahrzeug anzuzeigen.

Bei Radsätzen für Reisezug- und Güterwagen ist die Grenzmassrille gemäss internationaler Vorgaben nach Abbildung 6-38 links auszuführen. Diese Form wird für die grundsätzliche Verwendung empfohlen. Vereinfachte Grenzmassrillen gemäss Abbildung 6-38 rechts finden in der Schweiz weiterhin bei bereiften Triebradsätzen Verwendung.

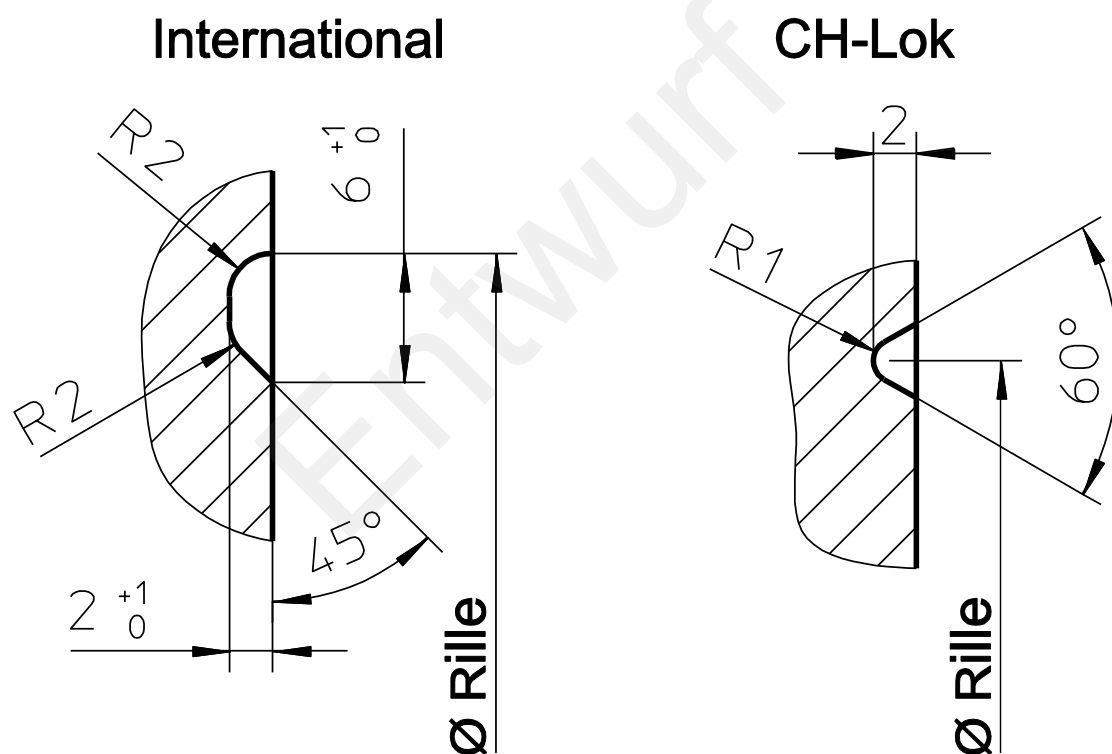


Abbildung 6-38: Formen von Grenzmassrillen

Die Grenzmassrille muss im Betrieb stets vollständig sichtbar sein, dabei sind die Auswirkungen von Auswalzungen zu berücksichtigen. Insbesondere die Grenzmassrille der Form CH-Lok wird beim Erreichen des Minimum-Durchmessers zugewalzt. In diesem Stadium ist der Verschleisszustand des Raddurchmessers nur noch durch Messen zu bestimmen.

Beim Reprofilieren von Rädern in der Nähe des Minimum-Durchmessers muss berücksichtigt werden, dass die Fase  $5 \times 45^\circ$  die Grenzmassrille nicht verletzt. Räder mit verletzter Grenzmassrille gemäss Abbildung 6-39 dürfen nicht mehr eingesetzt werden (Ausnahmen für Triebfahrzeuge und Triebzüge siehe oben bei definierter Restlaufleistung).

Zur Optimierung der Laufleistung des Rades nach der letzten Reprofilierung kann die Fase auf das Mass  $3 \times 45^\circ$  reduziert werden.

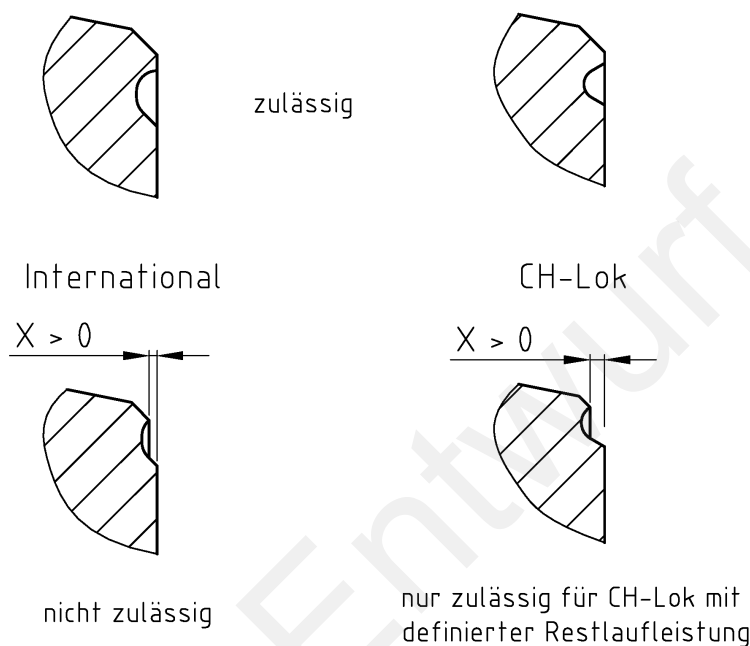


Abbildung 6-39: Beurteilung von Grenzmassrillen

## 6.6 Beurteilungskriterien

Im Rahmen der Inspektion und Instandhaltung werden die Radsätze und besonders deren Radprofile und Laufflächen regelmässig einer Beurteilung oder Vermessung unterzogen (siehe dazu die Empfehlungen in Kapitel 8). Dabei werden die Befunde mit Grenzwerten verglichen und auf weitere Betriebstauglichkeit hin beurteilt. Die gültigen Grenzwerte stammen einerseits aus der Normung oder dem Festigkeitsnachweis oder können andererseits aus der Betriebserfahrung ermittelt werden. Je nach deren Herkunft und Bedeutung sind diese wie folgt benannt:

### Warngrenze oder Werksgrenzmass

Warngrenze oder Werksgrenzmass sind Erfahrungswerte des Betreibers. Räder, welche diese Grenze erreicht haben, müssen für die Instandsetzung geplant werden. Die Räder dürfen während einer definierten Restlaufzeit (z.B. 12'500 – 20'000 km oder 10 – 20 Einsatztage) bis zur Instandsetzung weiterbetrieben werden. Alternativ kann durch den Fahrzeughalter auch ein sofortiger Radsatztausch erfolgen.

Beispiel: Untergrenze  $q_R\text{-Mass} < 7.0 \text{ mm}$



### Betriebsgrenzmass (Interventionsgrenze)

Das Betriebsgrenzmass ist das Grenzmass aus der Normung oder dem Festigkeitsnachweis. Räder, welche diese Grenze verletzen, müssen nach sehr kurzer Restlaufzeit (z.B. 6'250 km oder 5 Einsatztage) instandgesetzt werden (Reprofilierung oder Radtausch).

Beispiel: Untergrenze  $q_R$ -Mass  $< 6.7$  mm, Spurmassobergrenze  $\leq 1'425.5$  mm

### Betriebsgrenzmass (Soforteingriffsschwelle)

Das Betriebsgrenzmass ist das Grenzmass aus der Normung oder dem Festigkeitsnachweis. Räder, welche diese Grenze verletzen, müssen sofort ohne jegliche Restlaufzeit instandgesetzt werden (Reprofilierung oder Radsatztausch).

Beispiel: Untergrenze  $q_R$ -Mass  $< 6.5$  mm, Spurmassobergrenze  $\leq 1'426$  mm

Die Soforteingriffsschwelle entspricht im Allgemeinen dem Grenzwert, wie er normativ oder gesetzlich vorgesehen ist und sicherheitskritisch ist (z.B.  $q_R$ -Mass  $< 6.5$  mm).

Die Interventionsgrenze ist die Vorstufe zur Soforteingriffsschwelle. Diese Werte sind weniger sicherheitskritisch und sind entsprechend den normativ oder gesetzlich vorgeschriebenen Werten oder der Betriebserfahrung festzulegen.

Die Warngrenze oder das Werksgrenzmass muss aus der Betriebserfahrung ermittelt werden.

Der Sinn dieser Unterscheidung liegt darin, Räder frühzeitig zu erkennen, bevor sie ein Betriebsgrenzmass erreichen. Die dadurch mögliche Planung der kurativen Instandhaltung stützt die Verfügbarkeit der Fahrzeuge.

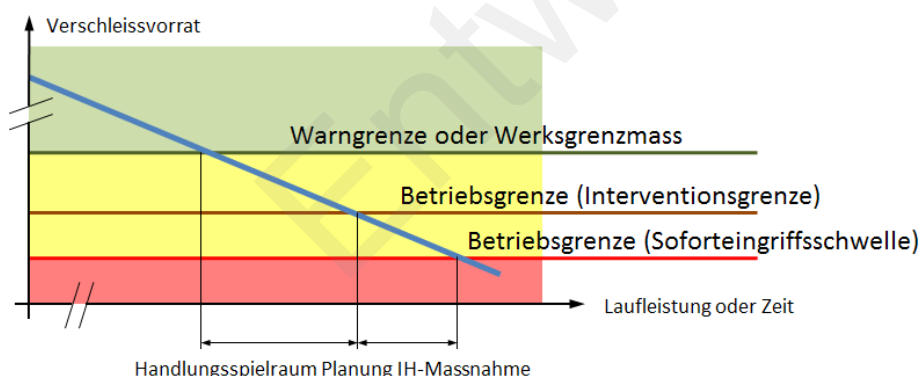


Abbildung 6-40: Bedeutung Warngrenze – Betriebsgrenze

### 6.6.1 Beurteilungskriterien Radprofil

Die verschiedenen gültigen Normen und Regelwerke sind bei den Vorgaben der Grenzmasse ( $Sh$ ,  $Sd$  und  $q_R$ ,  $A_R$ ,  $S_R$ , etc.) nicht immer übereinstimmend. Nachfolgend werden die Vorgaben dieser Regelwerke aufgezeigt und darauf basierend eine allgemein gültige Empfehlung für in der Schweiz eingesetzte Fahrzeuge gegeben.

Die angegebenen Werte für die Warngrenze sind dabei als Richtwert zu verstehen und können vom Fahrzeughalter entsprechend der gewünschten Restlaufzeit angepasst werden.

#### 6.6.1.1 Spurkranzhöhe $Sh$

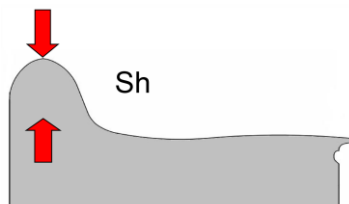


Abbildung 6-41: Spurkranzhöhe  $Sh$

| Raddurchmesser D [mm]<br>Nennmass |                 | allgemein | $D \geq 760$ | $760 > D \geq 630$ | $760 \geq D \geq 680$ | $760 \geq D \geq 330$ | $D \leq 680$ | $D \leq 630$ | $630 > D \geq 330$ |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|--------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|
| SN EN 15313                       | min             | –         | 27.5         | 29.5               | –                     | –                     | –            | 31.5         | –                  |
|                                   | nominal         | –         | 28           | 30                 | –                     | –                     | –            | 32           | –                  |
|                                   | max             | –         | 36           | 36                 | –                     | –                     | –            | 36           | –                  |
| TSI                               | min             | –         | 27.5         | 30                 | –                     | –                     | –            | –            | 32                 |
|                                   | max             | –         | 36           | 36                 | –                     | –                     | –            | –            | 36                 |
| SBB BCA<br>20059323               | min             | –         | 28           | –                  | 30                    | –                     | 32           | –            | –                  |
|                                   | max (national)  | –         | 38           | –                  | 38                    | –                     | 38           | –            | –                  |
|                                   | max (internat.) | –         | 36           | –                  | 36                    | –                     | 36           | –            | –                  |

Tabelle 6-2: Vorgabe der Spurkranzhöhe  $Sh$  [mm] nach verschiedenen Quellen

Basierend auf den oben dargestellten Vorgaben werden nachfolgende Werte für die Spurkranzhöhe  $Sh$  für die Anwendung im Betrieb vorgegeben. Dabei sind das Betriebsgrenzmass und das Neumass verbindlich, die restlichen Massangaben stellen eine Empfehlung dar.

**Raddurchmesser  $D \geq 760$  mm**

|                                                   | min     | nominal | max                                                    |
|---------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------------------|
| Neumass <sup>c)</sup>                             | 27.5 mm | 28 mm   | –                                                      |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Soforteingriffsschwelle) | 25 mm   | –       | 36 mm LRS <sup>a)</sup><br>38 mm TRS <sup>b)</sup>     |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Interventionsgrenze)     | –       | –       | 35.5 mm LRS <sup>a)</sup><br>37.5 mm TRS <sup>b)</sup> |
| Warngrenze Sh                                     | –       | –       | 35 mm LRS <sup>a)</sup><br>37 mm TRS <sup>b)</sup>     |

**Raddurchmesser  $760 > D > 680$  mm**

|                                                   | min     | nominal | max                                                    |
|---------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------------------|
| Neumass <sup>c)</sup>                             | 29.5 mm | 30 mm   | –                                                      |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Soforteingriffsschwelle) | 25 mm   |         | 36 mm LRS <sup>a)</sup><br>38 mm TRS <sup>b)</sup>     |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Interventionsgrenze)     | –       |         | 35.5 mm LRS <sup>a)</sup><br>37.5 mm TRS <sup>b)</sup> |
| Warngrenze Sh                                     | –       |         | 35 mm LRS <sup>a)</sup><br>37 mm TRS <sup>b)</sup>     |

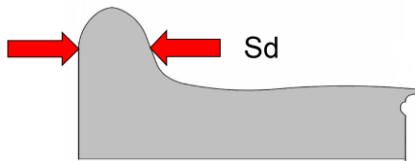
**Raddurchmesser  $680 \geq D \geq 330$  mm**

|                                                   | min     | nominal | max                                                    |
|---------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------------------------------------|
| Neumass <sup>c)</sup>                             | 31.5 mm | 32 mm   | –                                                      |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Soforteingriffsschwelle) | 25 mm   |         | 36 mm LRS <sup>a)</sup><br>38 mm TRS <sup>b)</sup>     |
| Betriebsgrenzmass Sh<br>(Interventionsgrenze)     | –       |         | 35.5 mm LRS <sup>d)</sup><br>37.5 mm TRS <sup>d)</sup> |
| Warngrenze Sh                                     | –       |         | 35 mm LRS <sup>d)</sup><br>37 mm TRS <sup>d)</sup>     |

Tabelle 6-3: Vorgaben für die Spurkranzhöhe Sh

- a) International verbindlicher Grenzwert für Lauf- und Triebradsätze (LRS und TRS), national gültig für Fahrzeuge, die ausschliesslich Laufradsätze (LRS) aufweisen.
- b) National gültiger Grenzwert für Triebradsätze (TRS) und Laufradsätze (LRS) von Gliederzügen.
- c) Das Neumass der Spurkranzhöhe wird in der Regel durch das aufzudrehende Radprofil bestimmt.
- d) Der Wert kann vom Betreiber auf Basis von Betriebserfahrungen angepasst werden.

### 6.6.1.2 Spurkranzdicke $S_d$

Abbildung 6-42: Spurkranzdicke  $S_d$ 

| Raddurchmesser D [mm]<br>Nennmass |     | allgemein | $D \geq 840$ | $D \geq 840$ c) | $D \leq 840$ | $840 \geq D \geq 760$ | $840 > D \geq 330$ | $D \leq 760$ |
|-----------------------------------|-----|-----------|--------------|-----------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------|
| SN EN 15313                       | min | –         | 22           | –               | –            | 25 <sup>a)</sup>      | –                  | 27.5         |
|                                   | max | –         | 33           | –               | –            | 33                    | –                  | 33           |
| TSI                               | min | –         | 22           | –               | –            | –                     | 27.5               | –            |
|                                   | max | –         | 33           | –               | –            | –                     | 33                 | –            |
| SBB BCA<br>20059323               | min | –         | 22           | –               | 27.5         | –                     | –                  | –            |
|                                   | max | 33        | –            | –               | –            | –                     | –                  | –            |

Tabelle 6-4: Vorgaben für die Spurkranzdicke  $S_d$  [mm] nach verschiedenen Quellen

- a) Voraussetzung für die Anwendung des Wertes 25 mm ist die Zustimmung des Infrastrukturbetreibers
- b) Gültig bis zu einem Rad-Minstdurchmesser von 330 mm
- c) Gültig für den grenzüberschreitenden Verkehr
- d) Die Grenzwerte der Spurkranzdicke sind nicht anwendbar auf Radsätze, die nicht an der Spurführung beteiligt sind und geschwächte oder fehlende Spurkränze haben (siehe auch Abschnitt 6.6.1.6).

Bereits heute wird in der Praxis eine Soforteingriffsschwelle von 33.5 mm angewendet. Basierend auf den oben dargestellten Vorgaben werden nachfolgende Werte für die Spurkranzdicke  $S_d$  für die Anwendung im Betrieb vorgegeben. Dabei sind das Betriebsgrenzmass (Soforteingriffsschwelle) und das Neumass verbindlich, die restlichen Massangaben stellen eine Empfehlung dar:

**Raddurchmesser  $D \geq 840$  mm**

|                                                | min     | neu     | max                 |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------------------|
| Neumass <sup>b)</sup>                          | 28.5 mm | 32.5 mm | 32.7 mm             |
| Betriebsgrenzmass Sd (Soforteingriffsschwelle) | 22 mm   |         | 33.5 mm             |
| Betriebsgrenzmass Sd (Interventionsgrenze)     | 22.5 mm |         | 33 mm <sup>d)</sup> |
| Warngrenze Sd                                  | 23.0 mm |         | –                   |

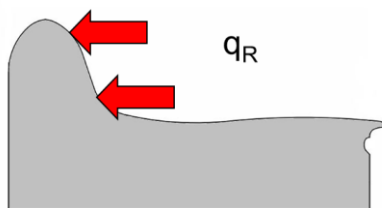
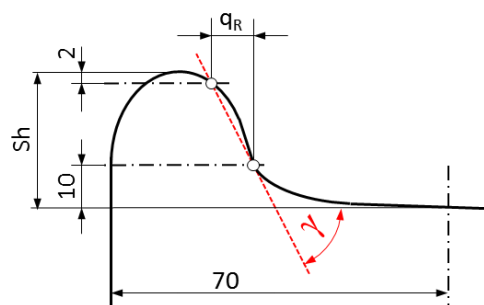
**Raddurchmesser  $D < 840$  mm**

|                                                | min                             | neu     | max                 |
|------------------------------------------------|---------------------------------|---------|---------------------|
| Neumass <sup>b)</sup>                          | 28.5 mm                         | 32.5 mm | 32.7 mm             |
| Betriebsgrenzmass Sd (Soforteingriffsschwelle) | 27 mm<br>(25 mm <sup>a)</sup> ) |         | 33.5 mm             |
| Betriebsgrenzmass Sd (Interventionsgrenze)     | 27.5 mm <sup>c)</sup>           |         | 33 mm <sup>d)</sup> |
| Warngrenze Sd                                  | 28.0 mm                         |         | –                   |

Tabelle 6-5: Vorgaben für die Spurkranzdicke Sd

- a) Anwendung nur bei ausreichender Laufstabilität vor Vollradtausch für Räder mit mindestens 760 mm Raddurchmesser, Anwendung bei Radsätzen vor dem Reprofilieren normalerweise nicht wirtschaftlich (stark vergrößerte Spanabnahme)
- b) Das Neumass der Spurkranzdicke wird in der Regel durch das aufzudrehende Radprofil bestimmt.
- c) 27.5 mm ist für Fahrzeuge mit Internationalem Einsatz Soforteingriffsschwelle
- d) 33 mm ist für Fahrzeuge mit Internationalem Einsatz Soforteingriffsschwelle

Die Grenzmasse für Spurkranzdicken dürfen nur ausgenutzt werden, wenn gleichzeitig die Einhaltung des Spurmasses gegeben ist (siehe Abschnitt 6.6.1.6).

**6.6.1.3  $q_R$ -Mass**Abbildung 6-43:  $q_R$ -MassAbbildung 6-44: Geometrische Kennwerte für das  $q_R$ -Mass

Das  $q_R$ -Mass beschreibt die Flankensteilheit der Spurkranzflanke und stellt damit ein Ersatzmass für den Spurkranzflankenwinkel  $\gamma$  dar.

|                  | SN EN 15313 | SBB BCA 20059323 |
|------------------|-------------|------------------|
| Raddurchmesser D | min         | min              |
| allgemein        | 6.5         | 6.5              |

Tabelle 6-6: Vorgaben für das  $q_R$ -Mass [mm] nach verschiedenen Quellen

Basierend auf den oben dargestellten Vorgaben werden nachfolgende Werte für das  $q_R$ -Mass für die Anwendung im Betrieb vorgegeben. Dabei sind das Betriebsgrenzmass (Soforteingriffsschwelle) und das Neumass verbindlich, die restlichen Massangaben stellen eine Empfehlung dar:

### Vorgaben $q_R$ -Mass

|                                                      | min    | nominal             | max |
|------------------------------------------------------|--------|---------------------|-----|
| Betriebsgrenzmass $q_R$<br>(Soforteingriffsschwelle) | 6.5 mm |                     | –   |
| Betriebsgrenzmass $q_R$<br>(Interventionsgrenze)     | 6.7 mm |                     | –   |
| Warngrenze $q_R$                                     | 7 mm   |                     | –   |
| Neumass                                              | –      | 11 mm <sup>a)</sup> | –   |

Tabelle 6-7: Vorgaben für das  $q_R$ -Mass

- a) Das Neumass des  $q_R$ -Masses wird durch den Spurkranzflankenwinkel des aufzudrehenden Radprofils bestimmt.

Für Rahmenlokomotiven mit mehr als zwei Radsätzen können die Mittelradsätze mit geschwächten Spukranzdicken ausgeführt werden. Auch wenn diese Radsätze nicht an der Spurführung beteiligt sind, dürfen die Grenzwerte für das minimale  $q_R$ -Mass nicht unterschritten werden.

#### 6.6.1.4 Auswalzungen und Radbreite

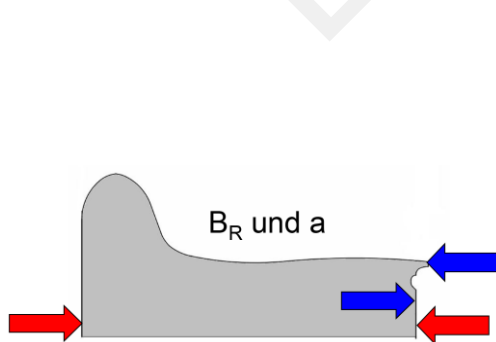


Abbildung 6-45: Auswalzung und Radbreite

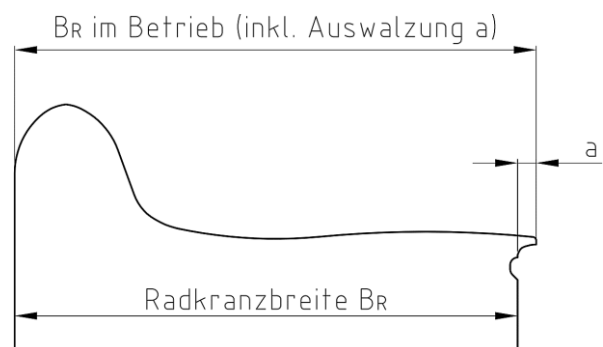


Abbildung 6-46: Geometrische Kennwerte für Auswalzung und Radbreite

Im Neuzustand weist der Radkranz eine Grundbreite  $B_R$  auf. Im Laufe des Betriebes können sich an der Radkranzstirnfläche Materialverschiebungen der Lauffläche ergeben. Diese werden als Auswalzung bezeichnet. Sie reichen über die Radkranzstirnfläche um das Mass  $a$  hinaus. Die Radkranzbreite  $B_R$  ist im Betrieb immer inklusive allfälliger Auswalzung  $a$  zu messen und zu überwachen. Ein konformer Zustand ist nur dann gegeben, wenn sowohl  $a$  als auch  $B_R$  innerhalb der zulässigen Grenzwerte liegen.

Für die Radbreite  $B_R$  sind gemäss verschiedenen Normen und Regelwerken die nachfolgenden Masse gültig:

|                            |     | <b>B<sub>R</sub> allgemein</b> | <b>B<sub>R</sub> neu 135</b> | <b>B<sub>R</sub> neu 140</b> | <b>B<sub>R</sub> Wagen</b> | <b>B<sub>R</sub> Triebfahrzeuge</b> | <b>Auswalzung a</b> |
|----------------------------|-----|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| SN EN 15313 <sup>b)</sup>  | min | –                              | 133                          | 138                          | –                          | –                                   | –                   |
|                            | neu | –                              | 135                          | 140                          | –                          | –                                   | 0                   |
|                            | max | –                              | 140 <sup>a)</sup>            | 145 <sup>a)</sup>            | –                          | –                                   | ≤ 5                 |
| TSI<br>(für Rad-Ø > 330mm) | min | 133                            | –                            | –                            | –                          | –                                   | –                   |
|                            | max | 145 <sup>a)</sup>              | –                            | –                            | –                          | –                                   | ≤ 5                 |
| SBB BCA 20059323           | min | –                              | –                            | –                            | 133                        | 139                                 | –                   |
|                            | neu | –                              | –                            | –                            | 135                        | 140                                 | –                   |
|                            | max | –                              | –                            | –                            | 140                        | 150                                 | –                   |

Tabelle 6-8: Vorgaben der Radkranzgrundbreite B<sub>R</sub> [mm] und Auswalzung a [mm] nach verschiedenen Quellen

- a) Mass gilt für B<sub>R</sub> inklusive Auswalzung a.  
b) Andere Normbreiten können für den nationalen Verkehr verwendet werden, Abweichungen sind national möglich.

Folgende Grenzwerte für die Auswalzung a sind anzuwenden:

|                                                  | <b>internat.</b> | <b>national LRS</b> | <b>national TRS</b> | <b>Bemerkung</b>                                                |
|--------------------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Betriebsgrenzmass a<br>(Soforteingriffsschwelle) | ≤ 5 mm           | ≤ 5 mm              | ≤ 6 mm              | Radbreite B <sub>R</sub><br>muss dabei<br>eingehalten<br>werden |
| Warngrenze a                                     | ≥ 4 mm           | ≥ 4 mm              | ≥ 5 mm              |                                                                 |

Tabelle 6-9: Im Betrieb anzuwendende Grenzwerte für die Auswalzung a

Basierend auf den oben dargestellten Vorgaben werden nachfolgende Werte für die Radkranzgrundbreite B<sub>R</sub> inklusive Auswalzung a für die Anwendung im Betrieb vorgegeben. Dabei ist das Betriebsgrenzmass (Soforteingriffsschwelle) verbindlich, die restlichen Massangaben stellen eine Empfehlung dar:

**Radkranzgrundbreite  $B_R$  135 mm Laufradsätze**

|                                                      | international | national      | Bemerkung                      |
|------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| Betriebsgrenzmass $B_R$<br>(Soforteingriffsschwelle) | 140 mm        | 140 mm        | Gemessen inkl.<br>Auswalzung a |
| Warngrenze $B_R$                                     | $\geq 139$ mm | $\geq 139$ mm |                                |

**Radkranzgrundbreite  $B_R$  135 mm Triebradsätze**

|                                                      | international | national      | Bemerkung                      |
|------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| Betriebsgrenzmass $B_R$<br>(Soforteingriffsschwelle) | 140 mm        | 142 mm        | Gemessen inkl.<br>Auswalzung a |
| Warngrenze $B_R$                                     | $\geq 139$ mm | $\geq 141$ mm |                                |

**Radkranzgrundbreite  $B_R$  140 mm Triebradsätze**

|                                                      | international | national      | Bemerkung                      |
|------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| Betriebsgrenzmass $B_R$<br>(Soforteingriffsschwelle) | 150 mm        | 150 mm        | Gemessen inkl.<br>Auswalzung a |
| Warngrenze $B_R$                                     | $\geq 148$ mm | $\geq 148$ mm |                                |

Tabelle 6-10: Im Betrieb anzuwendende Grenzwerte für die Radkranzgrundbreite  $B_R$  inklusive Auswalzung a

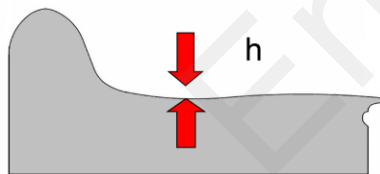
**6.6.1.5 Hohllauf**

Abbildung 6-47: Hohllauf

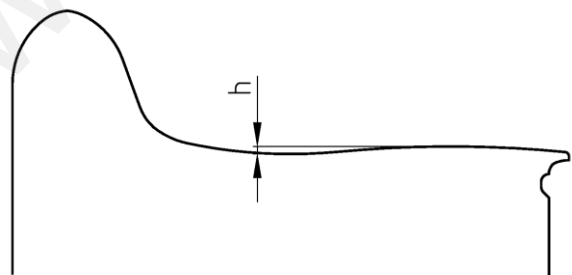


Abbildung 6-48: Geometrischer Kennwert für den Hohllauf

Der Hohllauf eines Rades wird entweder mit elektronischen Messverfahren gemessen oder das Über- oder Unterschreiten des Grenzwertes mit einer Lehre festgestellt.

Als Hohllauf h wird die Differenz zwischen höchstem und tiefstem Punkt auf der Lauffläche bei abgenutzter Lauffläche bezeichnet. Der tiefste Punkt liegt dabei typischerweise nahe der Messkreisebene, während der höchste Punkt nahe der Mitte zwischen Messkreisebene und äussere Radkranzstirnfläche liegt.

Das genaue Mass für den Hohllauf ist deshalb nicht grundsätzlich in der Messkreisebene zu messen, sondern am tiefsten Punkt der Lauffläche. Für die praktische Beurteilung im Betrieb genügt dagegen eine Kontrolllehre, die den Hohllauf in der Messkreisebene erfassen kann (siehe Abschnitt 14.2.6).



International gültige Grenzwerte für den Hohllauf sind nicht definiert. Folgende Werte gelten national:

|                                             | international | national                |
|---------------------------------------------|---------------|-------------------------|
| Betriebsgrenzmass (Soforteingriffsschwelle) | –             | $h \leq 2.2 \text{ mm}$ |
| Warngrenze                                  | –             | $h \geq 1.7 \text{ mm}$ |

Tabelle 6-11: Zulässige Werte für den Hohllauf

Beim Erreichen des Betriebsgrenzmasses ist der Radsatz umgehend zu bearbeiten, es ist keine Restlaufzeit mehr vorzusehen. Das Fahrzeug wird bei Erreichen dieses Wertes ausgesetzt.

Die bisherige Interventionsgrenze für den Hohllauf von 2 mm kann intern beibehalten werden, sofern der Fahrzeughalter dies wünscht. Das sofortige Aussetzen eines Fahrzeuges ist bei einem Hohllauf von 2 mm jedoch nicht zwingend notwendig.

#### 6.6.1.6 Spurmass $S_R$

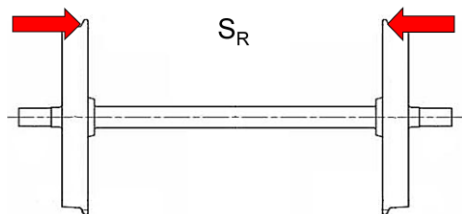


Abbildung 6-49: Spurmass  $S_R$

Für das Spurmass  $S_R$  gelten folgende Grenzwerte:

|                                                                                                                                                | SN EN 15313         |       | SBB BCA 20059323 |       | UIC 510-2 |       | TSI   |       | AVV Anl. 10 |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|------------------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Raddurchmesser D                                                                                                                               | min <sup>a)</sup>   | max   | min              | max   | min       | max   | min   | max   | min         | max   |
| Allgemein                                                                                                                                      | –                   | –     | –                | –     | –         | –     | –     | –     | –           | –     |
| $1000 \geq D \geq 840 \text{ mm}$                                                                                                              | –                   | –     | –                | –     | 1'410     | 1'426 | –     | –     | –           | –     |
| $D \geq 840 \text{ mm}$                                                                                                                        | –                   | –     | 1'410            | 1'426 | –         | –     | 1'410 | 1'426 | 1'410       | 1'426 |
| $D \leq 840 \text{ mm}$                                                                                                                        | –                   | –     | 1'415            | 1'426 | –         | –     | –     | –     | 1'415       | 1'426 |
| Zwischenradsätze                                                                                                                               |                     |       | 1'405            | 1'426 |           |       | –     | –     | –           | –     |
| $840 \geq D \geq 760 \text{ mm}$                                                                                                               | 1'412 <sup>b)</sup> | 1'426 | –                | –     | –         | –     | –     | –     | –           | –     |
| $D \leq 760 \text{ mm}$                                                                                                                        | 1'415               | 1'426 | –                | –     | –         | –     | –     | –     | –           | –     |
| $840 \geq D \geq 330 \text{ mm}$                                                                                                               | –                   | –     | –                | –     | 1'415     | 1'426 | 1'415 | 1'426 | –           | –     |
| $D > 840 \text{ mm}$                                                                                                                           | 1'410               | 1'426 | –                | –     | –         | –     | –     | –     | –           | –     |
| 2-achsige Güterwagen mit 22.5 t Radsatzlast mit Rädern $\geq 840 \text{ mm}$ und Radstand grösser 8 m, $v_{\max} = 100 \text{ km/h}$ (s-fähig) |                     |       |                  |       |           |       |       |       | 1'418       | 1'426 |
| 2-achsige Güterwagen mit 22.5 t Radsatzlast                                                                                                    | –                   | –     | –                | –     | 1'418     | 1'426 | –     | –     | –           | –     |
| 2-achsige Güterwagen mit 22.5 t Radsatzlast, $v_{\max}$ bis 120 km/h (s- und ss-fähig)                                                         | –                   | –     | –                | –     | –         | –     | –     | –     | –           | –     |

Tabelle 6-12: Vorgaben für das Spurmass  $S_R$  [mm] nach verschiedenen Normen

- a) Diese Werte sind nicht anwendbar für Radsätze, die nicht an der Spurführung beteiligt sind oder geschwächte oder fehlende Spurkränze aufweisen.
- b) Andere Werte können für nationale Verkehre gelten.

### Vorgaben $S_R$ -Mass

| Laufkreisdurchmesser D [mm]<br>(Istwert) | Spurmass $S_R$ [mm]           |                          |
|------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|                                          | Mindestmass <sup>a), b)</sup> | Höchstmass <sup>a)</sup> |
| $D \leq 760$                             | 1'415                         | 1'426                    |
| $760 < D \leq 840$                       | 1'412 <sup>d)</sup>           | 1'426                    |
| $D > 840$                                | 1'410 <sup>d)</sup>           | 1'426                    |
| 2-achsige Güterwagen                     | 1'418 <sup>c)</sup>           | 1'426                    |

Tabelle 6-13: Vorgaben für das  $S_R$ -Mass

- a) Die Mindest- und Höchstmasse sind als Soforteingriffsschwelle zu verstehen.
- b) Bei nicht an der Spurführung beteiligten Radsätzen mit Spurkranzschwächung kann das Mindestmass bis auf 1'395 mm verringert werden.
- c) Gilt nur für Raddurchmesser grösser 840 mm bei Zweiachsern mit Doppelschakengehänge und Radsatzstand  $\geq 8$  m, bis 100 km/h, 22.5 t Radsatzlast.
- d) Andere Werte für  $S_R$  können bei nationalen Verkehren gelten.

Das Spurmass  $S_R$  kann aus den Werten des  $A_R$ -Masses und den Spurkranzdicken durch Summation berechnet werden. Dabei gilt:

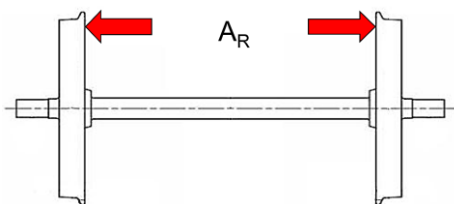
$$S_R = A_R + Sd_{\text{links}} + Sd_{\text{rechts}}$$

Formel 6-1: Berechnung des Spurmasses  $S_R$

Die Grenzen des Spurmasses müssen in allen Beladungszuständen bei eingebauten Radsätzen sowie bei ausgebauten Radsätzen eingehalten werden.

Bei der fahrtechnischen Prüfung neuer Fahrzeuge wird empfohlen, den Nachweis zur Erbringung der Laufstabilität für Radprofile mit  $S_R = 1'420$  mm und  $S_R = 1'425$  mm durchzuführen. Je nach Tendenz des Spurkranzverhaltens (Dicke im Betrieb zu- oder abnehmend) kann dann das entsprechende Profil ohne Zulassungsprobleme aufgedreht werden. Die Vorgaben zur äquivalenten Konizität gemäss SN EN 14363 sind dabei einzuhalten.

### 6.6.1.7 Radrückenabstand $A_R$

Abbildung 6-50: Radrückenabstand  $A_R$ 

Das Mass für den Radrückenabstand ist bei ausgebauten Radsätzen an drei um  $120^\circ$  versetzten Punkten am Radsatz 60 mm unterhalb der Oberkante des Spurkranzes zu messen (Dreipunktmessung). Die SN EN 15313 empfiehlt, 10 mm ausserhalb des Laufkreises zu messen, was etwa gleichbedeutend mit der Schienenoberkante ist. Der Anwender ist frei in der Wahl des Messpunktes (siehe dazu auch Abschnitt 14.3.1). Auf Sauberkeit an den Messstellen ist zu achten.

Bei normalen Kontrollmessungen bei eingebauten Radsätzen im Betrieb ist eine Messung pro Radsatz ausreichend. Dabei muss die Messposition so nahe wie möglich im Bereich des Aufstandspunktes Rad-Schiene sein.

Nach Entgleisungen ist der betroffene Radsatz in eingebautem Zustand zu vermessen. Dabei ist das  $A_R$ -Mass an drei um  $120^\circ$  versetzten Stellen zu messen. Durch Verschieben des Fahrzeugs ist sicher zu stellen, dass die Messung stets in der gleichen Messposition vorgenommen wird, vorzugsweise so nahe wie möglich im Bereich des Aufstandspunktes Rad-Schiene

| Raddurchmesser D [mm]<br>Nennmass |     | allgemein | $1000 \geq D \geq 840$ | $D \geq 840$ | $D \leq 840$ | $840 \geq D > 760$ | $D \leq 760$ | $840 \geq D \geq 330$ | $D > 840$ |
|-----------------------------------|-----|-----------|------------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------------|-----------|
| SN EN 15313                       | min | –         | –                      | –            | –            | 1'358              | 1'359        | –                     | 1'357     |
|                                   | max | –         | –                      | –            | –            | 1'363              | 1'363        | –                     | 1'363     |
| TSI                               | min | –         | –                      | 1'357        | –            | –                  | –            | 1'359                 | –         |
|                                   | max | –         | –                      | 1'363        | –            | –                  | –            | 1'363                 | –         |
| SBB BCA<br>20059323               | min | –         | –                      | 1'357        | 1'359        | –                  | –            | –                     | –         |
|                                   | max | –         | –                      | 1'363        | 1'363        | –                  | –            | –                     | –         |
| UIC 510-2                         | min | –         | 1'357                  | –            | –            | –                  | –            | 1'359                 | –         |
|                                   | max | –         | 1'363                  | –            | –            | –                  | –            | 1'363                 | –         |

Tabelle 6-14: Vorgaben für das Mass  $A_R$  [mm] nach verschiedenen Normen

### Vorgaben $A_R$ -Mass

| Laufkreis-<br>durchmesser<br>D [mm]<br>(Istwert) | Zustand                           | $A_R$ -Mass [mm] <sup>d)</sup> |                     |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------|
|                                                  |                                   | Mindestmass                    | Höchst-<br>mass     |
| $330 \leq D \leq 760$                            | Radsatz ausgebaut, Aussenlagerung | 1'360                          | 1'361               |
|                                                  | Radsatz ausgebaut, Innenlagerung  | 1'358                          | 1'360               |
|                                                  | Radsatz eingebaut <sup>a)</sup>   | 1'359/1'358 <sup>c)</sup>      | 1'363               |
| $760 < D \leq 840$                               | Radsatz ausgebaut, Aussenlagerung | 1'360                          | 1'361               |
|                                                  | Radsatz ausgebaut, Innenlagerung  | 1'358                          | 1'360               |
|                                                  | Radsatz eingebaut <sup>a)</sup>   | 1'358 <sup>c)</sup>            | 1'363               |
| $D > 840$                                        | Radsatz ausgebaut, Aussenlagerung | 1'360 <sup>b)</sup>            | 1'362 <sup>b)</sup> |
|                                                  | Radsatz ausgebaut, Innenlagerung  | 1'358                          | 1'360               |
|                                                  | Radsatz eingebaut <sup>a)</sup>   | 1'357                          | 1'363               |

Tabelle 6-15: Vorgaben für das  $A_R$ -Mass

- a) Unabhängig vom Beladungszustand  
b) Grenzwerte gemäss VPI 04: minimal 1'359 mm; maximal 1'361 mm  
c) Voraussetzung für die Anwendung des Wertes 1'358 mm ist die Zustimmung des Infrastrukturbetreibers.  
d) Die zulässigen Massabweichungen innerhalb eines Radsatzes bei einer Dreipunktmessung werden durch das Kriterium des Planschlags definiert (siehe Abschnitt 6.6.2.2). Nach Entgleisungen dürfen Radsätze mit  $A_R$ -Massdifferenzen innerhalb eines Radsatzes bis zu 2.0 mm im Fahrzeug zur Überfuhr verbleiben.

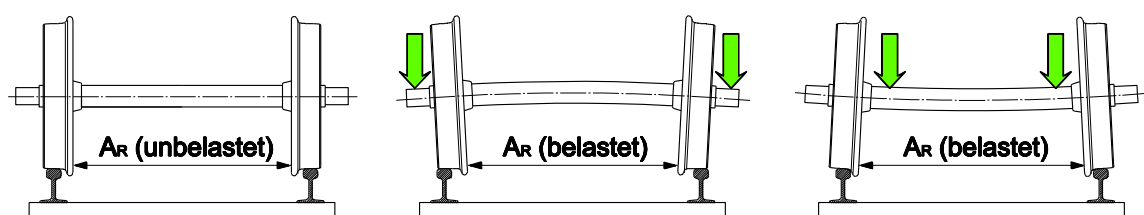
Die angegebenen Werte für das  $A_R$ -Mass in ausgebautem Zustand gelten auch als Richtwert für die Montagetoleranz beim Fügen von Radsätzen, sofern auf den Radsatzzeichnungen keine anderen Toleranzwerte angegeben sind.

Die Verspannungssituation auf der UFD bewirkt eine Aufweitung des Radrückenabstandes  $A_R$  von bis zu 3 mm. Die Aufweitung ist abhängig vom Raddurchmesser, der Radsatzwellendimension, der Führungsrollen und der Kraft des Niederhalters.

Die mit einem UFD gemessenen  $A_R$ -Masse können daher keine ausreichende Genauigkeit bieten, um das  $A_R$ -Mass zu beurteilen. Deshalb muss das  $A_R$ -Mass immer dann gemessen werden, wenn das Fahrzeug im Betriebszustand auf den Schienen steht.

Bei Fahrzeugen mit grosser Zuladung spielt auch der Beladezustand eine Rolle. Er ist bei der Messung des  $A_R$ -Masses zu berücksichtigen und zu vermerken.

Ein Betrieb eines Radsatzes mit einem Radrückenabstand  $A_R$  ausserhalb dieser Werte ist nicht zulässig. Die Mindest- und Höchstmasse sind als Soforteingriffschwelle zu verstehen.

Abbildung 6-51: Radrückenabstand  $A_R$  in unbelastetem und belastetem Zustand; Aussen- und Innenlagerung

### 6.6.1.8 Radreifendicke b

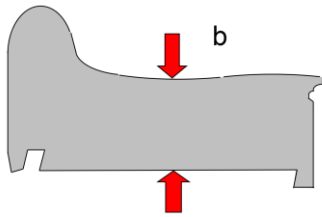


Abbildung 6-52: Radreifendicke b

Die Radreifendicke wird in der Regel auf der Lauffläche mit ca. 80 mm Abstand vom Radrücken gemessen (siehe Abschnitt 14.4.3.4).

Für die im Betrieb zulässige minimale Radreifendicke gelten nachfolgende Grenzwerte (Soforteingriffsschwelle):

| Fahrzeug                                       | max.<br>Fahrgeschwindigkeit                    | min.<br>zulässige Radreifendicke b |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|
| Reisezugwagen<br>$D \geq 330$ mm               | $v > 160$ km/h                                 | unzulässig                         |
|                                                | $v \leq 160$ km/h                              | 35 mm                              |
| Güter- und Dienst-<br>wagen<br>$D \geq 330$ mm | $v > 120$ km/h                                 | unzulässig                         |
|                                                | $v \leq 120$ km/h                              | 35 mm                              |
|                                                | $v \leq 100$ km/h                              | 30 mm <sup>a)</sup>                |
| Lokomotiven,<br>andere Fahrzeuge               | Gemäss Vorgaben Hersteller oder Fahrzeughalter |                                    |

Tabelle 6-16: Grenzwerte für im Betrieb minimal zulässige Radreifendicken

a) Bis 120 km/h in unbeladenem Zustand gestattet (Kennzeichnung mit **SS** oder ★★)

Da die Messung der Radreifendicke mit mechanischen Messmitteln nur mit relativ grosser Toleranz möglich ist wird empfohlen, statt der zulässigen Radreifendicke für die betroffene Radsatzbauart den Mindestdurchmesser basierend auf der minimalen Radreifendicke und dem nominalen Radkörperdurchmesser zu definieren. Ebenso ist die Messung der Radreifendicke mittels geeigneten Wandstärken-Messgeräte auf Ultraschallbasis möglich.

### 6.6.2 Beurteilungskriterien Radsatz generell

Zur Beurteilung der Funktionsfähigkeit an einem Radsatz sind in erster Linie diverse geometrische Werte am Radsatz zu kontrollieren sowie eine optische Beurteilung vorzunehmen. Darunter fallen Abweichungen von der geometrischen Idealform, Unwuchten und Massdifferenzen sowie der Allgemeinzustand der verschiedenen Funktionsteile, insbesondere der Lauffläche.

Ferner sind zu beurteilen:

- das Einhalten aller sonstigen zulässigen Grenzwerte (siehe vorhergehende Abschnitte)
- das Einhalten des minimal zulässigen Raddurchmessers unter Berücksichtigung der Verschleisserscheinungen im Bereich der Lauffläche
- Vorhandensein der Kennzeichnungen am Radsatz bzw. dessen Bauteile gemäss technischer Dokumentation.
- ordnungsgemässes Vorhandensein von Korrosionsschutz
- ordnungsgemässes Vorhandensein von Verdrehmarkierungen Radreifen – Radkörper

### 6.6.2.1 Rundlaufabweichung h

Die Rundlaufabweichung ist sowohl nach der spanabhebenden Bearbeitung am Radsatz wie auch nach dem Aufziehen von neuen, bereits fertig reprofilierten Vollrädern zu messen.

Die maximal zulässige empfohlene Rundlaufabweichung, gemessen in Laufkreisebene mit einem geeigneten Verfahren gemäss Abschnitt 14.4 beträgt gemäss nachfolgender Tabelle:

|                                                       | max. zulässige Rundlaufabweichung h [mm] <sup>b)</sup> |                                                     |               |         |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|---------|
|                                                       | nach dem Reprofilieren                                 | im Betrieb zulässig<br>(SN EN 15313:2016, Anhang G) |               |         |
| Raddurchmesser [mm]<br>Geschwindigkeitsbereich [km/h] | Beliebig                                               | D > 840                                             | 360 < D ≤ 840 | D ≤ 360 |
| $v_{\max} \leq 60$                                    | 0.5 <sup>a), d)</sup>                                  | 1.5                                                 | 0.7           | 0.3     |
| $60 < v_{\max} \leq 120$                              | 0.5 <sup>a), d)</sup>                                  | 1.0                                                 | 0.7           | 0.3     |
| $120 < v_{\max} \leq 160$                             | 0.3 <sup>a), d)</sup>                                  | 1.0                                                 | 0.7           | 0.3     |
| $160 < v_{\max} \leq 200$                             | 0.3 <sup>a)</sup>                                      | 0.7                                                 | 0.7           | –       |
| $v_{\max} > 200$                                      | 0.3 <sup>a), c)</sup>                                  | 0.5                                                 | 0.5           | –       |

Tabelle 6-17: Maximal zulässige Rundlaufabweichung

- a) Es wird empfohlen, einen Höchstwert für die Rundlaufabweichung nach dem Reprofilieren von max. 0.2 mm anzustreben, unabhängig vom Einsatzfeld des Radsatzes. Dazu wird das belastete Radsatzlagergehäuse und nicht die Radsatzwellenzentrierung als Bezug genommen. Der Wert ist aus der Betriebserfahrung entstanden und viel einschränkender als die allgemein gültigen Vorgaben.
- b) Für elastomergefederte Räder gilt das Kriterium Kreisformabweichung der Lauffläche.
- c) Die Toleranz sollte zum Zeitpunkt der Anfrage und Auftragserteilung vereinbart werden.
- d) Für Räder mit Raddurchmesser ≤ 360 mm gelten vom Fahrzeughalter vorgegebene Werte.

Diese Werte können vom Halter nach unten angepasst werden, um dem gewünschten Fahrkomfort und einer eingeschränkten Geräuschentwicklung Rechnung zu tragen. Unrunde Räder führen zu Fahrkomfortverschlechterungen und erhöhter Belastung von Fahrzeug und Gleis.

Ein Radsatz, der die vorgegebenen Werte im Betrieb überschreitet, muss reprofiliert werden.

Radsätze, die auf besonders trassierten Strecken verkehren, z.B. mit engen Kurvenradien, können zur Entwicklung von Radunrundheiten ausserhalb der Messkreisebene neigen. Dabei können in der Messkreisebene geringere Unrundheiten festgestellt werden als ausserhalb davon. Die obenstehenden Werte sollen daher auch angewendet werden, wenn sich die Unrundheiten ausserhalb der Messkreisebene befinden.

### 6.6.2.1.1 Formen von Rundlaufabweichungen

Bei der Rundlaufabweichung bzw. Unrundheit der Räder im Betrieb wird zwischen verschiedenen Erscheinungsformen unterschieden:

- Periodische Unrundheiten
  - Polygone (Wellenlänge grösser 80 mm)
  - Radriffel (Wellenlänge kleiner 80 mm)
- Nichtperiodische Unrundheiten
  - Flachstellen
  - Singuläre Abplattung

Periodische Unrundheiten entstehen durch nicht zentrische Bearbeitung, Wärmebehandlungsfehler, Flachstellen als Auslöser, Langzeitgleitvorgänge beim Bremsen, Hartstellen auf Grund kurzen Gleitens beim Bremsen, Scheibenschwingungen und Reibungsvorgängen bei Bogenfahrt sowie weiteren Einflüssen.

Polygone und Riffel entstehen und wachsen durch den natürlichen Verschleiss. Dieses Wachstum kann auf Basis von Betriebserfahrungen in gewissen Grenzen vorhergesagt werden, um zu einem geeigneten Zeitpunkt Massnahmen zu ergreifen. Die Ausprägung der Polygone ist in der Regel fahrzeugtypisch.

Nichtperiodische Unrundheiten entstehen in der Regel durch Gleitvorgänge beim Bremsen (Flachstellen) oder durch inhomogenes Radmaterial (singuläre Abplattung). Die Entstehung dieser Schäden ist nicht vorhersagbar.

### 6.6.2.2 Planlaufabweichung g

Die maximal zulässige vorgegebene Planlaufabweichung g je Rad eines Radsatzes im Betrieb oder nach der Neufertigung beträgt:

| Geschwindigkeitsbereich [km/h] | max. zulässige Planlaufabweichung g [mm] |                                      |
|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
|                                | nach dem Reprofilieren<br>(SN EN 13260)  | im Betrieb zulässig<br>(SN EN 15313) |
| $v_{\max} \leq 120$            | 0.8                                      | 1.0                                  |
| $120 < v_{\max} \leq 160$      | 0.5                                      | 0.8                                  |
| $160 < v_{\max} \leq 200$      | 0.5                                      | 0.5                                  |
| $v_{\max} > 200$               | 0.3 <sup>a)</sup>                        | 0.3                                  |

Tabelle 6-18: Maximal zulässige, vorgegebene Planlaufabweichung.

a) Die Toleranz sollte zum Zeitpunkt der Anfrage und Auftragserteilung vereinbart werden.

Die Planlaufabweichung wird 10 mm unterhalb des Radaufstandspunktes gemessen gemäss den Vorgaben in Abschnitt 14.3.6.

Zu grosser Planschlag führt zu Schwingungen und unsauberem Lauf. Ein Radsatz, der die vorgegebenen Grenzwerte für den Planschlag überschreitet, muss ausgetauscht und überarbeitet werden.

### 6.6.2.3 Durchmesserunterschied

Der maximale Durchmesserunterschied zwischen den zwei Laufkreisebenen eines Radsatzes sollte folgende Werte nicht überschreiten:

| Geschwindigkeitsbereich<br>[km/h] | max. zulässiger Durchmesserunterschied [mm] |                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                   | nach dem Reprofilieren                      | im Betrieb zulässig <sup>b)</sup> |
| $v_{\max} \leq 200$               | 0.5                                         | gemäss<br>Betriebserfahrung       |
| $v_{\max} > 200$                  | 0.3 <sup>a)</sup>                           | gemäss<br>Betriebserfahrung       |

Tabelle 6-19: Maximal zulässiger Durchmesserunterschied

- a) Die Toleranz sollte zum Zeitpunkt der Anfrage und Auftragserteilung vereinbart werden.  
 b) Es wird ein maximaler Durchmesserunterschied von 2 mm empfohlen. Dieser Wert ist jedoch kein Betriebsgrenzmass.

Es wird empfohlen, beim Reprofilieren einen maximalen Durchmesserunterschied von 0.2 mm anzustreben. Ein Durchmesserunterschied der Räder verursacht Schräglauf und damit erhöhten Verschleiss und Fahrwiderstand. Zusätzlich werden die Radsatzlager einseitig belastet, was zu Laufspuren und vorzeitigem Ausfall führt.

Der zulässige Durchmesserunterschied zwischen einzelnen Radsätzen in einem Fahrzeug oder Drehgestell ist direkt vom mechanischen Aufbau und von der Art des Antriebes sowie vom Aufbau des Gleit- und Schleuderschutzes abhängig.

Diese Werte müssen durch den Fahrzeughersteller angegeben werden.

Als Anhaltswerte für den maximalen Durchmesserunterschied zwischen den Radsätzen eines Fahrzeuges oder Drehgestells können folgende Grössen dienen:

#### Triebradsätze

- Stangenantrieb oder Kardanverbund, 0.5 – 1.5 mm
- Elektrisch gekoppelt, 3 – 5 mm
- Einzelachsenantrieb, elektrisch getrennt, 15 mm – beliebig

#### Lauftradsätze

- 2-achser mit Blattfedern, 20 mm – beliebig (Pufferhöhe beachten)
- Güterwagendrehgestelle Typ Y25, 18 – 20 mm
- Güterwagendrehgestelle mit Blattfedern, 18 – 20 mm
- Drehgestelle allgemein, Raddurchmesser > 760 mm, 15 – 20 mm
- Drehgestelle allgemein, Raddurchmesser < 760 mm, 10 – 20 mm

Diese Angaben gelten nur als grobe Richtwerte und sind in jedem Fall für die betroffene Fahrzeugbauart zu bestimmen. Soweit vorhanden, gelten die Angaben des Herstellers.

### 6.6.2.4 Unwucht

#### 6.6.2.4.1 Zulässige dynamische Werte

Die Unwucht wird am voll montierten und bearbeiteten Radsatz in der Messkreisebene gemessen. Die Unwucht ist zwingend bei Radsätzen zu messen, die neu gefügt, neu bereift oder neu mit Radscheiben bestückt wurden. Nach Reprofilierungsarbeiten ist die Unwuchtmessung nicht verbindlich auszuführen.



| Geschwindigkeitsbereich [km/h] | max. zulässige, dynamische Unwucht [gm] | Symbole |
|--------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| $v_{\max} \leq 120$            | 125                                     | E3      |
| $120 < v_{\max} \leq 200$      | 75                                      | E2      |
| $200 < v_{\max} \leq 250$      | 50                                      | E1      |

Tabelle 6-20: Maximal zulässige dynamische Unwucht gemäss SN EN 13262

Für Triebradsätze können die Werte der dynamischen Unwucht zum Zeitpunkt der Anfrage und Auftragserteilung vereinbart werden, wobei zu beachten ist, dass nicht alle Bauarten von Triebradsätzen dynamisch gewuchtet werden können.

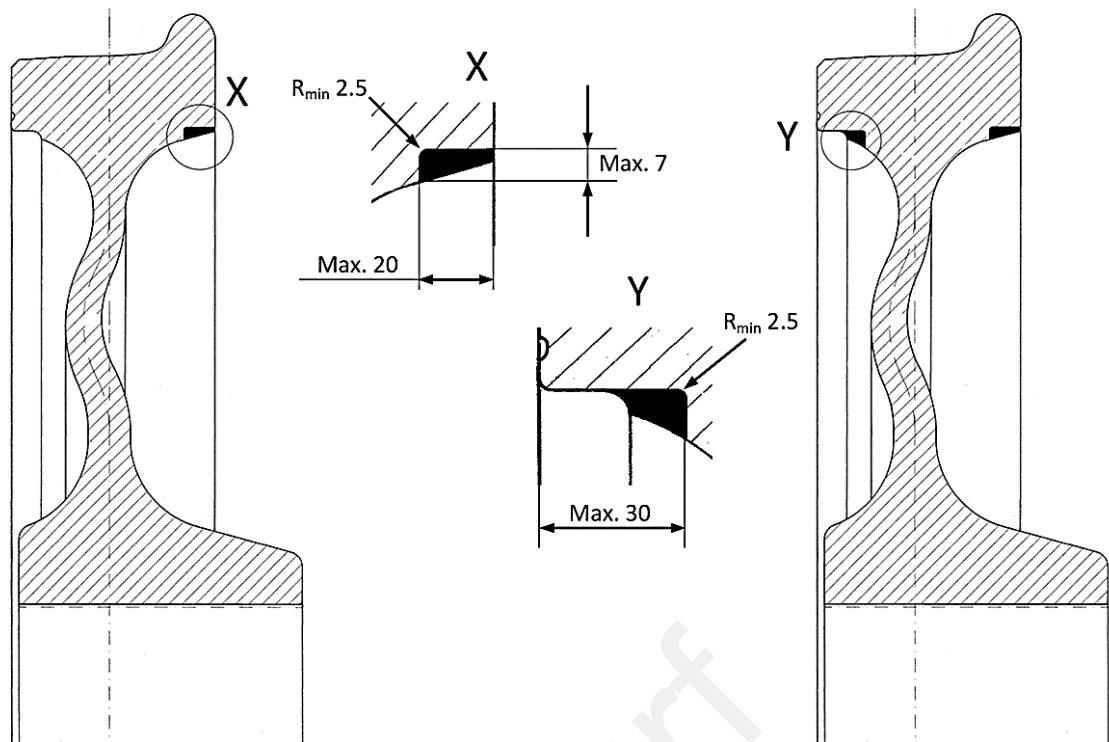
Ausserdem können die Werte für die statische Unwucht zum Zeitpunkt der Anfrage oder der Auftragserteilung vereinbart werden. Bei Laufradsätzen darf jedoch der Wert der statischen Unwucht des Radsatzes das Doppelte der oben angegebenen Werte der dynamischen Unwucht nicht überschreiten. Werden bei der Unwuchtmessung Werte ermittelt, die grösser als die vorgegebenen Grenzwerte sind, so ist der Radsatz auszuwuchten.

Grundsätzlich ist eine möglichst geringe Unwucht anzustreben. Dies hat einen positiven Einfluss auf den Fahrkomfort und die Belastung von Fahrzeug und Gleis durch reduzierte Schwingungen bei höheren Geschwindigkeiten sowie die Ausbildung von unrunder Rädern.

#### 6.6.2.4.2 Beseitigung der Unwucht

Zum Auswuchten des Radsatzes sind gemäss den gängigen Vorschriften folgende Methoden zugelassen:

- Materialabtragung an der Radscheibe (sogenanntes Aussicheln) bei Vollrädern durch Ausfräsen oder exzentrisches Ausdrehen, dabei ist auf gut gerundete, kerbfreie Übergänge zu achten
- Anschweissen von Auswuchtgewichten am Sprengring bei Rädern mit Radreifen, dazu ist die Zustimmung des Halters und eine spezielle Schweissanweisung notwendig, die Vorgaben der Normenreihe SN EN 15085 bezüglich Schweissen müssen eingehalten werden. Die Auswuchtgewichte dürfen nur direkt am Sprengring angeschweisst und nicht auf andere Auswuchtgewichte aufgesetzt werden
- partielles Anbringen von Oberflächenbeschichtungen mit erheblicher Schichtdicke, in der Regel werden dazu Spezialfarben mit hohem Metallanteil verwendet



Innenseitiges Aussicheln bei normalen Unwuchtwerten.

Innen- und aussenseitiges Aussicheln bei sehr hohen Unwuchtwerten.

Abbildung 6-53: Aussicheln an Vollrädern



Abbildung 6-54: Angeschweisstes Gewicht am Sprengring

Nicht gestattet ist das Ankleben von Auswuchtgewichten am Rad oder der Materialabtrag durch Bohrungen in die Stirnseite oder den Radrücken an Radreifen und Vollrädern. Bei Klebungen besteht die Gefahr des unkontrollierten Lösens der Verbindung, die Bohrungen im Radreifen und Vollrad sind Schwachstellen und können die Rissbildung fördern.

Bestehende Radsätze mit Auswuchtbohrungen können nach Beurteilung durch Fachpersonal und mit Einwilligung des Halters im Betrieb bleiben. Dies vor allem bei historischen Fahrzeugen und Fahrzeugen mit sehr geringer Laufleistung. Eine periodische Risskontrolle durch Ultraschall wird empfohlen.

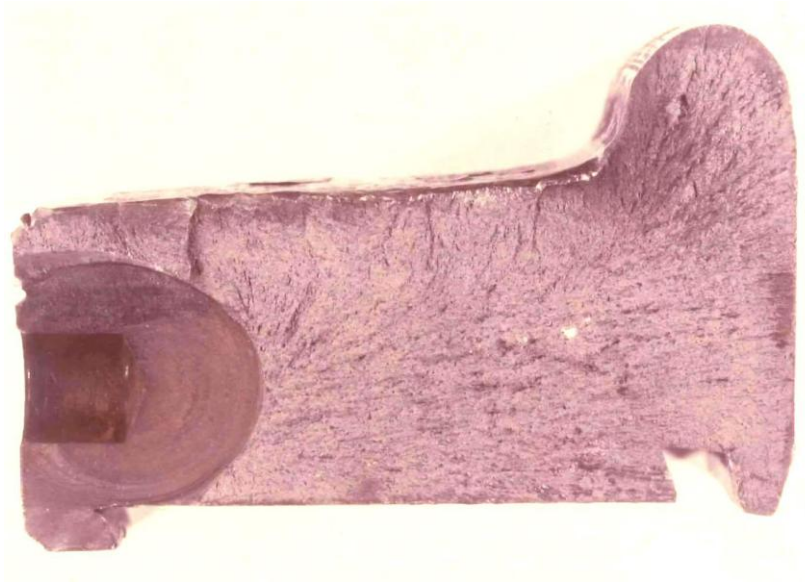


Abbildung 6-55: Radreifenbruch durch Auswuchtbohrung

#### 6.6.2.5 Flachstellen und Materialauftragung

##### Flachstellen

Flachstellen entstehen durch das Gleiten des Rades auf der Schiene, in der Regel verursacht durch eine feste Bremse, einen gestörten Gleitschutz, einer angezogenen Handbremse oder Bremsungen mit dem Hemmschuh.

Die Lauffläche ist an der Stelle abgeflacht, es ist eine in der Regel ovale Fläche sichtbar. Am Rand der Flachstelle kann ein gleitender, nicht scharfkantiger Übergang vorliegen. Flachstellen können einzeln oder mehrfach am Radumfang auftreten, in der Regel gegenüberliegend an beiden Rädern des Radsatzes.

Flachstellen sind nicht mit Ausbröckelungen zu verwechseln (siehe Abschnitt 6.6.2.6).

##### Materialauftragungen

Materialauftragungen entstehen durch Schleifen des Rades auf der Schiene (z.B. Schlupf, ruckartiges oder langsames Weiterdrehen), überhitztes und dabei abgelöstes Rad- bzw. Bremssohlenmaterial, welches zu punktförmigen Verschweissungen an örtlich überhitzten Stellen der Lauffläche auftritt, durch fließen des Radmaterials unter Bremswirkung sowie Unregelmässigkeiten am Bremssystem.

Die Lauffläche zeigt Materialanhäufungen in Form von Aufschweissungen bzw. Versinterungen von Bremssohlen- und Schienenmaterial. Materialauftragungen können einzeln oder mehrfach (oft in gleichem Abstand) auf der Lauffläche verteilt auftreten. Materialauftragungen können schuppenförmig ausgebildet sein und sind stets ein Hinweis auf thermische Überbeanspruchung der Räder.



Abbildung 6-56 und Abbildung 6-57: Flachstellen



Abbildung 6-58: Flachstelle mit Materialauftragung



Abbildung 6-59: Flachstelle mit Materialauftragung

Die folgenden Grenzwerte gelten gemeinsam für Flachstellen und Materialauftragung. Es wird die Länge der Flachstelle bewertet.

Flachstellen und Materialauftragungen, die die nachfolgend genannten Werte überschreiten, sind im Betrieb nicht zulässig:



Vorgaben der maximal im Betrieb zulässigen Länge von Flachstellen nach verschiedenen Quellen:

| Fahrzeug-<br>typ | zulässige Rad-<br>satzlast m [t] | m ≤ 18  |               | 18 < m ≤ 20 |               |               | 20 < m ≤ 22.5 |               |               | Quelle      |
|------------------|----------------------------------|---------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
|                  | v [km/h]                         | v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 | v ≤ 120     | 120 < v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 | v ≤ 120       | 120 < v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 |             |
|                  | Rad-Ø [mm]                       |         |               |             |               |               |               |               |               |             |
| alle             | 1000 < d                         | 80      | 60            | 80          | 60            | 50            | 80            | 60            | 50            | SN EN 15313 |
|                  | 840 < d ≤ 1000                   | 60      | 50            | 60          | 50            | 35            | 60            | 50            | 35            | SN EN 15313 |
|                  | 630 < d ≤ 840                    | 40      | 30            | 40          | 30            | 25            | 40            | 30            | 25            | SN EN 15313 |
|                  | 550 < d ≤ 630                    | 35      | 25            | –           | –             | –             | –             | –             | –             | SN EN 15313 |
|                  | d < 550                          | 30      | –             | –           | –             | –             | –             | –             | –             | SN EN 15313 |
| Güter-<br>wagen  | 840 ≤ d                          | 60      | –             | 60          | –             | –             | 60            | –             | –             | AVV         |
|                  | 630 < d ≤ 840                    | 40      | –             | 40          | –             | –             | 40            | –             | –             | AVV         |
|                  | d < 630                          | 35      | –             | –35         | –             | –             | 35            | –             | –             | AVV         |

Tabelle 6-21: Maximal im Betrieb zulässigen Länge von Flachstellen [mm] nach verschiedenen Quellen

– : Keine Anwendung bekannt.

Vorgabe für den Grenzwert von Flachstellen:

| Fahrzeug-<br>bauart | Raddurchmesser d<br>[mm] | max. zulässige<br>Länge L [mm] <sup>a)</sup> | max. zulässige<br>Fahrgeschwindigkeit |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Güter-<br>wagen     | 840 ≤ d                  | 60                                           | –                                     |
|                     | 630 < d ≤ 840            | 40                                           | –                                     |
|                     | d < 630                  | 35                                           | –                                     |
| Reisezug-<br>wagen  | –                        | 60                                           | v ≤ 160 km/h                          |
|                     | –                        | 30                                           | v > 160 km/h                          |

Tabelle 6-22: Vorgaben für den Grenzwert von Flachstellen

a) Geringere Werte für im Betrieb zugelassene Flachstellen können vom Fahrzeughalter festgelegt werden.

Flachstellen und Materialauftragungen führen zu Fahrkomfortverschlechterungen und erhöhter Belastung von Fahrzeug und Gleis. Ein Radsatz, der die vorgegebenen Werte überschreitet, muss behandelt werden.

Die vorgeschlagenen Grenzwerte basieren auf den aktuellen Grenzwerten gemäss Fehlerkatalog BAV. Oberhalb dieser Grenzen muss mit einer Schädigung von Infrastruktur und Fahrzeug gerechnet werden.

Die Auswirkungen auf den Fahrkomfort sind in den Grenzwerten gemäss Tabelle 6-21 und Tabelle 6-22 nicht berücksichtigt. Je nach Fahrzeugtyp kann der Fahrkomfort bereits bei wesentlich kleineren Schäden massiv beeinträchtigt werden. Aus diesem Grund wird eine Flachstelle von bis zu 60 mm Länge wohl kaum in der Praxis an Reisezugwagen oder an Triebfahrzeugen im Betrieb akzeptiert werden. Es wird empfohlen, dass der Fahrzeughalter für die Praxis angepasste Grenzwerte und Restlaufzeiten definiert, die unter

den Vorgaben der oben aufgeführten Empfehlung liegen. Unabhängig von der Grösse einer Flachstelle oder Materialauftragung soll eine Behandlung solcher Schäden so rasch wie möglich erfolgen. Dies besonders deshalb, weil der längere Einsatz solcher Radsätze zu Folgeschäden an Radsatzlagerung und Federung führen kann.

#### 6.6.2.6 Ausbröckelungen

Ausbröckelungen entstehen sowohl durch thermische als auch mechanische Beanspruchung, oft in Verbindung miteinander.

Die thermische Überbeanspruchung wird in der Regel durch Überbremsen, Gleiten, Schleudern oder erhöhten Schlupf und damit einhergehender Materialumwandlung ausgelöst und bildet meist Netzmuster auf der Lauffläche

Die mechanische Überbeanspruchung kann verschiedenartige Ursachen haben und zeichnet sich oft durch Fischgrätenmuster auf der Lauffläche ab.



Abbildung 6-60: Fischgrätenmuster (rote Linie = Messkreisdurchmesser, Höhe Bildausschnitt ca. 70 mm)

Bei der Ausbröckelung lösen sich aus der Lauffläche Materialteile heraus. Die Ränder verlaufen meist scharfkantig zur Lauffläche. Ausbröckelungen treten vorwiegend im mittleren Laufflächenbereich auf und können einzeln oder mehrfach über den Umfang verteilt auf der Lauffläche sein.

Ausbröckelungen sind nicht mit Flachstellen zu verwechseln (siehe Abschnitt 6.6.2.5).



Abbildung 6-61: Ausbröckelung



Abbildung 6-62: Ausbröckelung

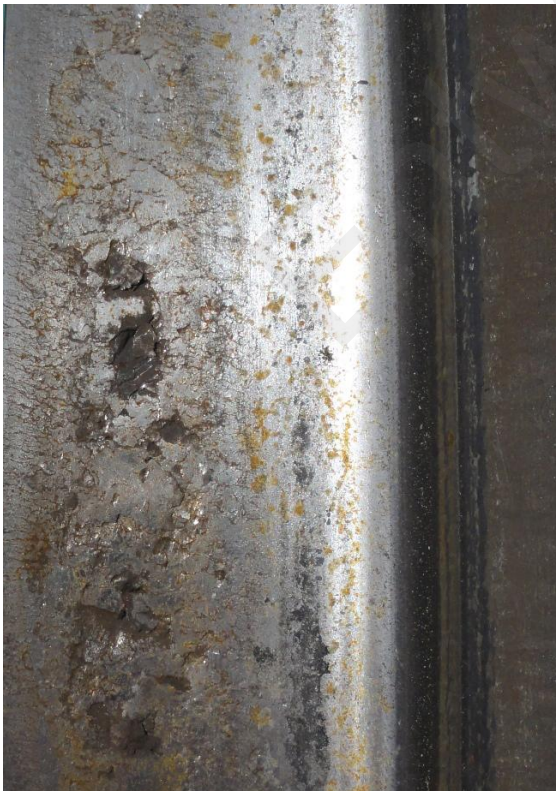


Abbildung 6-63: Ausbröckelung

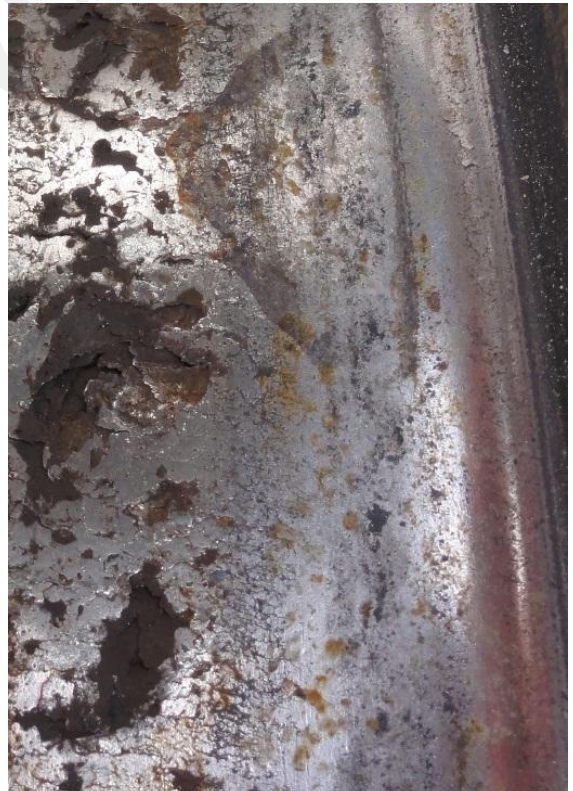


Abbildung 6-64: Ausbröckelung



Es wird die Länge der Ausbröckelung bewertet. Ausbröckelungen, welche die nachfolgend genannten Werte überschreiten, sind im Betrieb nicht zulässig:

| Fahrzeug-<br>typ | zulässige Rad-<br>satzlast m [t] | m ≤ 18  |               | 18 < m ≤ 20 |               |               | 20 < m ≤ 22.5 |               |               | Quelle      |
|------------------|----------------------------------|---------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
|                  | v [km/h]                         | v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 | v ≤ 120     | 120 < v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 | v ≤ 120       | 120 < v ≤ 160 | 160 < v ≤ 200 |             |
|                  | Rad-Ø [mm]                       |         |               |             |               |               |               |               |               |             |
| alle             | 1000 < d                         | 80      | 60            | 80          | 60            | 50            | 80            | 60            | 50            | SN EN 15313 |
|                  | 840 < d ≤ 1000                   | 60      | 50            | 60          | 50            | 35            | 60            | 50            | 35            | SN EN 15313 |
|                  | 630 < d ≤ 840                    | 40      | 30            | 40          | 30            | 25            | 40            | 30            | 25            | SN EN 15313 |
|                  | 550 < d ≤ 630                    | 35      | 25            | –           | –             | –             | –             | –             | –             | SN EN 15313 |
|                  | d < 550                          | 30      | –             | –           | –             | –             | –             | –             | –             | SN EN 15313 |
| Güter-<br>wagen  | 840 ≤ d                          | 60      | –             | 60          | 60            | –             | 60            | 60            | –             | AVV         |
|                  | 630 < d ≤ 840                    | 40      | –             | 40          | 40            | –             | 40            | 40            | –             | AVV         |
|                  | d < 630                          | 35      | –             | 35          | 35            | –             | 35            | 35            | –             | AVV         |

Tabelle 6-23: Maximal im Betrieb zulässigen Länge von Ausbröckelungen [mm] nach verschiedenen Quellen

–: Keine Anwendung bekannt.

### Vorgabe für den Grenzwert von Ausbröckelungen

| Fahrzeug-<br>bauart | Raddurchmesser d<br>[mm] | max. zulässige<br>Länge L [mm] <sup>a)</sup> | max. zulässige Dimension<br>Tiefe x Breite [mm] |
|---------------------|--------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Güter-<br>wagen     | 840 ≤ d                  | 60                                           | 2 x 20                                          |
|                     | 630 < d ≤ 840            | 40                                           | 2 x 15                                          |
|                     | d < 630                  | 35                                           | 2 x 15                                          |
| Reisezug-<br>wagen  | –                        | 60                                           | –                                               |

Tabelle 6-24: Vorgaben für den Grenzwert von Ausbröckelungen

a) Geringere Werte für im Betrieb zugelassene Ausbröckelungen können vom Fahrzeughalter festgelegt werden.

Die vorgeschlagenen Grenzwerte basieren auf den aktuellen Grenzwerten gemäss Fehlerkatalog BAV. Oberhalb dieser Grenzen muss mit einer Schädigung von Infrastruktur und Fahrzeug gerechnet werden.

Die Auswirkungen auf den Fahrkomfort sind nicht berücksichtigt. Je nach Fahrzeugtyp kann der Fahrkomfort bereits bei wesentlich kleineren Schäden massiv beeinträchtigt werden. Aus diesem Grund wird eine Ausbröckelung von bis zu 60 mm Länge wohl kaum in der Praxis an Reisezugwagen oder an Triebfahrzeugen im Betrieb akzeptiert werden. Es wird empfohlen, dass der Fahrzeughalter für die Praxis angepasste Grenzwerte definiert, die unter den Vorgaben der oben aufgeführten Empfehlung liegen. Unabhängig von der Grösse einer Ausbröckelung soll eine Behandlung solcher Schäden so rasch wie möglich erfolgen. Dies besonders deshalb, weil der längere Einsatz solcher Radsätze zu Folgeschäden an Radsatzlagerung und Federung führen kann.



### 6.6.2.7 Spurkranzkuppe

Geometrische Fehler wie Materialverschiebungen und Materialfehlstellen im Bereich der Spurkranzkuppe müssen bewertet werden.

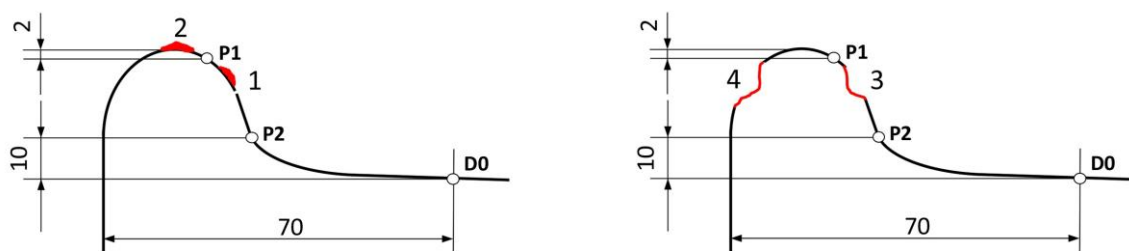


Abbildung 6-65: Fehler am Spurkranz

#### Materialverschiebungen

Materialverschiebungen oberhalb des Messpunktes P1 für das  $q_R$ -Mass sind zulässig, wenn das  $q_R$ -Mass grösser als 6.5 ist (Abbildung 6-65 Stelle 2).

Materialverschiebungen innerhalb des Messbereichs P1 – P2 für das  $q_R$ -Mass sind nur zulässig, wenn sie die korrekte Messung des  $q_R$ -Masses nicht beeinflussen (Abbildung 6-65 Stelle 1).

Wenn die  $q_R$ -Messung beeinflusst wird, ist die Materialverschiebung örtlich z.B. mittels Feile zu entfernen und das  $q_R$ -Mass zu messen. Bei genügend grossem  $q_R$ -Mass kann dem Fahrzeug eine zu definierende Restlaufleistung bis zum nächsten R0 zugestanden werden.

#### Materialfehlstellen

Materialausbrüche im Spurkranz sind nicht zulässig (Abbildung 6-65 Stellen 3 und 4).

### 6.6.2.8 Beurteilung der Lauffläche von Radsätzen

Bei der visuellen Beurteilung von Laufflächen können mit einer gewissen Erfahrung bereits Rückschlüsse auf die weitere Einsatzdauer des Rades gemacht werden. Die Beurteilung ist jedoch stets vom Fahrzeugtyp, vom verwendeten Radsatzmaterial und des Fahrzeugeinsatzes abhängig. Für genaue Prognosen braucht es viel Erfahrung. Bei der Bewertung ist mit grosser Sorgfalt vorzugehen, da eine falsche Beurteilung unter Umständen im weiteren Betrieb grössere Schäden am Radsatz verursachen kann.

Die nachfolgenden Ausführungen sollen bei der Beurteilung helfen und einen Anhaltspunkt beim Auftreten von besonderen Erscheinungen auf der Lauffläche geben. Sie sind jedoch weder vollständig noch abschliessend.

Für die Beurteilung von Flachstellen und Ausbröckelungen bezüglich deren Zulässigkeit im Betrieb ist der Abschnitt 6.6.2.5 sowie 6.6.2.6 massgebend.

Von Vorteil ist bei allen auftretenden Fehlern aus dem Bereich Flachstellen, Ausbröckelungen und Rissen durch Rollkontaktermüdung (RCF-Risse) auf der Lauffläche die baldmögliche Beseitigung durch eine Reprofilierung, unabhängig davon, ob bereits ein Betriebsgrenzmass erreicht wurde. Alle diese Fehler bewirken in der Regel eine Unrundheit des Rades, was im Betrieb über die dynamischen Kräfte zur Verschlechterung des aktuellen Zustandes und zur weiteren Schädigung der Lauffläche sowie zu Komforteinbussen führt.

#### 6.6.2.8.1 RCF-Risse («Rolling Contact Fatigue» bzw. Fischgrätmuster)

Mit der Einführung von scheibengebremsten Radsätzen wurde häufiger die Erscheinung von kleinen Rissen auf der Lauffläche festgestellt, die in fischgrätartig ausgerichteter Form auftreten. Im Gegensatz zum bekannten Rissmuster bei klotzgebremsten Rädern («Krötenhaut»), wo die Risse durch Wärmeeinwirkung vom Bremsen entstehen, handelt es sich bei den fischgrätartigen Rissen um ermüdetes Material, das ausgewalzt und nicht wie bei klotzgebremsten Rädern durch die Bremsklötze abgeschliffen wird.

Da es sich bei diesem Vorgang um eine Materialermüdung durch den Rollkontakt auf der Schiene handelt, spricht man hier von einer Rollkontaktermüdung bzw. verwendet die Abkürzung RCF für den englischen Ausdruck «Rolling Contact Fatigue» für Rollkontaktermüdung.

Das Auftreten von RCF-Rissen auf der Lauffläche ist grundsätzlich unproblematisch, solange nicht gleichzeitig Ausbröckelungen vorhanden sind. RCF-Risse mit Ausbröckelungen treten besonders dann in Erscheinung, wenn vorgängig RCF-Risse in der am meisten beanspruchten Zone der Lauffläche (Messkreisebene) vorhanden waren. Laufflächen mit RCF-Rissen ausserhalb der Messkreisebene deuten darauf hin, dass die natürliche Raddurchmesserabnutzung gross genug ist, um die laufend entstehenden RCF-Risse herauszuarbeiten. Das Auftreten von RCF-Rissen wird in Zonen klassifiziert und kann Rückschlüsse auf das Laufverhalten des betroffenen Radsatzes ermöglichen (siehe Abbildung 6-68).

Fortgeschrittene RCF-Schädigung mit gleichzeitigen Ausbröckelungen führt zu Radunrundheiten und letztendlich stark anwachsenden Ausbröckelungen von Material. Durch frühzeitiges Abdrehen des geschädigten Materials kann den Ausbröckelungen vorgebeugt werden.

Tiefer gehende Risse können unter Umständen zum Bruch der Radscheibe oder des Radreifens führen.



Abbildung 6-66: RCF-Risse



Abbildung 6-67: Krötenhaut

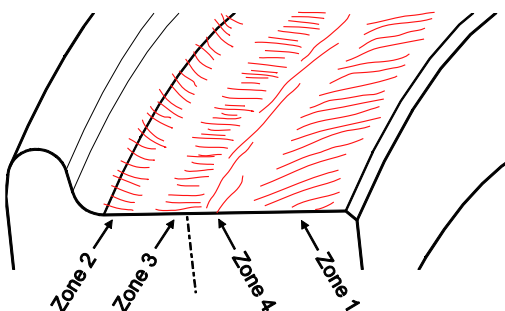


Abbildung 6-68: Einteilung der RCF-Zonen auf der Lauffläche

### 6.6.2.8.2 Radsätze mit Bremsscheiben

Bei Radsätzen mit Bremsscheiben kommt es auf den Laufflächen zu Ausbildungen, die bei Radsätzen mit Klotzbremsen nicht in dieser Form oder Ausprägung bekannt sind.



#### **Laufnabe mit Scheibenbremse** **RCF-Risse auf der Lauffläche.**

Der Radsatz kann problemlos weiter verkehren. Über eine allfällige präventive Reprofilierung muss auf Basis von Betriebserfahrungen entschieden werden.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-69: Laufnabe mit Scheibenbremse: RCF-Risse auf der Lauffläche.



#### **Laufnabe mit Scheibenbremse** **Lauffläche in einwandfreiem Zustand ohne erkennbare Schäden.**

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-70: Laufnabe mit Scheibenbremse: Lauffläche in einwandfreiem Zustand ohne erkennbare Schäden.





**Laufbandsatz mit Scheibenbremse**  
**RCF-Risse auf der Lauffläche mit**  
**beginnender Ausbröckelung des**  
**überwalzten Materials.**

Der Radsatz kann in Betrieb bleiben, wird aber keine grosse Laufleistung mehr erbringen. Allenfalls ist über ein präventives Reprofilieren zu entscheiden, um das geschädigte Material abzutragen.

Massnahmen:

- weiterfahren
- je nach Betriebserfahrung Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-71: Laufbandsatz mit Scheibenbremse: RCF-Risse auf der Lauffläche mit beginnender Ausbröckelung des überwalzten Materials.



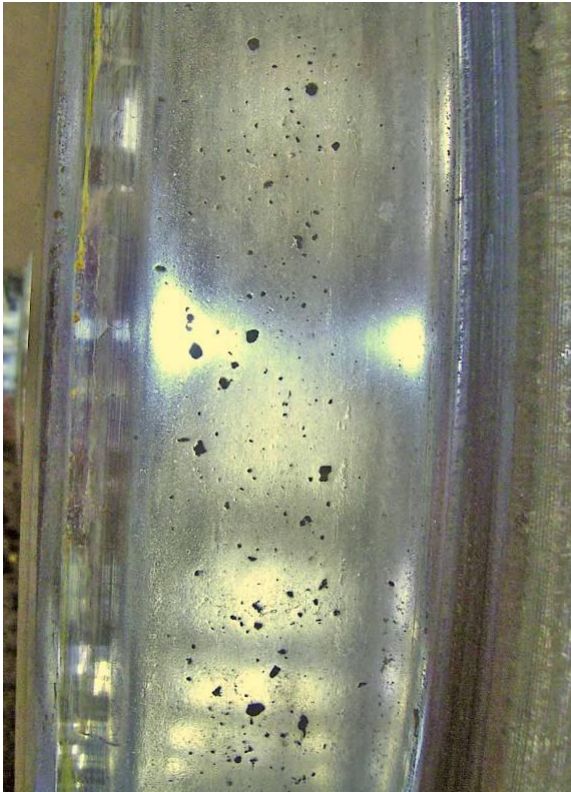
**Laufbandsatz mit Scheibenbremse**  
**Ausbröckelungen durch Marten-**  
**sitbildung infolge Gleitens beim**  
**Bremsen.**

Der Radsatz kann in Betrieb belassen werden, sofern die Ausbröckelungen keinen negativen Einfluss auf den Fahrkomfort haben.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-72: Laufbandsatz mit Scheibenbremse: Ausbröckelungen durch Martensitbildung infolge Gleitens beim Bremsen.



**Laufbandsatz mit Scheibenbremse**  
**Grösseren Eindrückungen, vermutlich durch das Überfahren von Steinen oder Schotter auf Baustellen entstanden.**

Der Radsatz sollte abhängig vom Einsatz des Fahrzeuges reprofiliert werden.

Massnahmen:

- weiterfahren
- Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-73: Laufbandsatz mit Scheibenbremse: Grösseren Eindrückungen, vermutlich durch das Überfahren von Steinen oder Schotter auf Baustellen entstanden.



**Triebbandsatz mit Scheiben-**  
**bremse**

**«Sternenhimmel»-Muster auf der Lauffläche (Eindrückungen durch Sand).**

Der Radsatz kann ohne Probleme in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-74: Triebbandsatz mit Scheibenbremse: «Sternenhimmel»-Muster auf der Lauffläche (Eindrückungen durch Sand).

**Triebradsatz mit Scheibenbremse**

**Linienförmige, kurze Riefen, hervorgerufen durch Sand und Schlupf des Rades.**

Der Radsatz kann ohne Probleme in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-75: Triebradsatz mit Scheibenbremse: Linienförmige, kurze Riefen, hervorgerufen durch Sand und Schlupf des Rades.

**Triebradsatz mit Scheibenbremse**

**Ausbröckelungen durch RCF-Risse.**

Der Radsatz muss demnächst reprofiliert werden.

Massnahmen:

- weiterfahren, sofern aus Komfortgründen noch tragbar und kein Betriebsgrenzmass bezüglich Ausbröckelungen verletzt werden
- baldige Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-76: Triebradsatz mit Scheibenbremse: Ausbröckelungen durch RCF-Risse.





#### **Laufadsatz mit Scheibenbremsen**

**Laufadsatz mit hoher Radsatzlast (Schienenkran). Auf der Lauf-  
fläche löst sich bereits folienartig  
ausgewalztes Material als Folge  
fortgeschrittener RCF-Schädi-  
gung und als Vorankündigung für  
bald ein-setzendes Ausbröckeln.**

Der Radsatz muss in absehbarer  
Zeit reprofiliert werden.

Massnahmen:

- weiterfahren
- baldige Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-77: Laufadsatz mit Scheibenbremsen: Laufadsatz mit hoher Radsatzlast (Schienenkran).



#### **Laufadsatz mit Scheibenbremsen**

**Materialauftragung durch feste  
Bremse während der Fahrt.**

Der Radsatz muss behandelt  
werden.

Massnahmen:

- Radsatz reprofilieren

Abbildung 6-78: Laufadsatz mit Scheibenbremsen: Materialauftragung durch feste Bremse während der Fahrt.

### **6.6.2.8.3 Klotzgebremste Radsätze mit Grauguss-Sohlen**





**Laufradsatz mit Grauguss-Bremssohlen**

**Lauffläche in einwandfreiem Zustand ohne erkennbare Schäden.**

Der Radsatz kann ohne Probleme in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-79: Laufradsatz mit Grauguss-Bremssohlen: Lauffläche in einwandfreiem Zustand ohne erkennbare Schäden.



**Triebradsatz mit Gusssohlen**  
**Wärmerisse vom Bremsen und Materialverschiebung durch Traktionskräfte, ein Ansatz zur Polygonisierung ist vorhanden (Scheckenmuster).**

Der Radsatz kann in Betrieb bleiben, auf Basis von Betriebserfahrungen und bisher erbrachter Laufleistung ist über ein präventives Reprofilieren zu entscheiden.

Massnahmen:

- weiterfahren
- je nach Betriebserfahrung Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-80: Triebradsatz mit Gusssohlen: Wärmerisse vom Bremsen und Materialverschiebung durch Traktionskräfte, ein Ansatz zur Polygonisierung ist vorhanden (Scheckenmuster).



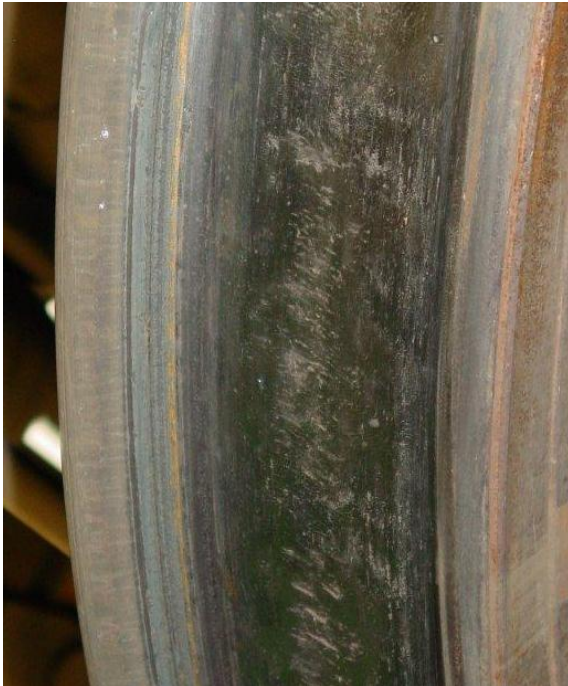
**Triebradsatz mit Gusssohlen**  
**Risse und Ausbröckelungen durch Materialermüdung und ggf. Bremsflecken.**

Der Radsatz muss demnächst reprofiliert werden.

Massnahmen:

- sofern aus Komfortgründen noch tragbar und kein Betriebsgrenzmass bezüglich Ausbröckelungen verletzt wird geringe Restlaufleistung zugestehen (ca. 1 Woche)
- baldige oder unverzügliche Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-81: Triebradsatz mit Gusssohlen: Risse und Ausbröckelungen durch Materialermüdung.



**Triebradsatz mit Gusssohlen**  
**Querrisse auf der Lauffläche**  
**durch Traktions- und Brems-**  
**kräfte.**

Je nach Beurteilung der Risse muss der Radsatz überdreht werden oder kann so wieder in den Betrieb.

Massnahmen:

- weiterfahren
- je nach Betriebserfahrung  
Reprofilierung einplanen

Abbildung 6-82: Triebradsatz mit Gusssohlen: Querrisse auf der Lauffläche durch Traktions- und Bremskräfte.



**Triebradsatz mit Gusssohlen**  
**Scheckenmuster durch begin-**  
**nende Polygonisierung und damit**  
**nicht mehr vollständig über-**  
**schleifender Bremssohle.**

Der Radsatz kann ohne Probleme in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-83: Triebradsatz mit Gusssohlen: Scheckenmuster durch beginnende Polygonisierung und damit nicht mehr vollständig überschleifender Bremssohle.



#### 6.6.2.8.4 Klotzgebremste Radsätze mit Kunststoff-Sohlen



**Triebradsatz mit K-Sohlen**  
**Kleine Eindrückung mit Schleifspuren der K-Sohle.**

Die Lauffläche ist in einwandfreiem Zustand.

Massnahmen:

- weiterfahren

Abbildung 6-84: Triebradsatz mit K-Sohlen: Kleine Eindrückung mit Schleifspuren der K-Sohle.



**Lauftradsatz mit K-Sohlen**  
**RCF-Schäden und Ausbröckelung durch verschleppten Schaden aus Gleitvorgängen.**

Massnahmen:

- Ausbröckelung beurteilen
- Radsatz reprofilieren

Abbildung 6-85: Lauftradsatz mit K-Sohlen: RCF-Schäden und Ausbröckelung durch verschleppten Schaden aus Gleitvorgängen.



**Laufbandsatz mit K-Sohlen**  
**Einschleifspuren (Mulden) der**  
**K-Sohlen (bei den roten Pfeilen).**

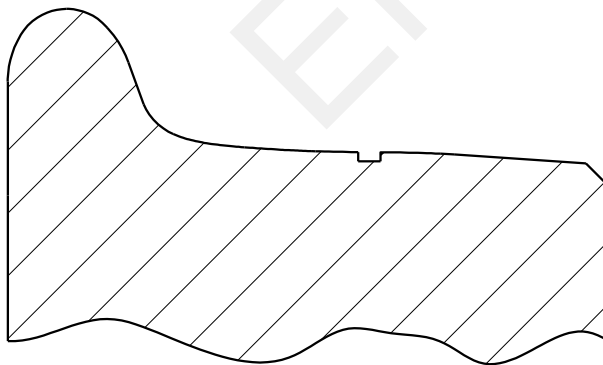
**Massnahmen:**

- Einlaufspuren beurteilen, weiterfahren
- Reibfläche der K-Sohlen kontrollieren, gegebenenfalls egalisieren oder ersetzen
- bei massiven Einlaufspuren Radsatz reprofilieren (Mulden-tiefe > 2 mm)

Abbildung 6-86: Laufbandsatz mit K-Sohlen: Einschleifspuren (Rillen) der K-Sohlen.

Bei klotzgebremsten Radsätzen mit Kunststoff-Sohlen treten bisher nicht in diesem Ausmass bekannte Verschleisserscheinungen auf. Dabei handelt es sich um Rillen- und Muldenbildung auf der Lauffläche.

Die Rillenbildung wird vor allem durch Fremdkörpereinschlüsse in der Bremssohle verursacht, die Muldenbildung durch die verschleissfesteren Randzonen der Bremssohlen. Zur Beurteilung der Bremssohlen ist der Schadenskatalog V-BKS der UIC massgebend.



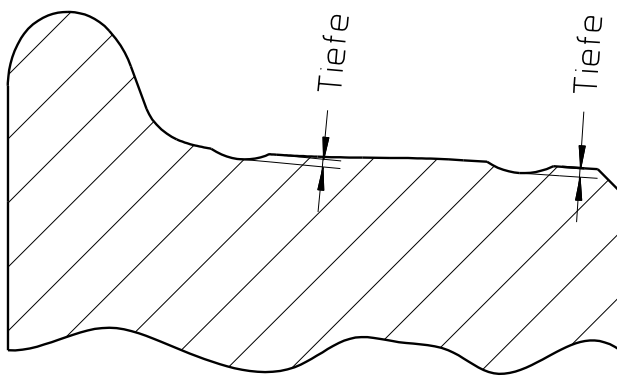
**Beliebiger Radsatz mit K-Sohlen**

**Die Lauffläche weist eine oder mehrere Rillen mit scharfkantigen Übergängen auf. Die Rillen treten umlaufend auf dem gesamten Radumfang auf und können auf der gesamten Laufflächenbreite mehrfach vorliegen.**

**Massnahmen:**

- Radsatz reprofilieren
- Reibfläche der K-Sohlen kontrollieren, gegebenenfalls egalisieren oder ersetzen

Abbildung 6-87: Laufbandsatz mit K-Sohlen: Rillenbildung auf der Lauffläche des Rades.

**Beliebiger Radsatz mit K-Sohlen**

Die Lauffläche weist eine oder mehrere Mulden mit ausgerundeter Kontur ohne scharfkantige Übergänge auf. Die Mulden treten umlaufend auf dem gesamten Radumfang und partiell über die Laufflächenbreite auf. Eine Mulde übersteigt in der Regel eine Breite von 40 bis 50 mm nicht.

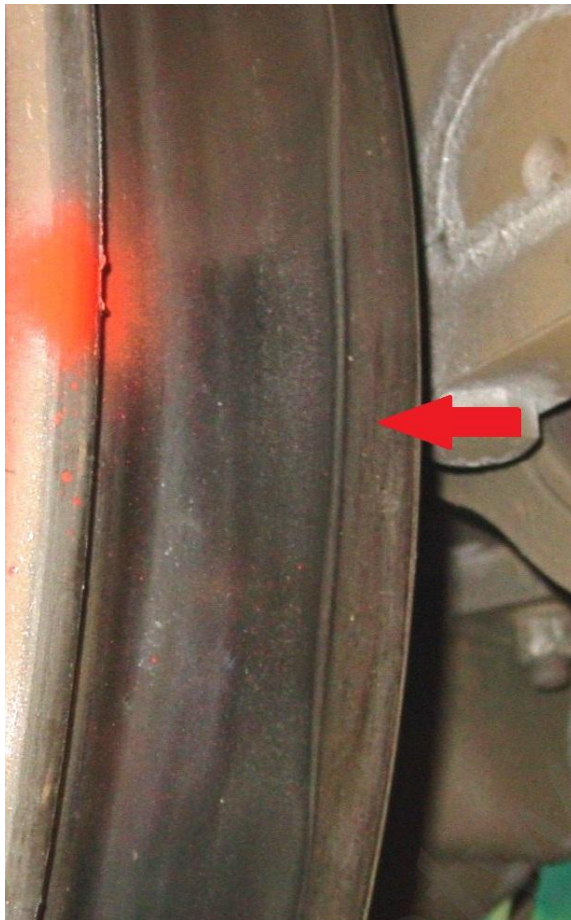
Massnahmen:

- Muldentiefe beurteilen
- Muldentiefe grösser 2 mm: Radsatz reprofiliert
- Muldentiefe kleiner 2 mm: weiterfahren

Abbildung 6-88: Laufradsatz mit K-Sohlen: Muldenbildung auf der Lauffläche des Rades.



#### 6.6.2.8.5 Weitere Laufflächenfehler



##### **Beliebiger Radsatz**

**Singuläre Abplattung (beim roten Pfeil) durch Materialfehler. Das Material ist an einer Stelle weich, es bildet sich eine Art Flachstelle, jedoch ohne Materialabtrag.**

Massnahmen:

- Bei erkennbaren Schäden an Radsatzlager und Primärstufe verursacht durch die singuläre Abplattung (z.B. lose Schrauben, ausgelaufene hydraulische Dämpfer, gebrochene Federn, geschmolzene Gummilager) ist der Radsatz auszubauen und der Aufarbeitung zuzuführen (mindestens IS1 mit Härteprüfung).

Sind keine weiteren Schäden ausser der singulären Abplattung erkennbar:

- Radsatz reprofilieren
- Härteprüfung ausführen
- Gegebenenfalls ist der gesamte Radreifen oder das Vollrad zu ersetzen.

Abbildung 6-89: Singuläre Abplattung durch Materialfehler

**Beliebiger Radsatz**

**Singuläre Abplattung mit Ausbröckelungen durch Materialfehler (die rote Linie entspricht der ursprünglichen Kontur). Das Material ist an einer Stelle weicher und verformt sich plastisch gegen die Stirnseite. Es ergibt sich an dieser Stelle eine Verbreiterung des Rades.**

Massnahmen:

- Radsatz reprofiliert
- Härteprüfung ausführen
- Gegebenenfalls ist der gesamte Radreifen oder das Vollrad zu ersetzen.

Abbildung 6-90: Singuläre Abplattung mit Ausbröckelungen durch Materialfehler

**Triebradsatz mit Scheibenbremsen**

**Gut sichtbare Ausbildung von regelmässigen Radunrundheiten (Polygonbildung) ausserhalb des Laufkreisdurchmessers, z.B. auf Grund von engen Kurven.**

Massnahmen:

- weiterfahren
- Radsatz reprofilierten, wenn die Beurteilung des Fahrkomforts es erfordert.

Abbildung 6-91: Triebradsatz mit Scheibenbremsen: Gut sichtbare Ausbildung von regelmässigen Radunrundheiten (Polygonbildung) ausserhalb des Laufkreisdurchmessers.

#### 6.6.2.8.6 Zustand des Radrückens

Am Radrücken können Verschleissformen auftreten, die bei der Durchfahrt durch Weichen und damit durch Kontakt mit der Leitschiene entstehen. In der Regel handelt es sich dabei um eine relativ grobe Aufrauhung der Oberfläche durch trockenen Reibkontakt von Metall auf Metall. Insbesondere die Leitschienen von Kreuzungsweichen können dabei Verschleissspuren über die gesamte Radrückenfläche verursachen.

Soweit dabei keine scharfkantigen Einkerbungen im Bereich der Spurkranzkuppe oder des Radrückens verursacht werden kann der Radsatz ohne Einschränkungen im Betrieb bleiben. Bei Verdacht auf übermässigen Verschleiss ist das  $A_R$ -Mass zu kontrollieren.



Abbildung 6-92: Radrückenverschleiss über den halben Radrücken an einem Triebzug



Abbildung 6-93: Radrückenverschleiss über den ganzen Radrücken an einer Rangierlok



Abbildung 6-94: Einkerbungen am Radrücken, verursacht durch streckenseitige Fehler (z.B. defekte Radlenker). Die abgebildeten Einkerbungen sind zulässig, da nicht scharfkantig.



### 6.6.2.9 Zustand der Radsatzwelle

Um stets den betriebssicheren Zustand von Radsatzwellen zu gewährleisten sind diese anlässlich der Kontrollarbeiten in den vorgegebenen Intervallen visuell zu prüfen. Dieser Abschnitt soll als ein Leitfaden zur Beurteilung dienen und basiert auf dem EVIC-Katalog für Güterwagenradsätze bzw. der SN EN 15313, gilt hier jedoch für alle Radsatztypen. Bei der visuellen Beurteilung ist sicher zu stellen, dass die Oberfläche der Radsatzwellen so weit als möglich mit ausreichender Beleuchtung besichtigt werden kann.

Bei einem Befund wird zwischen vier möglichen Aktionen unterschieden:

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen
- Ⓑ Radsatz innerhalb der nächsten 14 Tage in einer Werkstatt behandeln, der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen
- Ⓒ Radsatz bis zur nächsten Revision in Betrieb lassen oder den Schaden vor Ort in einer Werkstatt reparieren
- Ⓓ Radsatz bleibt ohne Auflagen in Betrieb

Der nachfolgende Fehlerkatalog stellt beispielhafte Schadensfälle und den dazu passenden Entscheid dar. Er erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und rechtliche Sicherheit.

#### 6.6.2.9.1 Übergangsbogen

Grundsätzlich gilt, dass die Zone des Übergangsbogens zwischen Wellenschaft und Radscheibensitz frei von mechanischen Fehlern des Grundmaterials sein muss (siehe Abbildung 9-1 Zone A). Kerben, umlaufende Riefen, Korrosionsschäden und Risse sind nicht zulässig. Ein Radsatz mit mechanischen Schäden im Übergangsbogen muss unverzüglich aus dem Betrieb genommen werden.

#### 6.6.2.9.2 Keine oder zulässige Defekte an der Wellenoberfläche – geringe Vernarbung

Narbenbildung kann entweder komplett oder teilweise umlaufend vorkommen und ist charakterisiert durch sanfte Übergänge ohne scharfe Kanten. Dieser Typ Muldenbildung kann im Laufe von Instandhaltungsarbeiten entstehen. Die Beschichtung ist unbeschädigt.

Entscheid: Vernarbte Radsatzwellen mit unbeschädigter Beschichtung können im Fahrzeug bleiben.

- Ⓓ Radsatz bleibt ohne Auflagen in Betrieb

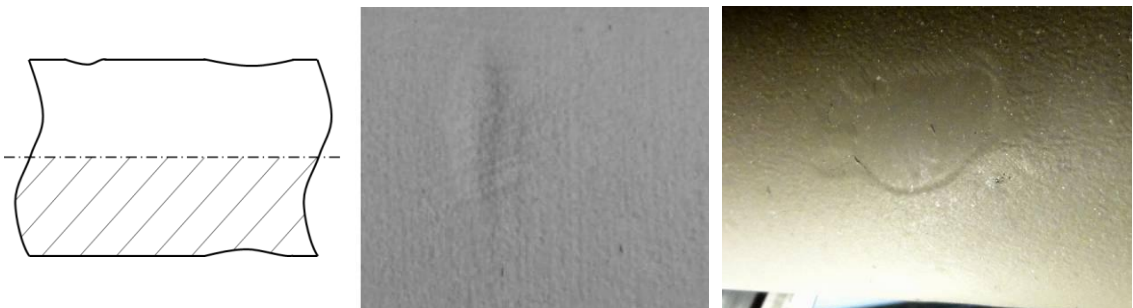


Abbildung 6-95: Vernarbte Radsatzwellen mit unbeschädigter Beschichtung

### 6.6.2.9.3 Mechanische Beschädigungen – scharfkantige umlaufende Rillen

Rillen zeichnen sich durch scharfkantige umlaufende Übergänge aus. Mechanische Beschädigung des Basismaterials in Form von Rillen ist unzulässig.

Entscheid: Am Wagen die Ursache für diese Beschädigung überprüfen und entsprechend reparieren. Radsatz aus dem Betrieb nehmen.

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen



Abbildung 6-96: Mechanische Beschädigungen – scharfkantige umlaufende Rillen

### 6.6.2.9.4 Mechanische Beschädigungen – umlaufende Mulden mit sanften Übergängen

Zeichnet sich durch sanfte Übergänge an den Kanten aus. Vernarbung, die im Betrieb entsteht (z.B. durch Bremshebelverbinder) führt zu einer Beschädigung der Beschichtung.

Entscheid: Am Wagen die Ursache für diese Beschädigung überprüfen und entsprechend reparieren.

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen, wenn die Beschädigung des Basismaterials tiefer als 1 mm ist.
- Ⓑ Radsatz innerhalb 14 Tagen in einer Werkstatt behandeln, wenn die Beschädigung geringer als bei Fall Ⓐ ist, der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen.



Abbildung 6-97: Mechanische Beschädigungen – umlaufende Mulden mit sanften Übergängen



#### 6.6.2.9.5 Mechanische Beschädigungen – scharfkantige Kerben

Scharfkantige Kerben treten lokal auf und zeichnen sich durch scharfkantige Übergänge aus. Ursache dafür ist in der Regel Schotterflug. Die mechanische Beschädigung des Basismaterials durch Kerben ist unzulässig.

Entscheid: Radsatz aus dem Betrieb nehmen

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen, wenn die Beschädigung des Basismaterials tiefer als 1 mm ist.
- Ⓑ Radsatz innerhalb 14 Tagen in einer Werkstatt behandeln, wenn die Beschädigung geringer als bei Fall Ⓐ ist. Der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen.



Abbildung 6-98: Mechanische Beschädigungen – scharfkantige Kerben

#### 6.6.2.9.6 Mechanische Beschädigungen – Risse

Risse treten lokal am Schaftmaterial (nicht in der Beschichtung) auf und sind als feine Linien sichtbar. Mechanische Beschädigung des Basismaterials in Form von Rissen ist unzulässig.

Entscheid: Radsatz aus dem Betrieb nehmen.

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen



Abbildung 6-99: Mechanische Beschädigungen – Risse

#### 6.6.2.9.7 Oberflächenbeschädigungen – grossflächig und stark korrodierte Bereiche

Die Oberfläche ist stark korrodiert, die Beschichtung ist von Rost unterwandert und platzt ab oder ist aufgeschwollen. Grossflächige und stark korrodierte Bereiche sind unzulässig.

Entscheid: Radsatz baldmöglichst behandeln oder aussetzen.

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen, wenn die Korrosion sehr grossflächig und weit fortgeschritten ist (Korrodierte Fläche grösser 30 % der Wellenoberfläche).
- Ⓑ Radsatz innerhalb der nächsten 14 Tage in einer Werkstatt behandeln, wenn die Schäden in eingebautem Zustand behebbar sind. Der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen.



Abbildung 6-100: Oberflächenbeschädigungen – grossflächig und stark korrodierte Bereiche

### 6.6.2.9.8 Beschichtungsschäden – mit und ohne Korrosion

Geringfügige Mängel an der Beschichtung mit und ohne Korrosion, hervorgerufen durch Schotterflug, abgeplatzte Beschichtung und andere mechanische Einflüsse.

Entscheid: Radsatz in Betrieb lassen; Schaden nach Möglichkeit vor Ort in eingebautem Zustand beheben.

- Ⓑ Radsatz innerhalb der nächsten 14 Tage in einer Werkstatt behandeln, wenn die Summe aller geschädigten Bereiche mehr als 30 % der Wellenoberfläche ausmacht. Der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen.
- Ⓒ Radsatz bis zur nächsten Revision in Betrieb lassen oder den Schaden vor Ort in einer Werkstatt reparieren.



Abbildung 6-101: Beschichtungsschäden – mit und ohne Korrosion



#### 6.6.2.9.9 Oberflächenbeschädigungen – vereinzelte tiefe Korrosionsnarben

Oberflächenbeschädigung des Basismaterials in Form von markanten, lokalen Korrosionsnarben, z.B. durch chemische Einflüsse.

Entscheid: Radsatz baldmöglichst behandeln oder aussetzen.

- Ⓐ Radsatz unverzüglich aus dem Betrieb nehmen, wenn die Korrosionsnarbe tiefer als 1 mm ist.
- Ⓑ Radsatz innerhalb der nächsten 14 Tage in einer Werkstatt behandeln, wenn die Schäden geringer als bei Fall A sind. Der Fahrzeughalter kann basierend auf seiner Erfahrung und der Laufleistung auch andere Fristen festlegen



Abbildung 6-102: Oberflächenbeschädigungen – vereinzelte tiefe Korrosionsnarben

#### 6.6.2.10 Fester Sitz des Radreifens und Sprenglings

Bei der visuellen Kontrolle am Radsatz ist bei Rädern mit Radreifen sicher zu stellen, dass der Radreifen ordnungsgemäss montiert ist und fest auf der Felge sitzt. Bei der Beurteilung von verdrehten Radreifen ist durch den Halter eine fachlich korrekte Analyse sicher zu stellen.

Radreifen, die ohne Sprengling montiert sind dürfen nicht eingesetzt werden. Räder dieser Bauart sind nur noch bei Schmalspurbahnen im Einsatz.

Der Sprengling muss vollständig eingewalzt sein, der eingewalzte Teil des Radreifens darf keine Risse aufweisen. Der Sprengling muss vollständig umlaufend sein und auf dem Nutgrund des Einstichs im Radreifen sauber anliegen. Die bei der Montage entstandene Lücke im Sprengling ist mit einem passenden Abschnitt des Sprenglingprofils, dem sogenannten Sprenglingschloss, vor dem Einwalzen aufzufüllen und zu verstemmen. Das Sprenglingschloss soll aus einem passenden Stück bestehen und nicht aus mehreren kleinen Abschnitten. Die Länge des Sprenglingschlusses sollte auf maximal 30 mm begrenzt sein.



Abbildung 6-103: Sprengring mit korrekt eingesetztem einteiligem Sprengringschloss

Radsätze mit fehlendem Sprengringschloss dürfen bis auf Weiteres im Betrieb bleiben. Sie müssen anlässlich jedes Unterhalts visuell auf Festsitz des Sprengrings kontrolliert werden. Für Radsätze mit fehlendem Sprengringschloss ist eine Fehlermeldung zu eröffnen (Eintragung in Instandhaltungsdatenbank).

Die Einwalzzone des Sprengrings ist im Betrieb visuell auf Rissfreiheit zu kontrollieren. Risse können auf eine nicht masshaltige Sprengringnut oder ein nicht passendes Sprengringprofil hinweisen. Beim Auftreten von Rissen in dieser Zone ist eine Beurteilung vor Ort durch Halter oder Hersteller notwendig.

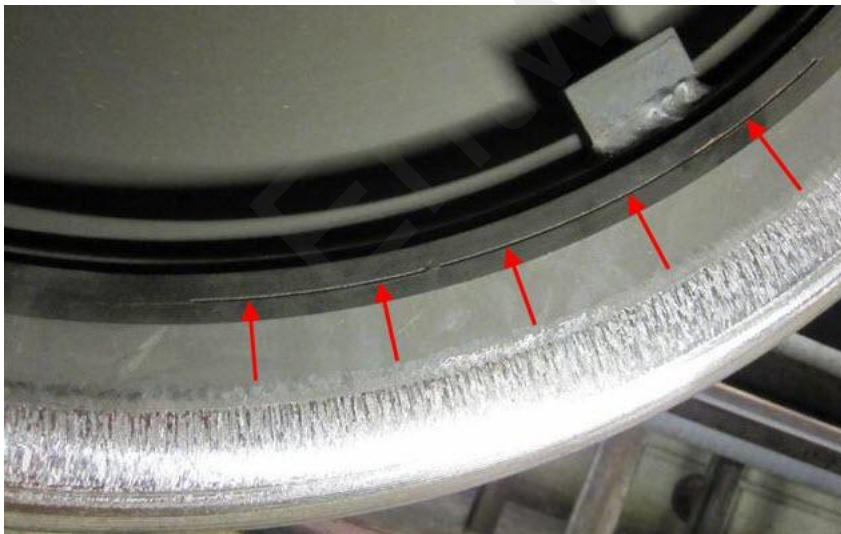


Abbildung 6-104: Risse in der Einwalzzone durch nicht masshaltige Sprengringnut

Radreifen können sich trotz korrekter Montage im Betrieb gegenüber der Felge verdrehen. Um das zu detektieren, müssen nach der Montage Verdrehmarkierungen so angebracht werden, dass mindestens eine Marke bei eingebautem Radsatz unabhängig von dessen Stellung von aussen gut sichtbar ist. Es sind zwei bis vier Markierungen am Umfang stirnseitig, gleichmässig versetzt pro Radreifen anzubringen.

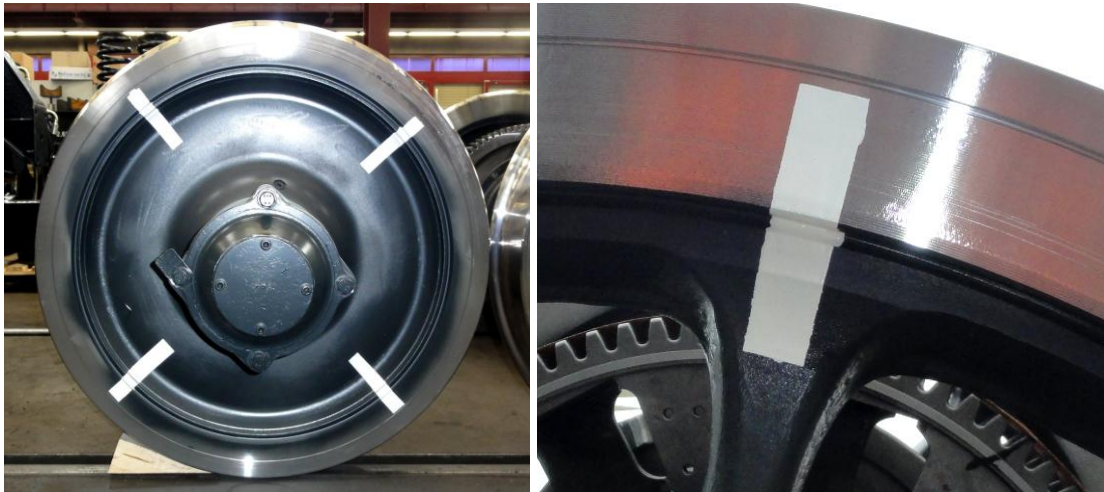


Abbildung 6-105: Markierungen am Radreifen



Abbildung 6-106: Markierungsbeispiel bei ausländischen Bahnen (ČD).

Trieb- und Laufradsätze müssen bei der Beurteilung der Verdrehung des Radreifens unterschiedlich behandelt werden. Während bei den Triebradsätzen die gesamten Traktions- und je nach Bremsbauart auch anteilig Bremskräfte über die Schrumpfungverbindung Radkörper – Radreifen übertragen werden, sind die Schrumpfungverbindungen der Laufradsätze je nach Bauart der Bremse nur durch Bremskräfte belastet.

Das führt dazu, dass zum Verdrehen eines Radreifens an einem Laufradsatz die Schrumpfungverbindung wesentlich stärker geschwächt sein muss als bei einem Triebradsatz.

Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass ein verdrehter Radreifen eines Laufradsatzes eine wesentliche Schwächung der Schrumpfungverbindung erfahren hat und im Gegensatz zu einem Triebradsatz dadurch dauerhaft geschädigt ist.

Hinweis: theoretisch betrachtet verliert ein aufgeschrumpfter Radreifen je nach Schrumpfungübermass bei einer Temperaturdifferenz gegenüber der Radkörper von ca. 90 °C (Schrumpfungübermass 1.0 ‰) bis 160 °C (Schrumpfungübermass 1.8 ‰) seine Vorspannkraft.

### **Triebradsätze**

Die Verdrehung von Radreifen an Triebradsätzen ist basierend auf den Betriebserfahrungen des Halters in gewissen Grenzen zulässig. Es kann kein allgemeiner Grenzwert für eine maximal zulässige Verdrehung angegeben werden.



Bei bestimmten Lokomotivbaureihen ist eine Art Setzvorgang der Schrumpfverbindung durch vereinzelt leichtes Verdrehen des Radreifens im Bereich weniger Winkelgrade (ca. 1° bis 2°) bei neubandagierten Rädern bekannt und unkritisch.

Damit die Erfassung mehrfach verschobener Radreifen vereinfacht wird ist die Markierung in verschiedenen Farben auszuführen, je nach Zustand des Radreifens:

Mögliches Beispiel:

- Radreifen neu aufgezogen:  
Die Markierung wird in WEISS ausgeführt.
- Erste Radreifenverschiebung:  
Der Radreifen hat sich verschoben und die weisse Markierung weist damit einen Versatz auf. Die weisse Markierung wird nicht erneuert oder entfernt, sondern eine neue Markierung in GELB angebracht, sofern der Radsatz wieder dem Betrieb übergeben wird.
- Zweite Radreifenverschiebung:  
Der Radreifen hat sich verschoben und die gelbe Markierung weist damit einen Versatz auf. Die gelbe Markierung wird nicht erneuert oder entfernt, sondern eine neue Markierung in ROT angebracht, sofern der Radsatz wieder dem Betrieb übergeben wird.
- Dritte Radreifenverschiebung:  
Der Radreifen gilt definitiv als angelöst und muss ersetzt werden. Der Radsatz darf nicht mehr in den Betrieb gehen.

### **Laufadsätze**

Bei Laufadsätzen ist ein Radsatz mit verdrehten Radreifen umgehend stillzulegen. Das betroffene Fahrzeug muss ausgesetzt und der Radsatz ausgewechselt werden. Der schadhafte Radsatz muss in einer zugelassenen Werkstatt untersucht und entsprechend behandelt oder verschrottet werden.

Bei Güterwagen im kommerziellen Einsatz wird empfohlen, keine bereiften Räder mehr zu verwenden und noch im Betrieb stehende bereifte Räder nach dem Erreichen des Verschleissminimums zu verschrotten und durch Vollräder zu ersetzen.

Ungebremste bereifte Laufadsätze wie sie z.B. als Vorlaufadsatz an historischen Fahrzeugen im Einsatz stehen werden nicht mit einer Verdrehmarkierung versehen.

### **Allgemeingültig**

Weitere Merkmale zur Kontrolle auf einen festen Radreifensitz:

- Unreiner Klang bei leichtem Anschlagen mit einem Stahlhammer am Radreifen.  
Hinweise zur Klangprobe (siehe auch Abschnitt 6.6.2.14):
  - Heller, metallisch reiner Klang = Radreifen sitzt fest.
  - Stumpfer Klang = Radreifen ist lose oder angelöst.
- Lockerer Sitz des Sprenglings.
- Rostaustritt auf mehr als 1/3 Umfang des Radreifens.
- Schaden am Sprengling, z.B. Riss oder Bruch.
- Riss, Bruch oder sichtbare Beschädigung am Radreifen.

Sind trotz korrekter Verdrehmarkierungen ohne Anzeichen einer Verdrehung mindestens 2 Kriterien der oben genannten weiteren Merkmale zur Kontrolle auf einen festen Radreifensitz erfüllt muss der Radsatz gleich behandelt werden wie ein Radsatz mit offensichtlich losem Radreifen und ausgesetzt werden.

Bei Trieb- und Laufadsätzen ist das Schweissen an Radreifen oder das Fixieren von Radreifen auf Radkörpern mittels Schweissen grundsätzlich verboten.



Abbildung 6-107: Spanbildung am Sprengring durch verdrehten Radreifen



Abbildung 6-108: Verdrehter Radreifen; erkennbar an den Markierungen

#### 6.6.2.11 Fester Sitz der Radscheibe auf der Radsatzwelle

Der feste Sitz der Radscheibe auf der Radsatzwelle wird in der Regel durch eine visuelle Kontrolle der Fügestelle der Radnabe beurteilt. Es sind keine besonderen Kennzeichnungen vorzusehen.

Ein Austritt von Rost an der Radnabe weist auf Probleme innerhalb der Fügestelle hin. Ein Radsatz mit solchen Merkmalen ist nicht mehr in den Betrieb zu geben, er muss der Aufarbeitung zugeführt werden.

In Ausnahmefällen kann es vorkommen, dass sich die Radscheibe im Betrieb auf der Radnabe verdreht. Ist dies der Fall, kann durch verschiedene Instanzen angeordnet werden, eine Verdrehmarkierung zwischen Radsatzwelle und Radscheibe bei den Radsätzen der betroffenen Bauart oder Fahrzeugflotte anzubringen. Diese Verdrehmarkierung ist ähnlich wie bei den Radreifen mittels Farbe aufzubringen und visuell zu kontrollieren. Ein Radsatz mit verdrehten Radscheiben darf nicht in den Betrieb gehen, er muss der Aufarbeitung zugeführt werden. Auch geringste Verdrehungen sind nicht zulässig.

Diese Markierungen stellen einen Sonderfall dar und sind nicht allgemein anzuwenden.



Abbildung 6-109: Beispiel Verdrehmarkierung an Güterwagenradsatz (Seite Wellenschaft, mit nicht zulässigem Datenband)



Abbildung 6-110: Beispiel Verdrehmarkierung an Lokomotivradsatz (Seite Radsatzlager)

### 6.6.2.12 Beurteilung Fettaustritt an Radsatzlager

An Radsatzlagern kann es zu Fettaustritt von unterschiedlichem Ausmass kommen. Ab einem gewissen Mass von Fettaustritt ist das Radsatzlager einer Kontrolle zu unterziehen. Die genauen Grenzen beim Fettaustritt sind nicht klar definierbar. Zur Unterstützung bei der Beurteilung dienen nachfolgende Bilder. Gleitlager werden bei dieser Beurteilung nicht berücksichtigt.



Abbildung 6-111: Fettaustritt an Radsatzlager

#### **Beliebiger Radsatz** **Herausgedrückte Fettwurst am Lagerdeckel durch unsaubere Montage.**

Der Radsatz kann in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- ausgetretenes Fett entfernen, Bereich grob säubern
- weiterfahren



Abbildung 6-112: Fett-Minimalaustritt aus Entlüftungsbohrung bei Kartuschenlager

#### **Kartuschenlager** **Fett-Minimalaustritt aus Entlüftungsbohrung bei Tarol-Lager.**

Der Radsatz kann in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- weiterfahren

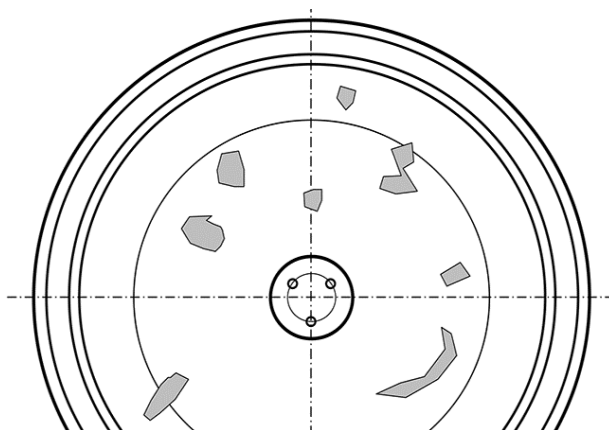


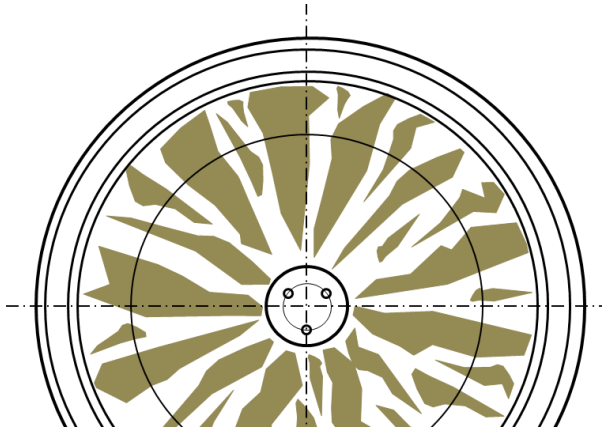
Abbildung 6-113: Einzelne Fettschmier auf der Radscheibe

#### **Beliebiger Radsatz** **Einzelne Fettschmier auf der Radscheibe.**

Der Radsatz kann in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Fettschmier beseitigen
- weiterfahren



### **Beliebiger Radsatz**

**Ölspuren auf der Radscheibe.  
Das Öl kommt aus dem Radsatz-  
lagergehäuse.**

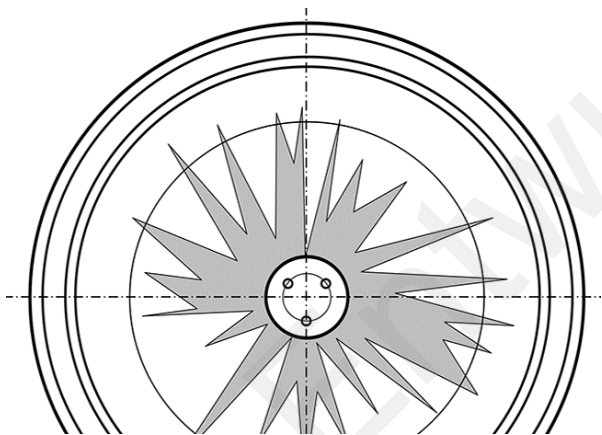
Der Radsatz darf nicht mehr in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Visuelle Kontrolle des Lagerfetts, bei ausgeblutetem Lagerfett Radsatz ausbauen und der Aufarbeitung zuführen

Flachstellen und singuläre Abplattungen können zu hohen Beschleunigungen und damit zum Ausbluten des Lagerfetts führen.

Abbildung 6-114: Ölspuren auf der Radscheibe, von der Nabe ausgehend



### **Beliebiger Radsatz**

**Umlaufende Fettspuren auf der  
Radscheibe mit sternförmiger  
Ausbreitung von der Nabe ausgehend.**

Der Radsatz darf nicht mehr in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Radsatz ausbauen und der Lageraufarbeitung zuführen

Abbildung 6-115: Umlaufende Fettspuren auf der Radscheibe mit sternförmiger Ausbreitung von der Nabe ausgehend.



### **Beliebiger Radsatz**

**Auslaufen und Herausdrücken  
von Fett durch undichten Lager-  
deckel**

Der Radsatz darf nicht mehr in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Radsatz ausbauen und der Lageraufarbeitung zuführen

Abbildung 6-116: Auslaufen und herausdrücken von Fett durch undichten Lagerdeckel





Abbildung 6-117: Auslaufen und herausdrücken von Fett durch undichten Lagerdeckel

**Beliebiger Radsatz**  
**Auslaufen und Herausdrücken  
von Fett durch Lagerdeckel Seite  
Rad**

Der Radsatz darf nicht mehr in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Radsatz ausbauen und der Lageraufarbeitung zuführen



Abbildung 6-118: Heissläufer mit Fettaustritt

**Beliebiger Radsatz**  
**Heissläufer mit Fettaustritt, die  
Radscheibe ist stark ölig**

Der Radsatz darf nicht mehr in Betrieb bleiben.

Massnahmen:

- Radsatz ausbauen und der Aufarbeitung zuführen

### 6.6.2.13 Farbabbbrand und Thermische Schädigung von Vollrädern mit Klotzbremseinrichtung

Für die technische Bedeutung dieses Kontrollmerkmals wird auf den Abschnitt 15.2 verwiesen. Zur Terminologie («sa», gewölbter Radsteg, gerader Radsteg) wird auf Kapitel 6 und Abschnitt 15.2.1 verwiesen.

Thermisch geschädigte Vollräder an Radsätzen mit Klotzbremse können am Farbabbbrand erkannt werden. Der Farbabbbrand beginnt immer am Übergang zwischen Radkranz und Radscheibensteg. Je höher die Temperatur während der Überhitzung gewesen ist, umso tiefer reicht der Farbabbbrand in den Radscheibensteg hinein und umso grösser ist die thermische Belastung der Radscheibe gewesen.



Abbildung 6-119: Farbabbbrand an Radscheibe

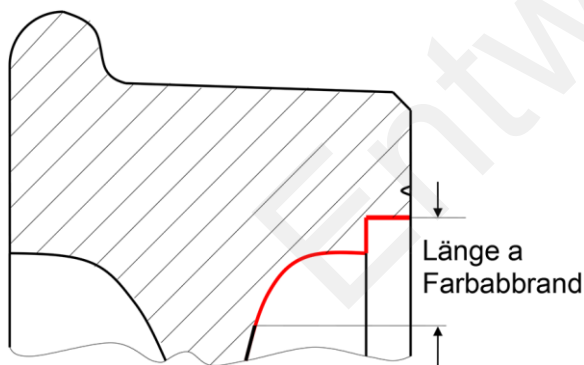


Abbildung 6-120: Definition der Abbrandtiefe Mass a



### 6.6.2.13.1 Spannungsarme Vollräder (sa) und Räder mit gewölbtem Radsteg

#### Loks und Reisezugwagen

Unabhängig vom Schädigungsgrad (Tiefe des Farbabbrennes) müssen Fahrzeuge mit thermisch geschädigten Vollrädern innert nützlicher Frist ausser Betrieb gesetzt werden. Je nach Situation beim Erkennen des Schadens bedeutet dies:

| Situation                                                                                            | Mass a Farbabbrenn                 | Massnahme                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Fahrzeug befindet sich in einer Unterhalts- oder Abstellanlage.                                      | $a > 0 \text{ mm}$                 | Fahrzeug geht nicht mehr in Betrieb, Radsatztausch                           |
| Fahrzeug befindet sich im Dienst (z.B. bei Prüfung durch Kontrolleur nach einem ZKE-Festbremsalarm). | $a \leq 25^{\text{a)}} \text{ mm}$ | Fahrzeug zum Radsatztausch bei nächster sich bietender Gelegenheit vormelden |
| Fahrzeug befindet sich im Dienst (z.B. bei Prüfung durch Kontrolleur nach einem ZKE-Festbremsalarm). | $a > 25^{\text{a)}} \text{ mm}$    | Fahrzeug rasch (spätestens nach 24 h) ausser Betrieb setzen, Radsatztausch   |
| Fahrzeugkontrolle nach ZKE-Festbremsalarm                                                            | kein Farbabbrenn                   | keine Massnahmen in Bezug auf die Radsätze notwendig                         |

Tabelle 6-25: Massnahmen bei Farbabbrenn an der Radscheibe bei Loks und Reisezugwagen

- a) Anstelle der nicht eindeutig messbaren Länge des Farbabbrennes kann auch der Farbabbrenn visuell beurteilt werden. Ein «deutlicher Farbabbrenn» entspricht der Bewertung  $a > 25 \text{ mm}$ .

Der betroffene Radsatz muss getauscht und der schweren Instandhaltung zugeführt werden. Der Radsatz ist zu kennzeichnen, sobald das Fahrzeug in einer Unterhaltsanlage behandelt wird, spätestens aber beim Radsatztausch. Die Behandlung in der schweren Instandhaltung richtet sich nach Abschnitt 15.2.2.

#### Bemerkung:

In der Vergangenheit war Farbabbrenn an spannungsarmen Vollrädern (sa) zugelassen und es musste keine Massnahme getroffen werden. Zur konsequenten Minimierung der Risiken und in Anbetracht der geringen Zahl in Frage kommender Fahrzeuge und Radsätze und dem möglichen Schadensausmass, wird auch an spannungsarmen Radbauarten bei thermischer Schädigung eine Kontrolle und Schadenbehebung ausdrücklich empfohlen.

#### Güterwagen

Spannungsarme Vollräder («sa», erkennbar an der Kennzeichnung am Radsatzlagergehäuse, siehe Abschnitt 12.3.3) dürfen nach einer thermischen Überlastung im Betrieb bleiben. Der ECM 2 verfügt je nach Schadensbild entsprechende Massnahmen, wobei eine Bewertung gemäss Tabelle 6-25 empfohlen wird. Im Zweifelsfall ist immer eine Radsatzinstandhaltung im ausgebauten Zustand zu veranlassen. Die abgebrannte Farbe darf nur nach Zustimmung des Halters (ECM 1) erneuert werden (AVV 2026, Anlage 10, Absatz 1.18).

Vollräder ohne Kennzeichnung «sa» sind umgehend zu ersetzen und der schweren Instandhaltung zuzuführen.

### 6.6.2.13.2 Vollräder mit geradem Radsteg

Vollräder mit geradem Radsteg weisen bei thermischer Überlastung ein hohes Risiko auf Verwerfen und Erweiterung des  $A_R$ -Masses auf. Das Erkennen und Behandeln dieser Fälle muss daher strengeren Kriterien folgen, als bei spannungsarmen Vollrädern oder Vollrädern mit gewölbtem Radsteg wie unter Abschnitt 6.6.2.12.1 beschrieben.

Liegt eine ZKE-Meldung (Festbremsen) oder eine entsprechende Lokführermeldung (Bremsrechnerstörung, Bremse nicht ausgelöst, Rauchentwicklung) vor, gelten die Räder mit geradem Radsteg bis zur genauen Untersuchung ebenfalls als thermisch geschädigt, auch wenn die typischen optischen Merkmale nicht vorhanden sind.

| Situation                                                                                            | Mass a<br>Farbabbrand | Sofortmassnahme                                                                                                                                                      | weitere Behandlung                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fahrzeug befindet sich in einer Unterhalts- oder Abstellanlage.                                      | $a > 0 \text{ mm}$    | Fahrzeug geht nicht mehr in Betrieb,<br>$A_R$ -Mass messen <sup>a)</sup> ,<br>Eigenspannung messen                                                                   | Radsatztausch,<br>wenn $A_R$ -Mass oder<br>Eigenspannung ausserhalb Toleranz                   |
| Fahrzeug befindet sich im Dienst (z.B. bei Prüfung durch Kontrolleur nach einem ZKE Festbremsalarm). | $a > 0 \text{ mm}$    | Fahrzeug sofort ausser Betrieb setzen, spätestens nächster Betriebspunkt mit Abstellmöglichkeit mit $v_{\max} 80 \text{ km/h}$ ,<br>$A_R$ -Mass messen <sup>a)</sup> | Radsatztausch,<br>wenn $A_R$ -Mass ausserhalb Toleranz,<br>Eigenspannung messen und beurteilen |
| Fahrzeug weist keine optischen Merkmale auf, hatte aber ZKE-Festbremsmeldung oder Lf-Meldungen.      | kein Farbabbrand      | Spätestens am Wende- oder Zielbahnhof ausser Betrieb setzen,<br>$A_R$ -Mass messen <sup>a)</sup>                                                                     | Radsatztausch,<br>wenn $A_R$ -Mass ausserhalb Toleranz,<br>Eigenspannung messen und beurteilen |

Tabelle 6-26: Massnahmen bei Farbabbrand an der Radscheibe bei Güterwagen

- a) Das  $A_R$ -Mass muss im Feld nur an einem Punkt, möglichst nahe an SOK gemessen werden. Es ist keine sonst übliche Dreipunktmessung vorgeschrieben.

Der betroffene Radsatz muss getauscht und der schweren Instandhaltung zugeführt werden. Der Radsatz ist zu kennzeichnen, sobald das Fahrzeug in einer Unterhaltsanlage behandelt wird, spätestens aber beim Radsatztausch. Die Behandlung in der schweren Instandhaltung richtet sich nach Abschnitt 15.2.2.

## Güterwagen

Bei Verdacht thermischer Überbeanspruchung ist eine Bremsprüfung durchzuführen und sind die Anweisungen des ECM 1 bezüglich weiterer Prüfungen einzuholen:

- Eigenspannungsmessung <sup>1)</sup>
- Messung des Abstands zwischen den inneren Stirnflächen der Radkränze
- Reprofilierung
- ZfP der Radlaufläche <sup>1)</sup>

Werden durch den ECM 1 keine Anweisungen erteilt, ist der betroffene Radsatz zu tauschen (AVV 2026, Anlage 10, Absatz 1.18).

Bei Rädern, welche die Merkmale der thermischen Überbeanspruchung aufweisen und nicht als thermisch stark belastbar gekennzeichnet sind,

- muss das  $A_R$ -Mass mittels 3-Punktmessung  $120^\circ$  versetzt am Radaufstandspunkt ermittelt werden und
- ist eine Prüfung auf einzelne Querrisse auf der Laufläche durchzuführen.

Bemerkung:

Ist das  $A_R$ -Mass ausserhalb der Toleranz, muss die Überfahrfähigkeit des Fahrzeuges durch einen Radsatzfachspezialisten beurteilt werden. Dabei ist zu beachten, dass das Spurmass  $S_R$  und die Leitweite (Leitweite gleich  $A_R$ -Mass plus Spurkranzdicke links oder rechts) der betroffenen Radsätze bei stark vergrösserten Massen zu Entgleisungen führen können.

### 6.6.2.14 Risse in Vollrädern mit Klotzbremseinrichtung – Klangprobe

Durch den thermischen Einfluss der Klotzbremse können sich unter bestimmten Voraussetzungen in Vollrädern Risse bilden. Besonders betroffen davon sind einige Bauarten von Güterwagenradsätzen, deren Laufkreisdurchmesser im unteren Bereich der Verschleissreserve liegt.

Die Radlaufläche und der Radkranz sind im eingebauten Zustand nur beschränkt einsehbar, was eine vollständige visuelle Prüfung auf Risse verhindert. Eine andere mögliche Prüfmethode ist die Klangprobe, um einen Hinweis auf eine geschädigte Radscheibe zu erhalten.

Die Klangprobe soll unabhängig von der Radsatzbauart und dem Zustand der Räder generell bei einem Wechsel der Bremssohlen erfolgen, kann aber auch in kürzeren Zeitabständen bei geeigneter Gelegenheit ausgeführt werden. Die Klangprobe bietet eine Kontrolle mit aussagekräftigem Ergebnis bei geringstem Aufwand und Einsatz einfachster Mittel an.

Vorgehen zur Klangprobe:

- Bremse vollständig lösen
- Rad mit Stahlhammer im Bereich 2 bis 5 Uhr oder 7 bis 11 Uhr am Umfang leicht an der Laufläche oder an der Aussenseite des Radkranzes anschlagen, das Rad klingt nach, der Klang des Rades gibt einen Hinweis auf dessen Zustand:
  - Heller, reiner Klang: Rad ist in Ordnung
  - Dumpfer Klang: Gesamtes Rad genauer auf Risse untersuchen

---

1) Alternativ: Systematische Reprofilierung mit grosser Spantiefe im Durchmesser und Sichtprüfung der Radlaufläche gemäss Betriebserfahrung.

### Irreführende Testergebnisse

Der Test auf der 12-Uhr-Position (obere Position des Rades) klingt immer gedämpft. Radsätze mit angezogenen Bremsklötzen oder nicht vollständig gelösten Bremsklötzen klingen ebenfalls dumpf oder gedämpft. In diesem Fall ist das vollständige Lösen der Bremsklötze zu prüfen.

Im Falle eines dumpf klingenden Rades ist es immer notwendig, das gesamte Rad mit geeigneten Methoden auf Risse zu untersuchen. Dazu ist der Radsatz in der Regel auszubauen.

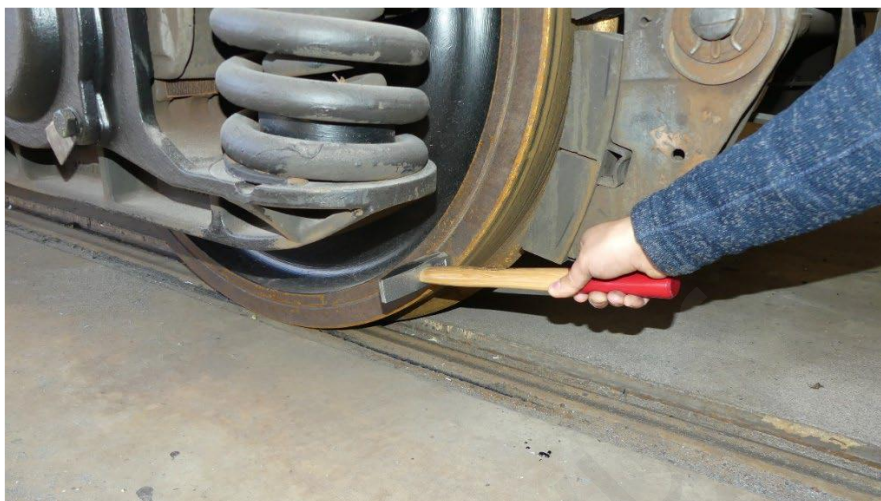


Abbildung 6-121: Klangprobe am eingebauten Radsatz [JNS Normales Verfahren "Unfall Gotthard-Basistunnel - gebrochene Räder", Abschlussbericht]

## 7 Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)

Die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) arbeitet mit verschiedenen Methoden, um insbesondere Materialfehler und Schäden im Entstehungsstadium festzustellen, ohne dabei die zu prüfenden Bauteile selbst zu verändern. Die Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung sind daher eher als Werkstückprüfung zu bezeichnen.

### 7.1 Methoden der zerstörungsfreien Prüfung

Basierend auf den angewendeten Methoden können die technischen Prüfverfahren in vier Gruppen aufgeteilt werden:

- Kapillarverfahren
- magnetische und induktive Verfahren
- Schallverfahren
- Strahlenverfahren

Nicht zu den technischen Prüfverfahren gezählt wird die Sichtkontrolle per Auge, die aber auch eine zerstörungsfreie Prüfung darstellt. Die Begriffe zur ZfP werden in den SN EN 1330-1 genau definiert.

#### 7.1.1 Kapillarverfahren

Die **Kapillarverfahren (Eindringverfahren)** beruhen auf der als Kapillarität bekannten Eigenschaft von Flüssigkeiten. Dazu werden Flüssigkeiten mit geringer Oberflächenspannung und möglichst geringer Zähigkeit verwendet. In der Regel ist dies eine sehr dünnflüssige rote Farbe. Das Bauteil wird mit dieser Flüssigkeit besprüht, wobei sie infolge der Kapillarkwirkung in Spalten, Poren oder Risse tief eindringt. Die an der Oberfläche haftende Farbe wird danach entfernt und das Bauteil mit einem Entwickler überzogen. In diesen Entwickler dringt die in den Oberflächenfehlern noch vorhandene Farbe durch die Kapillarkwirkung ein und zeichnet so die Fehler deutlich und stark verbreitet auf der weissen Entwicklerfläche ab. Dabei sind auch feinste Risse erkennbar.

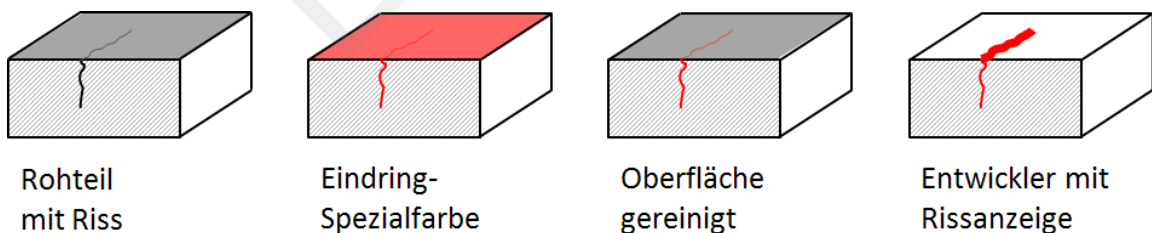


Abbildung 7-1: Funktion des Kapillarverfahrens

Das Kapillarverfahren wird bei der Prüfung von Radsatzbauteilen vorzugsweise zur Schnellprüfung in eingebautem Zustand eingesetzt.



### 7.1.2 Magnetische und induktive Verfahren

Bei diesen Methoden werden magnetische Felder zum Erkennen von Fehlern genutzt. Es wird unterschieden zwischen magnetischem Streufluss-Verfahren und induktiven Verfahren.

Beim **magnetischen Streufluss-Verfahren (Magnetpulver-Prüfung)** können Makrofehler in und dicht unter der Oberfläche direkt sichtbar gemacht werden. Dabei wird der Verlauf der Kraftlinien eines Magnetfeldes so gestört, dass die Linien aus der Oberfläche des Prüfteiles austreten und ein Streufluss entsteht. Wird die Oberfläche mit ferromagnetischen Teilchen bedeckt – meist in Form einer Suspension aus Öl und Pulver – so ordnen sich diese längs der austretenden Kraftlinien an und zeichnen damit das Bild des Fehlers an der Oberfläche nach.

Für das Austreten der Kraftlinien an einem Fehler ist es notwendig, dass die Längsrichtung des Fehlers möglichst senkrecht zu den Kraftlinien des Magnetfeldes ist. Um Längs- und Querrisse zu erfassen, müssen zwei verschiedene Magnetfelder durch Polarisierung und Stromdurchfluss erzeugt werden.

Das magnetische Streufluss-Verfahren eignet sich nur für ferromagnetische Werkstoffe.

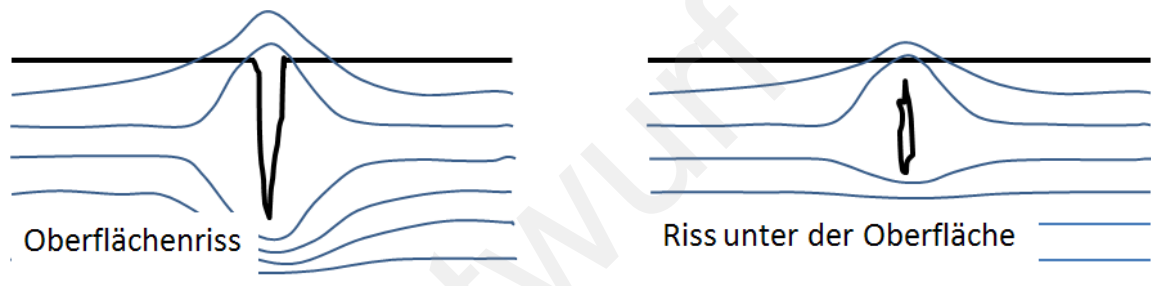


Abbildung 7-2: Störung magnetischer Kraftlinien durch Risse

Dieses Verfahren wird bevorzugt für die Prüfung von Radsatzbauteilen in demontiertem Zustand angewendet, insbesondere für Vollwellen und Radscheiben.

Das **induktive Verfahren (Wirbelstromverfahren)** gestattet nur eine indirekte Fehleranzeige. In einem Erregersystem werden zeitlich veränderliche Magnetfelder erzeugt, die in den Randbereichen des Prüfkörpers Wirbelströme erzeugen. Diese bewirken ihrerseits ein Magnetfeld, das sich mit dem Erregerfeld überlagert. Ein Messsystem verarbeitet das Gesamtfeld zu einem Messsignal. Ist das Werkstück fehlerhaft, so ergibt sich eine andere Überlagerung als bei einem fehlerfreien Werkstück. Fehler können also nur erkannt werden, wenn das Messsystem an einem fehlerfreien Werkstück kalibriert wurde. Das Messsignal lässt in der Regel keine Aussage über die Art des Fehlers zu.

Dieses Verfahren wird vorzugsweise zur Prüfung von Oberflächenbeschichtungen (Schichtdicke) eingesetzt.

### 7.1.3 Schallverfahren

Bei der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen mittels Schallwellen kommt in der Regel die **Ultraschallprüfung** zur Anwendung. Für die Prüfung von metallischen Bauteilen wird vorwiegend mit Frequenzen im Bereich 0.5 – 10 MHz gearbeitet. Je höher die Frequenz ist, umso besser lässt sich der Schallstrahl bündeln und umso kleinere Fehler können erkannt werden. Die theoretische Mindestgrösse eines erkennbaren Fehlers hängt von der Frequenz und der Schallgeschwindigkeit im zu prüfenden Material ab.

Am Häufigsten wird das Impulsecho-Verfahren verwendet. Dabei wird der Schall an der Grenzfläche zweier Medien reflektiert, z.B. Metall-Luft. Dort tritt praktisch eine Totalreflexion auf, wenn der Luftspalt grösser  $10 \cdot 10^{-6}$  mm ist.

Damit der Schallimpuls vom Prüfkopf in das Werkstück eingeleitet wird muss zwischen Schallkopf und Werkstück ein Koppelungsmittel vorhanden sein (z.B. Öl). Der Sendepuls und sein Echo werden auf einem Anzeigegerät als Reflektogramm wiedergegeben.

Bei fehlerfreien Werkstücken ergibt sich nur ein Rückwandecho oder ein durch die geometrische Form bedingtes Formecho. Liegt zwischen Oberfläche und Rückwand eine weitere Trennfläche, so kann ein Zwischenecho oder Fehlerecho entstehen. Sofern die Trennfläche annähernd rechtwinklig zum Schallstrahl liegt, entsteht ein sauberes Fehlerecho. Meist kann der Fehler aber nur durch eine Abschwächung oder durch das Verschwinden des Rückwandechos festgestellt werden.

Die Anwendung des Verfahrens und die Deutung von Reflektogrammen erfordert trotz der einfachen Handhabung entsprechende Erfahrung. Die mit Sicherheit nachweisbaren Fehler sind dabei wesentlich grösser als die aus der Prüffrequenz errechenbare Mindestgrösse.

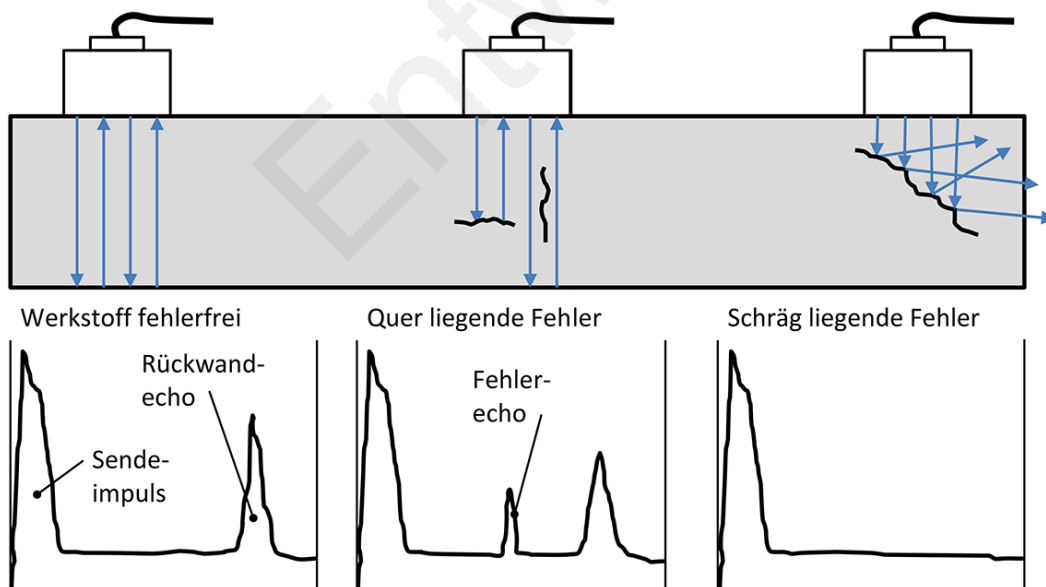


Abbildung 7-3: Strahlengang und Reflexion bei der Ultraschallprüfung

Dieses Verfahren wird vorzugsweise zur Prüfung von Radsatzwellen und Radkränzen eingesetzt.

#### 7.1.4 Strahlenverfahren

Kurzweilige elektromagnetische Strahlen (Röntgenstrahlen, Gamma-Strahlen) durchdringen auch Metallteile. Die Strahlen werden je nach Werkstoff, Bauteildicke und Wellenlänge abgeschwächt. Die Reststrahlung hinter dem Bauteil wird auf Fotomaterial registriert. Damit Fehler gut erkennbar sind müssen Strahlungsintensität, Wellenlänge, Dicke des Bauteils und die Belichtungszeit aufeinander abgestimmt sein. Bei der Durchführung von Röntgen- oder Gamma-Prüfungen sind umfangreiche Strahlenschutzregeln zu beachten.

Diese Art der Prüfung hat im Bereich der Instandhaltung von Radsätzen keine Bedeutung.

#### 7.1.5 Angewendete Prüfverfahren an Radsätzen

Folgende Prüfverfahren werden üblicherweise bei einer ZfP an Radsätzen und deren Bauteilen angewendet:

- UT: Ultraschall-Prüfung (UT = Ultrasonic Testing)

Die UT-Prüfung ist ein volumetrisches Prüfverfahren und kann das ganze Materialvolumen des Prüfstückes erfassen.

- MT: Magnetpulver-Prüfung (MT = Magnetic Testing)
- PT: Eindringprüfung (PT = Penetration Testing)
- VT: Sichtprüfung (VT = Visual Testing)
- ET: Wirbelstromprüfung (ET = Eddy current-Testing)

Die vier vorgenannten Prüfverfahren erfassen nur Fehler an der Werkstückoberfläche und bedingt Fehler direkt unter der Oberfläche.

#### 7.1.6 Anforderungen an das Prüfpersonal

Das Prüfpersonal für die ZfP hat mindestens eine gültige verfahrensspezifische Qualifikation Stufe 1 gemäss SN EN ISO 9712 aufzuweisen. Da der Bereich der Radsatzwellen und Vollräder ein sehr spezielles Tätigkeitsgebiet besonders bei der UT-Prüfung darstellt, ist dem eingesetzten Prüfpersonal in einer eisenbahnspezifischen Ausbildung die notwendige Branchenkenntnis zu vermitteln.

Zur Erstellung von Prüfanweisungen sowie zur Einzelfallbeurteilung ist Prüfpersonal der Stufe 2 gemäss SN EN ISO 9712 notwendig. Die Prüfaufsicht und die Freigabe der Prüfanweisungen hat durch Prüfpersonal der Stufe 3 gemäss SN EN ISO 9712 zu erfolgen. Die Aufgaben Stufe 2 und 3 können auch durch externe Partner wahrgenommen werden.

Ebenfalls unter den Begriff ZfP fällt die rein visuelle Kontrolle am eingebauten Radsatz im Zuge der präventiven Instandhaltung am Fahrzeug (entspricht Kontrolle K1 gemäss Kapitel 8). Dazu muss das Personal entsprechend geschult werden, aber nicht gemäss SN EN ISO 9712 qualifiziert sein. Befunde aus der Kontrolle K1 müssen durch eine Person VT Stufe 1 beurteilt werden.

## 7.2 Prüfintervalle für ZfP

Während der Aufarbeitung von Radsätzen im demontierten Zustand («schwere Instandhaltung») wird immer eine zerstörungsfreie Prüfung (Risskontrolle) an den Radsatzkomponenten durchgeführt. Sämtliche Radsatzwellen (Hohl- und Vollwellen) müssen vor der Montage neuer Vollräder oder Radreifen mit geeigneten Mitteln und Verfahren geprüft werden (siehe auch Abschnitt 7.3). An Radsätzen, die bei schwerer Instandhaltung nur eine Reprofilierung erhalten, ist eine Radkranzprüfung zwingend durchzuführen. Die Revisionsintervalle für Fahrzeuge müssen auf diese Erfordernisse abgestimmt werden, wenn es Vorgaben von Herstellern oder Behörden gibt bezüglich eines Prüfintervalles zu einer Radsatzbauart.

Die Anforderung eines definierten Prüfintervalles kann auch durch eine Prüfung in der leichten Instandhaltung erfüllt werden (prüfen von Radsätzen im eingebauten Zustand). Speziell geeignet sind hierzu Hohlwellen, die durch Demontage des Radsatzlagerdeckels einer UT-Prüfung sehr gut zugänglich sind. Es können aber auch Vollwellen in kritischen Zonen im eingebauten Zustand geprüft werden. Für Fahrzeuge höherer Belastung oder höherer Verkehrsgeschwindigkeit empfiehlt sich zudem die Prüfung der Radkränze nach Reprofilierung der Radsätze im eingebauten Zustand.

Gründe für eine ZfP anlässlich der leichten Instandhaltung sind:

- Herstellervorgaben oder Vorgaben von hoheitlichen Behörden bzw. Vorgaben des ECM 2 (vorgegebene Prüfintervalle, welche geringer sind, als die Intervalle der schweren Instandhaltung)
- bei besonderen Umständen (Einsatz hochlegierter Stahlsorten, speziellen Werkstoffen, speziellen Vorkommnissen, geänderten Einsatzbedingungen, etc.)
- Erfordernisse, die aus der Betriebserfahrung entstehen

Die Festlegung von Prüfintervallen muss an folgenden Grundsätzen orientiert werden:

- Herstellervorgaben oder Vorgaben hoheitlicher Behörden bzw. Vorgaben des ECM 2
- Betreibererfahrung (nach welcher Einsatzdauer wurden bereits Anrisse festgestellt, wie tief waren diese Anrisse?)
- Nachweisgrenze des Prüfverfahrens als Basis für eine bruchmechanische Nachrechnung der Lebensdauer, allenfalls unter Einbezug eines gemessenen realen Lastkollektives

Für Güterwagenradsätze gelten die Vorgaben gemäss Kapitel 10.

## 7.3 Vorgehen und Tätigkeiten

---

### Risskontrolle Hohlwellen im ausgebauten Zustand

Als vorbereitende Massnahme muss je nach Art der ZfP an den zu prüfenden Stellen die Lackierung entfernt werden (siehe dazu Abschnitt 12.1.1 und 12.1.2 bezüglich Reinigungsmethoden und Reinigungsstandart).

- Sämtliche Hohlwellen werden mittels UT und/oder MT geprüft.
- Die Prüfung erfolgt über die gesamte Länge der Hohlwelle.

### Risskontrolle Vollwellen im ausgebauten Zustand

Als vorbereitende Massnahme muss je nach Art der ZfP an den zu prüfenden Stellen die Lackierung entfernt werden (siehe dazu Abschnitt 12.1.1 und 12.1.2 bezüglich Reinigungsmethoden und Reinigungsstandart).

- Prüfung der Vollwelle im komplett demontierten Zustand vorzugsweise mit MT-Verfahren über den gesamten Bereich
- Rad und Bremsscheibe montiert/demontiert:  
je nach Messausrüstung und Erfahrungen des Instandhaltungsbetriebes UT oder MT oder Kombinationen davon

### Risskontrolle Hohlwellen im eingebauten Zustand

- Hohlwellen entsprechend den Erfordernissen der Prüfintervalle mittels US prüfen.

Die Prüfung erfolgt über die gesamte Länge der Hohlwelle.

### Risskontrolle Vollwellen im eingebauten Zustand

Als vorbereitende Massnahme muss je nach Art der ZfP an den zu prüfenden Stellen die Lackierung entfernt werden (siehe dazu Abschnitt 12.1.1 und 12.1.2 bezüglich Reinigungsmethoden und Reinigungsstandart).

- Prüfung der Vollwelle in Teilbereichen mit UT entsprechend den Erfordernissen der Prüfintervalle

### Risskontrolle Radkörper

UT-Prüfung der Lauffläche nach Reprofilierungen im ausgebauten Zustand im Rahmen einer Revision oder wenn der Radsatz für den Einbau in ein revidiertes Fahrzeug vorgesehen ist, entspricht dem Stand der Technik. Bei UFD-Behandlungen und Reprofilierung des Radsatzes innerhalb eines Revisionsintervalles des Fahrzeugs wird die UT-Prüfung der Lauffläche empfohlen.

Definierte Zonen der Radscheiben (Steg) MT oder UT geprüft entsprechend Betreibererfahrungen

### Risskontrolle Antriebszahnrad

- Prüfung definierter Zonen des Antriebszahnrades bei Bedarf

### Risskontrolle Bremsscheiben

- Prüfung der Bremsscheiben nur mittels visueller Kontrolle (Angaben gemäss Hersteller)

### Kontrolle Lackierung/Korrosionsschutz

- Visuelle Kontrolle auf Beschädigungen, Steinschlag/Kerben, etc.

Für Güterwagenradsätze gelten die Vorgaben gemäss Kapitel 10 (IS 0 bis IS 3).



## 7.4 UT-Prüfung

Für die UT-Prüfung ist eine **Justierung der Prüfempfindlichkeit** des verwendeten Prüfsystems für jeden Bauteiltyp individueller Abmessung notwendig. Die Justierung der Prüfempfindlichkeit hat vor jeder Arbeitsschicht oder jeder Einzelteilprüfung zu geschehen. Für die Justierung können folgende Mittel zur Anwendung gelangen:

- **Musterstück** (Formgleich zum Prüfling) **mit Sägeschnitten** (Musterfehlern) in den unterschiedlichen Prüfbereichen. Die Sägeschnitte simulieren Risse und sollen nur so tief gelegt werden, dass sie mit dem Prüfsystem noch knapp erkannt werden können. Die daraus resultierende Prüfempfindlichkeit stellt die Nachweisgrenze des Prüfsystems dar.
- **Geometrieanzeigen aus Referenzkörpern** mit bekannter Anzeigedifferenz zu den unterschiedlichen Prüfbereichen und Musterfehlern des Prüflings
- **Geometrieanzeigen aus Prüflingen** bekannter Geometrie. Die Prüfempfindlichkeit für die einzelnen Prüfbereiche wird als Differenz zur entsprechenden Geometrieanzeige definiert.

Zur Bewertung der Anzeigen bei einer Bauteilprüfung müssen Akzeptanzkriterien definiert werden. Diese geben an, welche Anzeigen bei justierter Prüfempfindlichkeit noch zulässig oder nicht mehr zulässig sind.

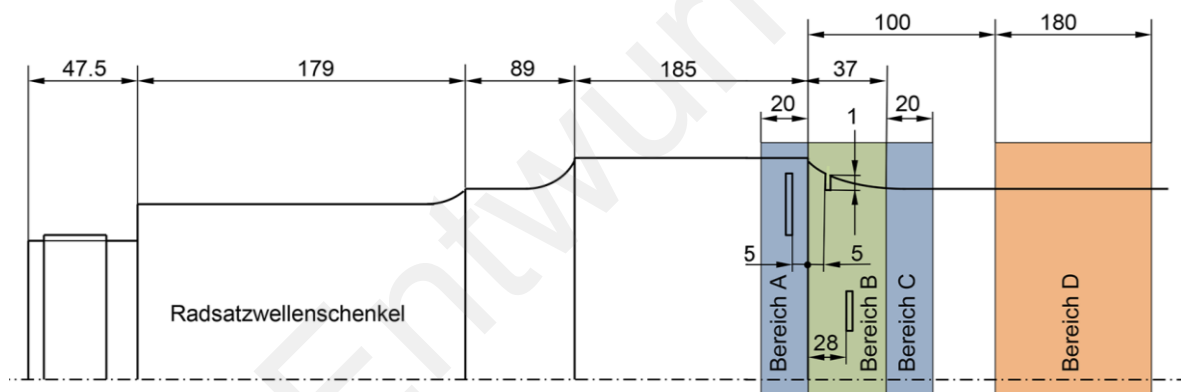
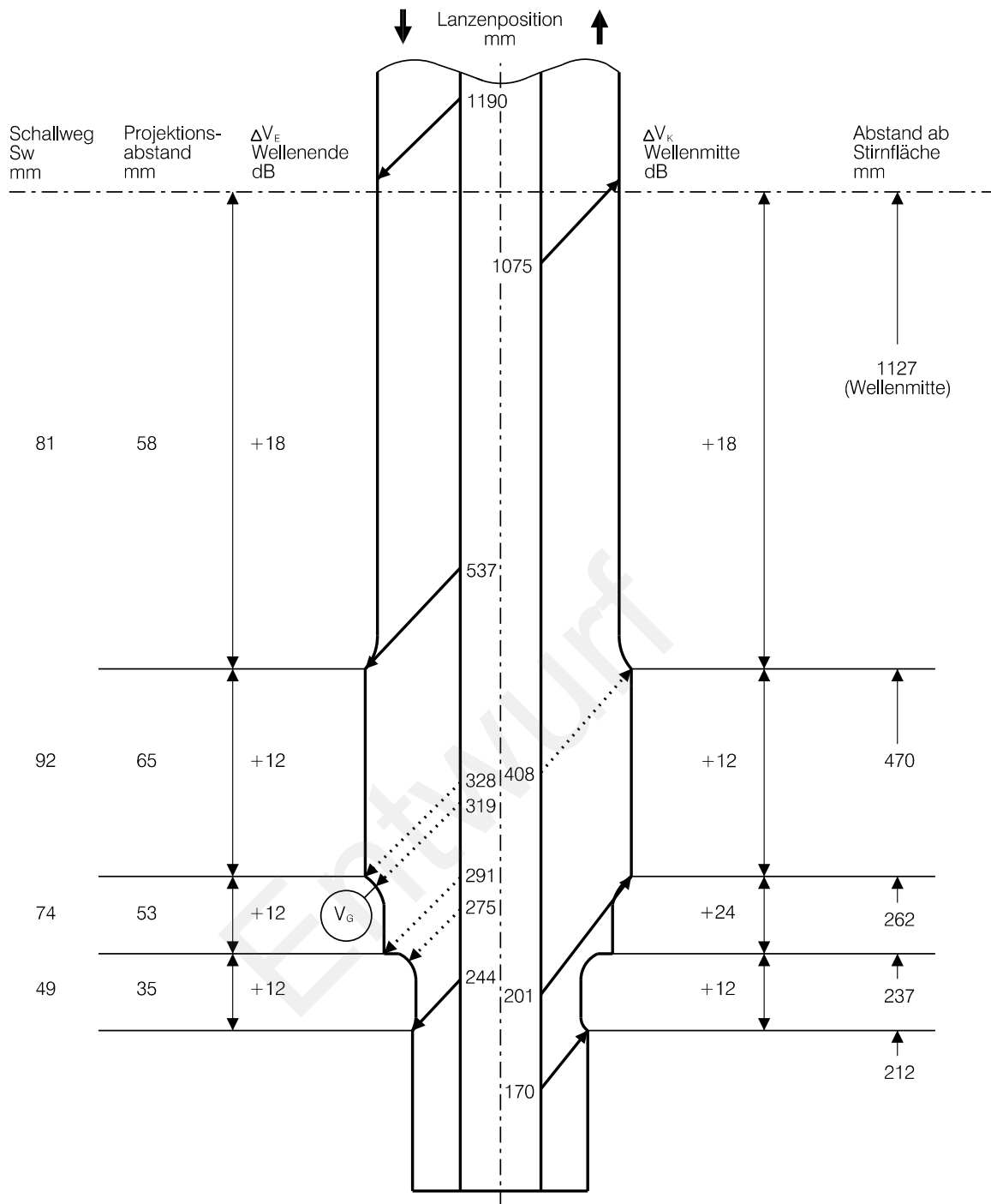


Abbildung 7-4: Skizze einer Radsatzwelle mit definierten Prüfbereichen A bis D und Musterfehlern, Beispiel für eine einfache manuelle UT-Prüfung.



$V_G$  = Justierreflektor für Grundverstärkung

.....► Formecho zu erwarten

$\Delta V$  = Zusatzverstärkung für Empfindlichkeitsjustierung

—► kein Formecho zu erwarten

Abbildung 7-5: Prüfskizze für eine Hohlwelle, die ganze Welle wird geprüft. Beispiel für eine komplexe Prüfung (manuell oder automatisiert). Das Formecho in Position  $V_G$  wird als Justieranzeige für die Empfindlichkeitsjustierung verwendet. Der Wert  $\Delta V$  wird zur Anzeigenbewertung in der entsprechenden Zone benutzt.

Prüfmittel können handelsübliche Ultraschallprüfköpfe mit Frequenzen von 1 – 5 MHz sein. Dies können Ein- oder Mehrschwingerprüfköpfe sein. Eine spezifische Prüfkopfform ist der sogenannte Hohlwellenprüfkopf, welcher für die Prüfung von Hohlwellen entwickelt worden ist. Dieser wird auf eine Lanze montiert, welche die Bewegung und Positionierung des Prüfkopfes in der Hohlwellenbohrung erlaubt.

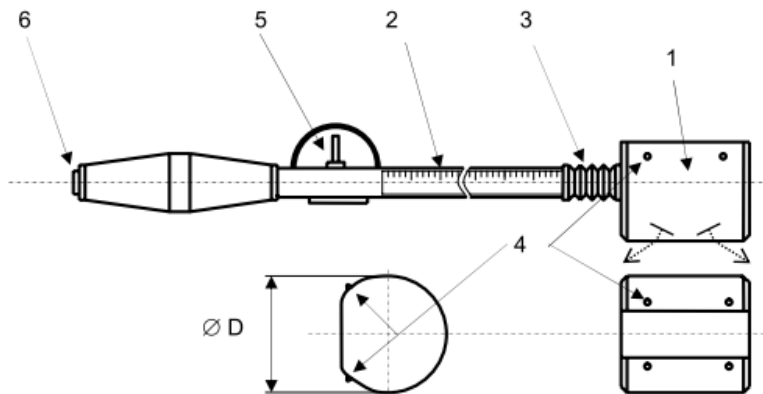


Abbildung 7-6: Skizze einer Hohlwellenprüflanze

Legende zu Abbildung 7-6:

- 1 Prüfkopfhalter zur Aufnahme von zwei Winkelprüfköpfen.
- 2 Lanze mit je einer Skalierung pro Prüfkopf.
- 3 Bewegliche Verbindung zwischen Lanze und Prüfkopfhalter.
- 4 Andruckstücke im Prüfkopfhalter für die Ankoppelung.
- 5 Wählschalter für Prüfkopfzuschaltung.
- 6 Einkanalige Anschlussbuchse zum Prüfgerät.

Prüfgeräte können für einfachere Handprüfungen den gängigen Industriestandards folgen. Für komplexe Prüfungen sind aber spezifische Geräte entwickelt worden:

- Automatisierte Hohlwellenprüfanlagen.
- Radkranzprüfanlagen für Überflur- oder Unterfluranwendung.

Diese Anlagen bieten eine höhere Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Prüfung, sowie in den meisten Fällen auch eine bessere Dokumentation der Prüfergebnisse.



Abbildung 7-7: Automatisierte Hohlwellenprüfanlage: rechts die Referenzkörper (blau) mit Musterfehlern zum Justieren der Anlage, links die Vorschubeinheit zum Prüfkopfträger.



Abbildung 7-8: Prüfkopfträger einer Hohlwellenprüfanlage





Abbildung 7-9: Mobile Hohlwellenprüfanlage



Abbildung 7-10: Automatisierte Vollwellenprüfanlage





Abbildung 7-11: Automatisierte Radkranzprüfanlage



Abbildung 7-12: Prüfkopfträger einer automatisierten Radkranzprüfanlage



## 7.5 MT-Prüfung

---

Für die Prüfung von eisenbahnspezifischen Bauteilen im Radsatzbereich können die gängigen Industriestandards und Normen angewendet werden (z.B. Normenreihe SN EN ISO 9934 oder SN EN 1369). Prüfausrüstung (z.B. Handjochmagnet oder Prüfbank), Prüfmittel (fluoreszierende Mittel oder Mittel für Tageslichtanwendung) sowie Hilfsmittel unterscheiden sich nicht wesentlich von sonstigen industriellen Anwendungen.

Für Prüfstücke muss eine definierte zulässige Anzeigengrösse festgelegt werden. Die Grössenklassen der Anzeigen folgen den gängigen Industriestandards für MT-Prüfung. Im Radsatzbereich werden im Allgemeinen nur sehr kleine Anzeigen toleriert, besonders in hochbelasteten Bereichen wie Radienübergängen (z.B. Anzeigenlänge  $< 1.5$  oder  $0.3$  mm gemäss Gütestufen nach Norm).

Bei der MT-Prüfung muss den Erfordernissen an die Umweltbedingungen (Lichtverhältnisse) besonders Rechnung getragen werden. Diese sind in Eisenbahnwerkstätten oftmals nicht ohne weiteres genügend, so dass Verdunkelungsmöglichkeiten für eine zuverlässige Anzeigenbeurteilung notwendig sind.

## 7.6 ET-Prüfung

---

Dieses Prüfverfahren kann ergänzend zur UT-Prüfung bei automatisierten oder teilautomatisierten Prüfverfahren zur Anwendung kommen bei Laufflächenprüfungen an Radkränzen.

## 8 Planung und Intervall der Instandhaltung

### 8.1 Systematik der Instandhaltungsintervalle

Grundsätzlich werden bei allen Radsätzen ähnliche Tätigkeiten zur Instandhaltung ausgeführt. Aus Gründen des unterschiedlichen Fahrzeugeinsatzes hat sich dabei für die Güter- und Dienstwagen ein eigenes System entwickelt, da die Radsätze dieser Fahrzeuge nicht planmässig in kurzen Intervallen eine Werkstatt des Fahrzeughalters anlaufen. Der Unterschied dieser Systematik ist in nachfolgender Abbildung 8-1 dargestellt.

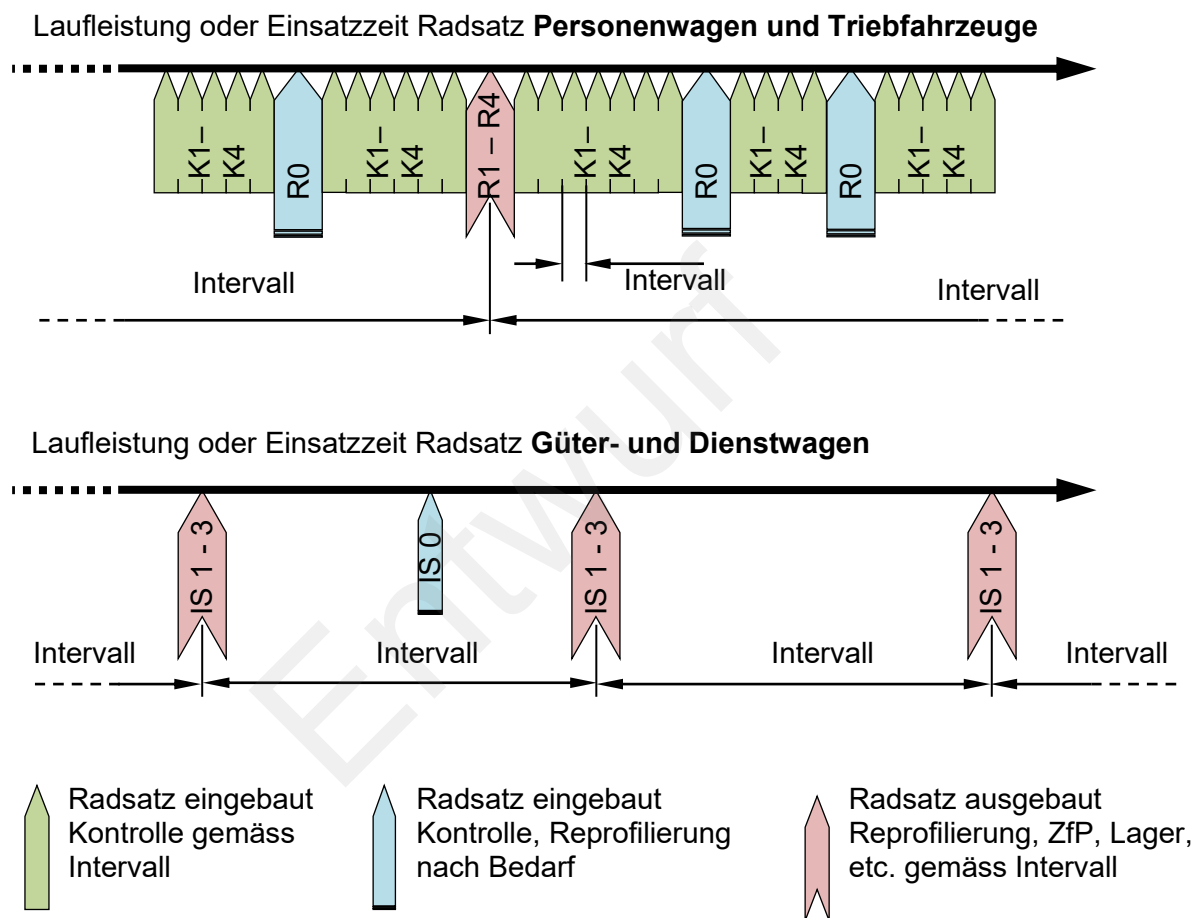


Abbildung 8-1: Unterschied der Instandhaltungssystematik zwischen Personenfahrzeug- bzw. Lokradsätzen und Güterwagenradsätzen.

Damit gilt es insbesondere zu beachten, dass verschiedene Instandhaltungsstufen nicht vorgängig planbar sind, sondern auf Basis der aktuellen Befunde notwendig werden. Diese notwendige Flexibilität muss bei der Planung berücksichtigt werden.

Ebenso sind die Inhalte der Instandhaltung zwischen Personenfahrzeug- und Lokomotiv- radsätzen und Güter- bzw. Dienstwagenradsätzen nicht immer identisch.

#### Grundsätzlich gilt

Durch die Instandhaltungsarbeiten ist sicher zu stellen, dass der Radsatz sämtliche Anforderungen an die Sicherheit bis zur nächsten vorgesehenen Instandhaltung erfüllen kann. Wünschenswert ist ebenfalls, dass die Anforderungen an Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit ebenso erfüllt werden, wobei die Aspekte der Sicherheit in jedem Fall prioritär sind.

## 8.2 Instandhaltungsintervalle von Reisezugwagen- und Triebfahrzeugradsätzen

---

Die Instandhaltung der Radsätze hat sich an den allgemeinen Empfehlungen der AB-EBV zu orientieren. In Art. 13 (5.1 und 5.2) wird unterschieden zwischen

- Kontrollen (Inspektion) (K1 – K4) und
- Revisionen (Instandsetzung) (R0 – R4)

Die Intervalle für Kontrollen (Inspektion) und Revisionen (Instandsetzung) sind zum Teil abhängig vom Fahrzeugtyp (Fahrzeuggruppe gemäss AB-EBV zu Art. 13, AB 13.3, Ziff. 5.1 und 5.2). Der Fahrzeughalter ist jedoch frei, andere Kontrollen und Zeitintervalle einzuführen.

### 8.2.1 Kontrollstufen (Inspektion)

Die Kontrollen umfassen visuelle und funktionelle Prüfungen im Rahmen der präventiven Instandhaltung. An Radsätzen umfassen diese Prüfungen visuelle und geometrische (also durch Messen zu erhebende Daten) Tätigkeiten. Die Arbeitsinhalte und Intervalle sind wie folgt definiert:

#### 8.2.1.1 Kontrollstufe K1 Zeit- und laufleistungsabhängig

Die Festlegung der Intervalle zur Ausführung der Kontrollstufe K1 erfolgt durch den Fahrzeughalter. Es wird empfohlen, dieses Intervall mit einer Grössenordnung von ca. 7 – 30 Tage oder ca. 5'000 – 20'000 km anzusetzen.

Folgende Tätigkeiten sind auszuführen:

- visuelle Kontrolle des Radprofilzustandes.
- Prüfen Raddurchmesser durch visuelle Kontrolle der Verschleissrille.
- geometrische Prüfung durch Lehren bei Verdacht auf Grund der visuellen Kontrolle des Radprofils ( $q_R$ , Hohllauf, Auswalmungen, etc.)
- visuelle Kontrolle der Laufflächen auf Flachstellen, Ausbröckelungen, etc.
- visuelle Kontrolle der Radsatzwelle auf Beschädigungen
- visuelle Kontrolle des Radsatzlagergehäuses auf Fettaustritt und mechanische sowie thermische Schäden
- visuelle Kontrolle des Sprenglings bei bereiften Radsätzen
- Überprüfungen von betrieblichen Meldungen zum Lauf des Fahrzeuges (z.B. Rundlaufprüfung bei Rollgeräuschen, instabiler Lauf)

#### 8.2.1.2 Kontrollstufen K2 / K3 / K4 Zeit- und laufleistungsabhängig

Die Festlegung der Intervalle zur Ausführung der Kontrollstufen K2, K3 und K4 erfolgt durch den Fahrzeughalter. Das Intervall sollte im Bereich 90 – 180 Tage oder ca. 20'000 – 150'000 km liegen.

Folgende Tätigkeiten sind auszuführen:

- alle Arbeitsinhalte aus der Kontrolle K1
- geometrische Prüfung und Protokollierung der Radprofilmasse mit Messmittel ( $S_d$ ,  $S_h$ ,  $q_R$ ,  $S_R$ ,  $A_R$ ,  $B_R$ , Hohllauf, Auswalmungen)
- Innerhalb der oben angegebenen Intervalle können je nach Verschleissverlauf und Betriebserfahrung einzelne Masse weniger oft überprüft werden.

Die Messung des Rund- und Planlaufs in Intervallen kleiner R0 wird in der Schweiz bisher nur in Ausnahmefällen nach Massgabe des Fahrzeugbetreibers ausgeführt.

## 8.2.2 Revisionsstufen (Instandsetzung)

Die Revisionen umfassen alle notwendigen Arbeiten zum Herstellen des Sollzustandes im Rahmen der kurativen Instandhaltung. Die Revisionsstufen werden in der Regel mit R0 bis R4 bezeichnet. Werden bei der Ausführung einer R-Stufe Schäden festgestellt, so ist der Radsatz in die nächsthöhere Revisionsstufe zu nehmen. Die Arbeitsinhalte und Intervalle sind in den nachfolgenden Abschnitten 8.2.2.1 und 8.2.2.2 definiert.

### 8.2.2.1 R0 bei Bedarf

In der Regel kann eine R0 nicht langfristig geplant werden da die auslösenden Kriterien ausser bei der präventiven Reprofilierung durch unterschiedliche Verschleissbedingungen beeinflusst werden. R0 werden in der Regel mit einem Vorlauf von 1 bis 4 Wochen geplant.

Dabei werden folgende Arbeiten am Radsatz ausgeführt

- Vollständige oder teilweise Reprofilierung (Nachdrehen) des Radprofils
- Prüfung von Rund- und Planlauf der Räder

Anlässlich einer R0 sollen die Radprofilmasse und der Raddurchmesser sowohl vor als auch nach der Behandlung nachvollziehbar protokolliert werden. Das aufgedrehte Radprofil ist im Protokoll eindeutig anzugeben.

### 8.2.2.2 R1 / R2 / R3 / R4 Zeit- und laufleistungsabhängig

Die Festlegung der Intervalle für die Durchführung der Revisionsstufen R1 bis R4 erfolgt durch den Fahrzeughalter (Empfehlung: ca. 4 – 10 Jahre, bezüglich der Laufleistung sind Herstellerangaben oder Betriebserfahrungen zu beachten). Die Revisionsstufen werden in der Regel dann ausgeführt, wenn

- die vorgegebene Laufleistung oder Einsatzzeit erreicht ist
- die Radsatzlager die vorgegebene Laufleistung erreicht haben
- der Radsatz neu beschiebt oder neu bereift werden muss
- Anbauteile wie z.B. Getriebe revidiert werden müssen
- der Radsatz einen anderweitigen Schaden erlitten hat (Heissläufer, Radreifenverschiebung, Entgleisung, etc.)

Die Ausführung der Arbeiten R1 bis R4 erfolgt immer am ausgebauten Radsatz.

Die nachfolgenden Arbeiten sind je nach Laufleistung und Zustand des Radsatzes auszuführen:

- ZfP Radsatzwelle und Radkranz bei Vollrädern (UT, MT)
- visuelle Kontrolle der Radsatzwelle auf Beschädigungen
- visuelle Kontrolle der Radsatzlagergehäuse und Führungen
- Rundlauf- und Planlaufprüfung Radsatzwelle und Räder
- Revision oder Kontrolle der Radsatzlager (Fettzustand und Alter beachten)
- vollständige Reprofilierung (Nachdrehen) des Radprofiles
- wenn notwendig Ersatz Vollrad oder Radreifen
- Revision oder Kontrolle von Antriebseinheiten
- geometrische Prüfung aller freigelegten Partien der Radsatzwelle
- Prüfen, Neuanstrich oder Ausbesserung der Beschichtung der Radsatzwelle

Die Arbeitsausführung erfolgt gemäss Kapitel 9.

Neben den angegebenen Arbeitsinhalten sind die Tätigkeiten und Instandhaltungsintervalle den konkreten Einsatzbedingungen, den Verschleissbildern und dem technischen

Zustand der Fahrzeuge sowie ggf. der Betriebserfahrung anzupassen. Dies hat durch den Fahrzeughalter zu erfolgen.

### 8.3 Instandhaltungsintervalle für Güter- und Dienstwagen

---

Die Instandhaltungsarbeiten haben sich grundsätzlich gemäss den Vorgaben in den AB-EBV, aktuell gültigen SN EN-Normen und UIC-Richtlinien sowie den geltenden Unterhaltsvorschriften des Lieferanten zu richten. Wo keine Lieferantenvorschriften vorhanden sind, gelten die nachfolgenden Vorgaben.

Für die Instandhaltung von Radsätzen, welche in Güterwagen im internationalen Betrieb (TEN-/RIV-Anschrift) eingesetzt werden, sind die internationalen Vorgaben der TSI, ERA/COTIF und VPI sowie dieser RTE-Regelung zu berücksichtigen. Bei unterschiedlichen Angaben bezüglich Instandhaltungsarbeiten oder einzuhaltenden Abmessungen resp. Grenzmassen sind die internationalen Vorgaben massgebend.

Neben der fristgerechten Instandhaltung nach vorgegebenen Intervallen gemäss Abschnitten 8.3.1 und 8.3.2 können unplanmässige Revisionen durch folgende Ursachen notwendig werden (Aufzählung nicht abschliessend):

- Laufflächenschaden
- geometrische Masse ausserhalb der vorgegebenen Toleranzen
- überhitzte Radscheibe
- Unfall des Fahrzeuges, in dem der Radsatz eingebaut war
- Heissläufer
- Lagerdefekt (Geräusch beim Durchdrehen des Radsatzes)
- unzulässiger Fettaustritt am Radsatzlagergehäuse
- Auswalzungen
- fehlende Datenbänder oder Instandsetzungsmarken
- fehlenden Teile oder Schäden am Radsatzlager resp. Radsatzlagergehäuse
- zu lange Abstell-/Lagerzeit des Radsatzes
- Radsätze, die im Wasser standen (z.B. Hochwasser)

Für die Instandhaltungsarbeiten werden die Radsätze dem Instandhalter in der Regel in ausgebautem Zustand angeliefert. Eine R0 (Reprofilierung auf der Unterflurdrehbank) ist bei Güter- und Dienstwagen nicht üblich.

Die Radsätze sollen vom Fahrzeughalter mit einem eindeutig zuweisbaren Diagnoseblatt bzw. Zustandsrapport versehen werden. Darauf sind allfällige Vorkommnisse, Feststellungen, Schäden, etc. oder die geplante Instandhaltungsstufe zu vermerken.



### 8.3.1 Intervalle für Güterwagenradsätze im internationalen Betrieb

Für die Instandhaltungsintervalle von Radsätzen für Güterwagen (TEN- oder RIV-Wagen), welche im internationalen Verkehr eingesetzt werden, sind die internationalen Vorgaben von TSI und ERA/COTIF bzw. VPI einzuhalten.

Zur Planung der Instandhaltung werden die Radsätze in folgende Radsatzgruppen unterteilt:

|                                                  |                                 | Lageruntersuchung mit ZfP nach |                                |
|--------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Gruppe                                           | jährliche Laufleistung          | max. Laufleistung              | max. Einsatzzeit <sup>a)</sup> |
| Messkreisdurchmesser grösser 840 mm              |                                 |                                |                                |
| A                                                | < 30'000 km/Jahr                | 600'000 km                     | 16 Jahre                       |
| B                                                | ≥ 30'000 bis < 50'000 km/Jahr   |                                | 12 Jahre                       |
| C                                                | ≥ 50'000 bis < 80'000 km/Jahr   |                                | 8 Jahre                        |
| Messkreisdurchmesser kleiner 840mm <sup>b)</sup> |                                 |                                |                                |
| C                                                | Unabhängig von der Laufleistung | 600'000 km                     | 8 Jahre                        |

Tabelle 8-1: Intervalle für Güterwagenradsätze im internationalen Betrieb

- a) Die Einsatzzeit beginnt mit dem Einbau in den Wagen. Bei Radsätzen diverser Bauarten ist die maximale Einsatzzeit separat geregelt (siehe dazu VPI 04).
- b) Für Sonderbauarten gelten die Angaben des Herstellers (z.B. Radsätze für RoLa-NT-Wagen).

Nach Ablauf der maximalen Laufleistung, jedoch spätestens nach der Überschreitung der maximalen Einsatzzeit der entsprechenden Radsatzgruppe sind die Radsätze auszubauen und der Radsatzinstandhaltung zuzuführen.

### 8.3.2 Intervalle für Güter- und Dienstwagenradsätze im nationalen Betrieb

Für die Bestimmung der Instandhaltungsintervalle von ausschliesslich im nationalen Verkehr Schweiz eingesetzten Güter- und Dienstwagen werden die Radsätze in Abhängigkeit ihrer Laufleistung in folgende Radsatzgruppen unterteilt:

| Gruppe     | jährliche, gemittelte Laufleistung <sup>b)</sup> | Lageruntersuchung mit ZfP nach |                                |
|------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|            |                                                  | max. Laufleistung              | max. Einsatzzeit <sup>a)</sup> |
| <b>D 1</b> | ≥ 2'000 km/Jahr                                  | Gemäss Abschnitt 8.2.1         | Gemäss Abschnitt 8.2.1         |
| <b>D 2</b> | < 2'000 km/Jahr                                  | 40'000 km                      | 20 Jahre <sup>c)</sup>         |

Tabelle 8-2: Intervalle für Güter- und Dienstwagenradsätze im nationalen Betrieb

- a) Die Einsatzzeit beginnt mit dem Einbau in den Wagen. Sonderbauarten unterliegen unter Umständen separaten Regelungen.
- b) Es wird keine Unterscheidung bei verschiedenartigen Raddurchmessern vorgenommen.
- c) Bedingt eine IS 0 mit Radsatzlagerkontrolle im eingebauten Zustand nach 10 Jahren Einsatzzeit (maximale Revisionsfrist gemäss AB-EBV für Fahrzeuge).

Nach Ablauf der maximalen Laufleistung, jedoch spätestens nach der Überschreitung der maximalen Einsatzzeit der entsprechenden Radsatzgruppe sind die Radsätze auszubauen und der Radsatzinstandhaltung zuzuführen.

#### Radsatzgruppe D 1

sind Radsätze von Güter- und Dienstwagen, die ausschliesslich im nationalen Verkehr Schweiz eingesetzt werden und eine Laufleistung von mehr als 2'000 km pro Jahr aufweisen. Die Instandhaltung dieser Radsätze soll gleich wie bei TEN-/RIV-Wagen nach den internationalen Vorgaben der TSI und ERA/COTIF bzw. VPI erfolgen. Sie werden je nach Laufleistung der Radsatzgruppe A bis C gemäss Tabelle 8-1 zugeordnet.

#### Radsatzgruppe D 2

sind Radsätze von Güter- und Dienstwagen, die ausschliesslich im nationalen Verkehr Schweiz eingesetzt werden und eine Laufleistung von weniger als 2'000 km pro Jahr aufweisen. Die Instandhaltung der Radsätze von Güter- und Dienstwagen gemäss dieser Einteilung kann nach den Empfehlungen dieser RTE-Regelung erfolgen (siehe Tabelle 8-2). Dabei ist sicher zu stellen, dass der Radsatz nach einer Einsatzzeit von 20 Jahren mindestens eine Instandhaltung gemäss Stufe IS 2 erhält.

### 8.3.3 Unterschied der Intervalle im internationalen und nationalen Betrieb

Die Ergänzung der international gültigen Intervalle der planbaren Instandhaltung für Radsätze im nationalen Betrieb soll es den Schweizer Haltern von Dienstwagen mit sehr geringer Laufleistung ermöglichen, eine gegenüber den internationalen Vorgaben vereinfachte Instandhaltung auszuführen. Zur Wahrung der Betriebssicherheit gelten dabei andere Revisionsfristen.

Massgebend dafür ist unter Anderem:

- Geringere mechanische Belastung des Radsatzes im Zeitintervall bei kleiner Laufleistung.
- Geringerer laufleistungsabhängiger Verschleiss, insbesondere der Lauffläche.
- Vermeidung von Betriebsstörungen durch Radsätze mit Stillstands Schäden.

Die zu beachtenden Intervalle sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

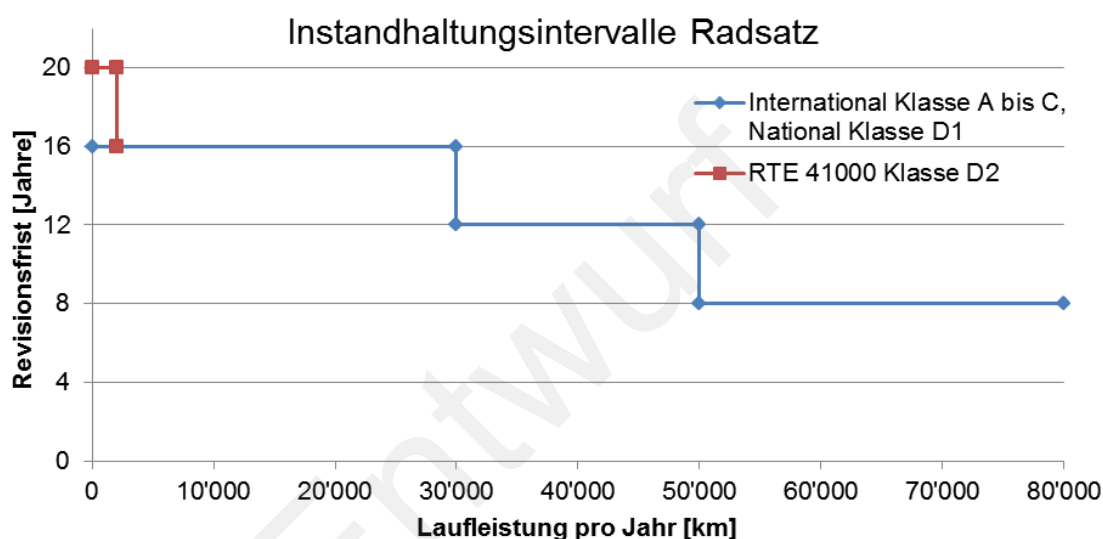


Abbildung 8-2: Instandhaltungsintervalle der verschiedenen Radsatzklassen

### 8.3.4 Instandhaltungsstufe IS 0 (Inspektion)

Bei den Radsätzen für Güter- und Dienstwagen sind keine planmässigen Kontrollstufen vorgesehen. Die Überwachung erfolgt im Betrieb sporadisch durch Visiteure und streckenseitige Einrichtungen (z.B. Heissläuferortungsanlage) oder beim Aufenthalt des Wagens in einer Werkstatt aus anderen Gründen.

Es wird jedoch empfohlen, insbesondere bei Güterwagen mit hoher Laufleistung oder Dienstwagen mit sehr niedriger Laufleistung und damit grossem Revisionsintervall eine jährliche oder zweijährliche visuelle Kontrolle der Radsätze durchzuführen. Dabei sollten folgende Tätigkeiten ausgeführt werden:

- visuelle Kontrolle und ggf. geometrische Prüfung des Radprofilzustandes
- Prüfen Raddurchmesser durch visuelle Kontrolle der Verschleissrille
- visuelle Kontrolle der Laufflächen
- visuelle Kontrolle der Radsatzwelle auf Beschädigungen
- visuelle Kontrolle des Radsatzlagergehäuses auf Fettaustritt und mechanische sowie thermische Schäden
- visuelle Kontrolle des Sprenglings bei bereiften Radsätzen

Bei Radsätzen der Radsatzklassen A bis C sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- visuelle Kontrolle von Datenband oder Radsatzmarkierung
- Messen von Spurmass  $S_R$ , Radrückenabstand  $A_R$ , Spurkranzhöhe  $Sh$ , Spurkranzdicke  $S_d$  sowie  $q_R$ -Mass

Diese Kontrollpunkte sind auch bei jedem ausserplanmässigen Werkstattzulauf eines Wagens auszuführen. Weitere Arbeitsinhalte sind durch den Radsatzhersteller oder den Halter zu definieren.

Festgestellte Mängel sind zu beseitigen. Ist dies nicht im eingebauten Zustand möglich so ist der Radsatz auszubauen und der Instandsetzung zuzuführen.

### 8.3.5 Instandhaltungsstufe IS 1

Profilbearbeitung in ausgebautem Zustand mit Radsatzlagerkontrolle und ZfP Lauffläche sowie Eigenspannungsmessung mittels Ultraschalls am Radkranz bei Vollrädern

Arbeitsschritte siehe Abschnitt 10.3

### 8.3.6 Instandhaltungsstufe IS 2

IS 1 mit Lageruntersuchung und erweiterter ZfP

Arbeitsschritte siehe Abschnitt 10.4

### 8.3.7 Instandhaltungsstufe IS 3

Bewellen, Bescheiben mit IS 2, gegebenenfalls ohne Reprofilierung, Lageruntersuchung und erweiterter ZfP

Arbeitsschritte siehe Abschnitt 10.5

### 8.3.8 Instandhaltungsstufe IL

Die Instandhaltungsstufe IL beschreibt die Radsatzlageruntersuchung. Sie wird in der Regel nur bei Verdacht auf Lagerschaden eigenständig ausgeführt. Ansonsten wird eine IL in Kombination mit einer IS 2 oder IS 3 abgearbeitet.

Die groben Arbeitsschritte einer IL sind:

- Radsatzlagergehäuse und Radsatzlager demontieren
- Radsatzlager reinigen, zerlegen und prüfen
- Radsatzlager nach Befund instand setzen oder verschrotten, neu befeften
- Radsatzlagergehäuse kontrollieren, Schäden ausbessern
- Radsatzlager und Gehäuse montieren
- Dokumentation der Arbeiten

Bei Radsätzen der Radsatzklassen A bis C sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- Kennzeichnung auf Datenband bzw. Radsatzmarke ergänzen
- Dokumentation nach Haltervorgaben ergänzen (Radsatz-Instandsetzungsblatt)

## 8.4 Verschleisskennwerte an Radsätzen

Für die Planung der Instandhaltung kann es sinnvoll sein, eine Aussage über das Verschleissverhalten der eingesetzten Radsätze zu haben. Dabei ist in diesem Zusammenhang insbesondere die zu erwartende Laufleistung von Interesse, um eine Aussage über den nächsten Zeitpunkt einer Radsatzbehandlung machen zu können. Relevante Masse sind dabei der Raddurchmesser und die Profilmasse  $S_d$ ,  $S_h$  und  $q_R$  sowie der Hohllauf  $h$  und die Auswalzung  $a$ .

Bei einer Auswertung ist zu beachten, dass die Anzahl der auszuwertenden Radsätze gross genug ist, um eine einigermaßen solide Datenbasis zu bekommen. Dabei ist zu beachten, dass unterschiedliche Fahrzeugeinsätze oder Fahrzeugumläufe einen nicht zu vernachlässigbaren Einfluss auf den Verschleiss haben können.

Vor der Berechnung von Verschleisskennwerten ist deshalb genau zu definieren, welche Radsätze einer Flotte in die Auswertung mit einbezogen werden.

### 8.4.1 Verschleisskennwerte des Raddurchmessers

Für den Raddurchmesser existieren zwei Verschleissbetrachtungen:

- Laufleistungsverbleiss über die reine Laufleistung
- Gesamtverschleiss von Laufleistung inklusive Materialverlust durch Reprofilierungen

Relativ aussagekräftig und für den operativen Betrieb interessant ist der reine Laufleistungsverbleiss. Diese Werte sind einigermaßen genau ermittelbar.

Der individuelle Gesamtverschleiss eines einzelnen Radsatzes kann innerhalb der Flotte stark variieren, da die Anzahl der Reprofilierungen und deren Spantiefe je nach Erscheinungsform und Reprofilierungsgrund stark unterschiedlich sein können.

#### 8.4.1.1 Laufleistungsverbleiss

Der Laufleistungsverbleiss wird als Differenz des Raddurchmessers nach einer Profilbearbeitung zum Raddurchmesser vor der nächsten Bearbeitung und der dazwischen zurückgelegten Laufleistung berechnet. Er beinhaltet alle Verschleissvorgänge, die nur durch den Rad-Schiene Kontakt stattfinden.

Mit diesem Verschleissfaktor lässt sich relativ genau vorhersagen, wann ein Rad einen bestimmten Durchmesserwert erreicht. Dies ist insbesondere zur Definition von Restlaufleistungen bei Raddurchmessern nahe am Betriebsgrenzmass hilfreich.

Um einen einigermaßen aussagekräftigen Verschleissfaktor zu erhalten, empfiehlt es sich, eine ausreichend grosse Anzahl Radsätze mit auswertbaren Daten in die Auswertung mit einzubeziehen. Auf die Art der Auswertung soll hier nicht weiter eingegangen werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine grafische Auswertung. Spätestens hier muss zur genaueren Ermittlung der Verschleisskennzahl mit statistischen Mitteln gearbeitet werden.



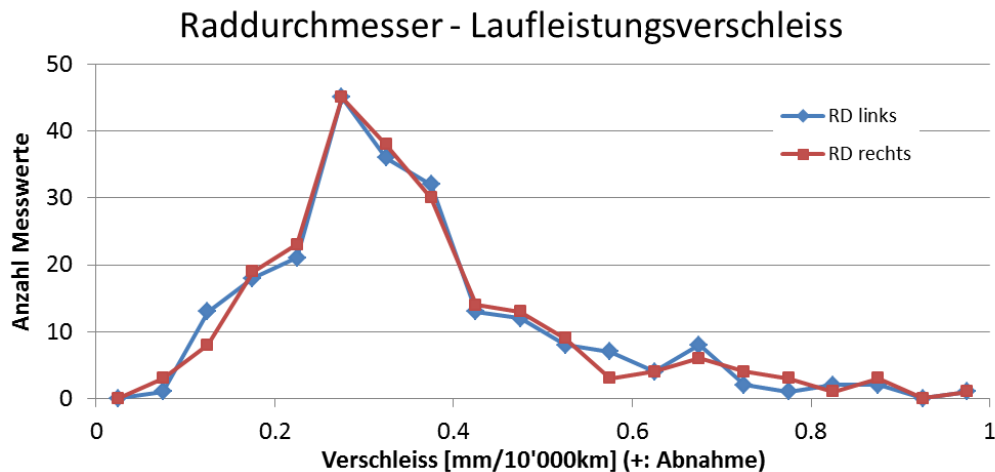


Abbildung 8-3: Laufleistungsverschleiss Raddurchmesser einer Flotte

Für die Berechnung von Restlaufleistungen ist ein Wert über die Flotte massgebend. Dieser muss so gewählt werden, dass mit Sicherheit keine Radsätze auf Grund solcher Berechnungen mit untermassigen Rädern im Betriebseinsatz sind. Für die Berechnung gilt

$$L_{\text{Rest}} = \frac{D_{\text{ist}} - D_{\text{Grenz}}}{f_{\text{LL}}}$$

Formel 8-1: Berechnung der Restlaufleistung

Wobei

$L_{\text{Rest}}$ : Restlaufleistung

$D_{\text{ist}}$ : Istdurchmesser Rad

$D_{\text{Grenz}}$ : Raddurchmesser Betriebsgrenzmass

$f_{\text{LL}}$ : Faktor Laufleistungsverschleiss

Wird der Laufleistungsverschleiss zum Beispiel mit dem Wert 0.7 mm pro 10'000 km angenommen so kann berechnet werden, dass ein Radsatz mit gemessenem Durchmesser 861.5 mm noch ca. 20'000 km im Betrieb bleiben darf, bis er sein Betriebsgrenzmass von 860 mm erreicht hat.

### 8.4.1.2 Gesamtverschleiss

Der Gesamtverschleiss des Raddurchmessers bezieht neben dem Laufleistungsver-  
schleiss auch noch den Materialverlust durch Reprofilierungsarbeiten mit ein. Da der Ma-  
terialverlust beim Reprofilieren nicht nur vom Verschleiss am Radprofil, sondern auch  
durch andere, nicht gut erfassbare Faktoren beeinflusst wird ist dieser Wert nur bedingt  
aussagekräftig. Dies betrifft z.B. Reprofilierungen bedingt durch Flachstellen, Ausbröcke-  
lungen oder Polygonbildung.

Bei einer Auswertung des Gesamtverschleisses ist deshalb immer auch der genaue Re-  
profilierungsgrund mit in Betracht zu ziehen und dann gegebenenfalls die Auswertung  
nur über Radsätze zu machen, die nicht aufgrund der oben genannten Störfaktoren re-  
profiliert wurden.

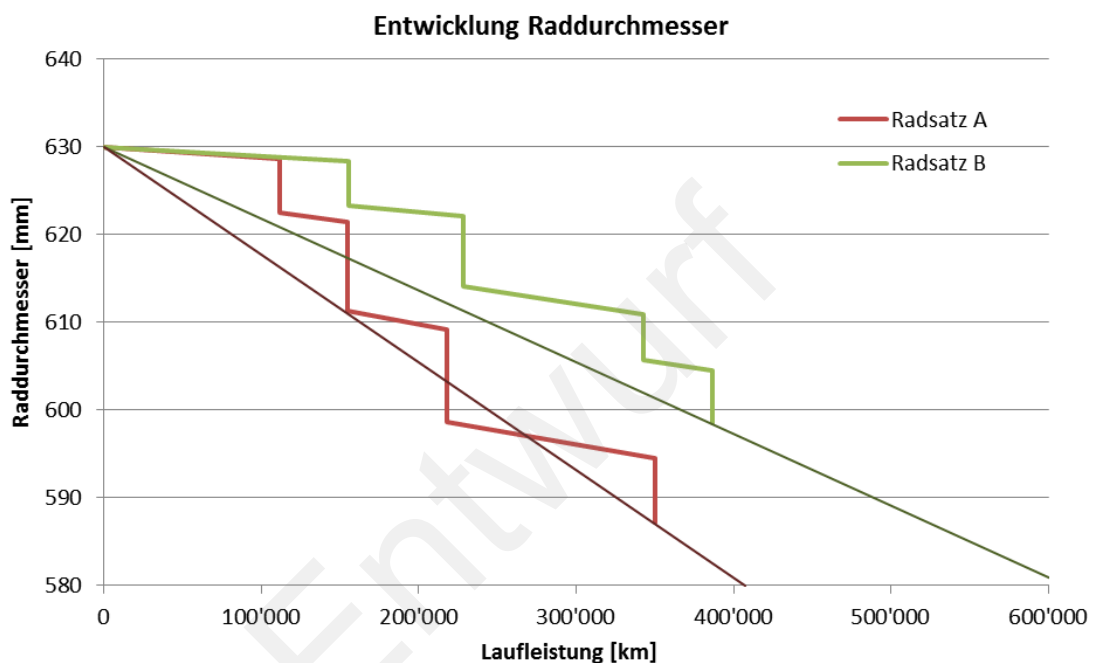


Abbildung 8-4: Gesamtverschleiss Raddurchmesser zweier Radsätze

In der vorhergehenden Abbildung mit realen Werten ist die Streubreite des Gesamtver-  
schleisses pro Radsatz gut ersichtlich. Bei solch grossen Abweichungen innerhalb einer  
Flotte ist eine sensible Auswertung über die Flotte mit Einzelfallbeurteilung notwendig.

### 8.4.2 Verschleisskennwerte am Radprofil

Für die Ermittlung und Berechnung der Verschleisskennwerte am Radprofil gilt sinngemäss der Abschnitt 8.4.1.1. Da die Masse am Radprofil bei jeder Reprofilierung wieder neu hergestellt werden, erübrigt sich eine Betrachtung über die Gesamtlauflistung des Rades. Auch die Berechnung der zu erwartenden Restlauflistung erfolgt sinngemäss wie in Abschnitt 8.4.1.1.

Als Besonderheit sei noch angemerkt, dass die Verschleisskennzahlen bei gewissen Massen, insbesondere  $S_d$  und  $q_R$ , auch negativ werden können. Im Falle eines negativen Verschleissfaktors der Spurkranzdicke nimmt dieser im Betrieb an Dicke zu.

Auch hier besteht wieder die Schwierigkeit darin, den korrekten Verschleissfaktor zu berechnen. Die nachfolgende Grafik verdeutlicht dies. Die Spurkranzdicke kann über die gesamte ausgewertete Flotte um ca. 0.5 mm zunehmen oder um 0.8 mm abnehmen. Beim Grossteil der Flotte nimmt die Spurkranzdicke leicht ab.

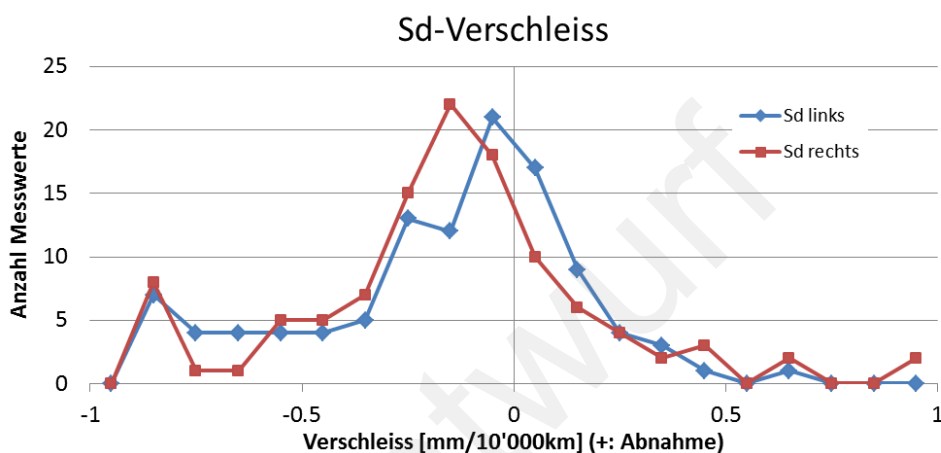


Abbildung 8-5: Spurkranzverschleiss einer Flotte

Bei so breit gestreuten Verschleisswerten empfiehlt es sich, die Datenbasis genauer anzuschauen und ggf. dort zu differenzieren, z.B. nach Fahrzeugumläufen oder Einbauorten der Radsätze.

Auch hier sind zur genaueren Bestimmung der Verschleisskennwerte statistische Methoden anzuwenden.

## 9 Instandhaltung – Radsätze Lokomotiven und Personenfahrzeuge

---

Die Instandhaltungsarbeiten haben sich grundsätzlich gemäss den Vorgaben in den AB-EBV, aktuell gültigen SN EN-Normen und UIC-Richtlinien sowie den geltenden Unterhaltsvorschriften des Lieferanten zu richten. Wo keine Lieferantenvorschriften vorhanden sind, gelten die nachfolgenden Vorgaben.

Die gesetzlichen Vorgaben, Normen und Richtlinien lassen in Bezug auf einen konkreten Radsatztyp oftmals einen gewissen Ermessensspielraum zu. Es obliegt dem Fahrzeughalter, in eigenen Vorgabedokumenten (technische Regeln), die auf einen Radsatztyp konkret anzuwendenden Arbeitsinhalte, Grenzwert und Verfahren zu definieren (ECM-Prinzip). Diese Vorgabedokumente sind den Instandhaltungsbetrieben zur Verfügung zu stellen. Eine verfahrenstechnische Besonderheit ist, dass Schweissarbeiten an Radsatzwellen, Vollrädern und Radreifen grundsätzlich verboten sind.

Für die Instandhaltung von Radsätzen, welche in Lokomotiven und Personenfahrzeugen (Triebzüge, Reisezugwagen/RIC-Wagen) im internationalen Betrieb eingesetzt werden, sind zusätzlich zu dieser RTE-Regelung die internationalen Vorgaben sowie die länderspezifischen Zulassungsbedingungen zu berücksichtigen. Bei unterschiedlichen Angaben bezüglich Instandhaltungsarbeiten oder einzuhaltenden Abmessungen resp. Grenzmasse sind die internationalen Vorgaben massgebend.

### 9.1 Anforderungen an Instandhaltungsbetriebe

---

Instandhaltungsbetriebe, welche Arbeiten an Radsätzen ausführen, sind vom Fahrzeughalter zu autorisieren. Zur Freigabe durch den Fahrzeughalter muss das Werk die notwendige spezifische Kompetenz nachweisen können und über eine geeignete, dem Stand der Technik angepasste Ausrüstung verfügen. Die Mitarbeiter müssen regelmäßige Tätigkeit und fachspezifische Kenntnisse und Ausbildungen (z.B. ZfP) nachweisen können. Diese Grundsätze entsprechen auch dem ECM-Prinzip, wie es bei Güterwagen anzuwenden ist (siehe Kapitel 10).

Die Instandhaltungsbetriebe müssen in der Lage sein, die technischen Vorgaben des Fahrzeughalters vollumfänglich zu erfüllen. Sie müssen die Arbeiten an den Radsätzen nachvollziehbar dokumentieren können und sind während mindestens einer Lebensdauerperiode (Lebensdauer der Radscheibe) des Radsatzes bezüglich der von ihnen vorgenommenen Arbeiten auskunftspflichtig.

### 9.2 Leichte Instandhaltung Kontrollstufen K1 – K4 und R0

---

Die unter Abschnitt 9.2 zusammengefassten Tätigkeiten umfassen in erster Linie die Arbeiten am eingebauten Radsatz. Dies sind die Kontrollstufen, wie sie in den Abschnitten 8.2.1.1 und 8.2.1.2 beschrieben sind, sowie Radprofilbehandlungen in Anlehnung an Abschnitt 8.2.2.1.

#### 9.2.1 Kontrollen (K1 – K4) der Radsätze

Der Arbeitsinhalt entspricht den Angaben aus Abschnitt 8.2.1.1 und 8.2.1.2. Sämtliche Komponenten des Radsatzes sind ausserdem auf einwandfreie Beschichtung zu kontrollieren. Die korrekte Ausführung der Tätigkeiten ist angemessen zu dokumentieren.

Besonders für die geometrische Prüfung des Radprofils in den Kontrollstufen K2/K3/K4 ist ein schriftlicher Nachweis (Messprotokoll) zu führen. Bei ungenügendem Radprofil ist

eine Ausbesserung gemäss Abschnitt 9.2.3 vorzunehmen, oder der Radsatz zu tauschen.

Schäden an der Radsatzwelle oder den Rädern, sowie Beschichtungsmängel können eine Ausbesserung gemäss Abschnitt 9.2.2 bedingen.

### 9.2.2 Zulässige Ausbesserungsarbeiten am Radsatz

Bei Schlagspuren, Schleifspuren, Scheuerstellen und Korrosion darf die Lackierung zur genaueren Überprüfung entfernt werden. In klar definierten und vorgegebenen Bereichen gemäss Tabelle 9-1 dürfen solche Beschädigungen auf der Radsatzwelle bis zu einem gewissen Mass manuell ausgeschliffen werden. Dabei sind die Prinzipien zur Reinigung der geschädigten Bereiche gemäss den Angaben in Abschnitt 12.1.1 bezüglich der zu verwendenden Werkzeuge sinngemäss anzuwenden. Zur Ausführung der Beschichtung wird auf Abschnitt 12.3 verwiesen.

Werkzeuge und Methoden zum Ausbessern von Beschädigungen werden nachfolgend und insbesondere in den Abschnitten 12.1.1 und 12.3.5.1 definiert (z.B. Ausmulden von Schlagschäden an Radsatzwellen). Klar verboten ist hingegen das Schweißen an Radsatzwellen, Vollrädern und Radreifen.

In gewissen Fällen kann die Ausbesserung den Ausbau des Radsatzes bedingen, die Massnahme bleibt aber trotzdem eine leichte Instandhaltung, da es sich nur um eine Ausbesserung, nicht aber um eine Revisionsstufe handelt.

Beschreibung der zulässigen Grenzmasse und Dokumentierung möglicher Schadensbilder an den Radsatzwellenpartien:

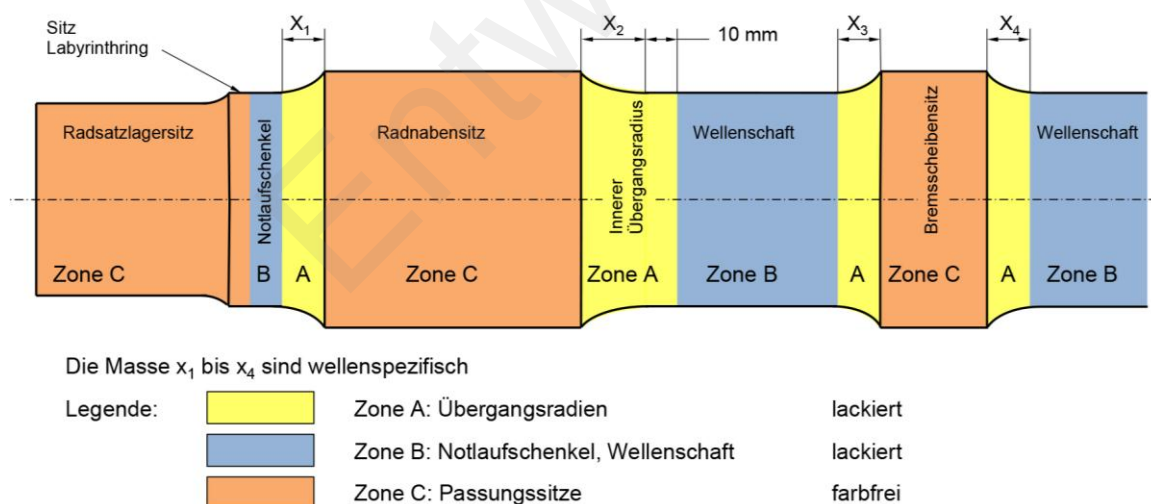


Abbildung 9-1: Radsatzwellenzonen



Ausbesserungen von Oberflächenschäden an der Radsatzwelle dürfen gemäss nachfolgender Tabelle vorgenommen werden:

| Schadenart                              | Zone   | Radsatz eingebaut,<br>lokale Nacharbeit<br>von Hand | Radsatz ausgebaut,<br>Umbearbeitung auf<br>Werkzeugmaschine möglich |
|-----------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Lackschäden                             | Zone A | zulässig                                            | zulässig                                                            |
|                                         | Zone B | zulässig                                            | zulässig                                                            |
|                                         | Zone C | nicht zutreffend                                    | nicht zutreffend                                                    |
| Korrosion und<br>mechanische<br>Schäden | Zone A | nicht zulässig                                      | zulässig                                                            |
|                                         | Zone B | zulässig                                            | zulässig                                                            |
|                                         | Zone C | nicht zugänglich                                    | zulässig                                                            |

Tabelle 9-1: Ausbesserung von Oberflächenschäden an Radsatzwellen

Bei der Ausbesserung von Lackschäden und oberflächlicher Korrosion in der Zone A dürfen nur nicht metallisch abrasive Reinigungs- und Schleifmittel verwendet werden.

Allgemein ergeben sich an Radsatzwellen in Zonen der Klasse A die höchsten Spannungen und Belastungen. Deswegen muss hier besonderes Augenmerk auf Fehlerfreiheit gelegt werden. Kleinste kerbwirkende Schäden können zur Ausbildung von Rissen führen. Daher darf die Schadenausbesserung bei Korrosion und mechanischer Beschädigung hier nicht von Hand (z.B. durch lokales Ausschleifen) erfolgen.

Bei sämtlichen Ausbesserungen von Korrosion und mechanischen Schäden ist auf hohe Oberflächengüte und saubere Verrundung von Kanten zu achten.

Zum Nachdrehen von Wellenpartien im ausgebauten Zustand auf Werkzeugmaschinen ist die maximal zulässige Reduktion der Durchmesser zu beachten, das Betriebsgrenzmass der Durchmesser darf nicht unterschritten werden. Es sind die Herstellerangaben oder Vorgaben des Fahrzeughalters massgebend.

An Radscheiben dürfen Ausbesserungen sinngemäss nach den obigen Angaben gleichermassen ausgeführt werden.

Nach abgeschlossener Ausbesserung von Schäden ist vor dem Aufbringen einer neuen Beschichtung durch geeignete ZfP die Rissfreiheit der Komponente zu prüfen.

Diese Vorgaben gelten auch für kaltgewalzte Radsatzwellen.

### 9.2.3 Reprofilierung auf UFD (Unterflurdrehbank, R0 Radsatz eingebaut)

Bearbeitung von einem einzelnen Radsatz, Drehgestell, Wagen/Lok oder Triebzug möglich. Keine Demontearbeiten am Radsatz notwendig. Fälligkeit anhand festgelegter fahrzeugspezifischer Frist oder bei entsprechendem Befund aus den Kontrollstufen K1 – K4:

- Es ist kein Spannen von Rad oder Welle erforderlich, Antrieb des Radsatzes über die angetriebenen Stützrollen. Bei (leichten) Laufdrehgestellen von Triebzügen oder bei der Bearbeitung von einzelnen Drehgestellen/Radsätzen muss über das Achslagergehäuse zusätzlich Gegenkraft aufgebracht werden. Dazu ist die Auslegung und Konstruktion des Achslagergehäuses zu beachten (Vermeidung von Beschädigungen und Verbiegung der Radsatzwelle durch zu starkes Abspannen).
- Arbeitsschritt: Automatisierte Vermessung der Profilgeometrie IST-Zustand und Bearbeitung von Radprofil und Bremscheiben, Materialabtrag nach Vorgabe des Unterhaltbetriebes (so wenig wie nötig gemäss Profilvermessung oder generelles Dickenmass abdrehen), dabei ist zu beachten, dass vorhandene Risse und Ausbröckelungen vollständig zu beseitigen sind
- Durchmesserunterschiede von Rad/Rad pro Radsatz und Radsatz/Radsatz pro Drehgestell sind gemäss Hersteller beachten. Es sind auch die zulässigen Unterschiede zwischen den Drehgestellen gemäss Herstellerangaben oder Reglemente zu beachten.
- keine zusätzliche Wuchtung des Radsatzes erforderlich
- Protokollierung/Dokumentation radsatzbezogen über EDV-System (Raddurchmesser, Radrückenabstand  $A_R$ , Rundlauf, Planlauf, Profil,  $q_R$ -Mass, etc.), Protokollierung der Messdaten vor und nach der Bearbeitung notwendig
- Über das Kennzeichnungsband oder die Radsatzmarke ist jeder Radsatz ohne Demontage des Lagerdeckels eindeutig identifizierbar.
- Falls kein Kennzeichnungsband vorhanden ist: Stirnseitige Kennzeichnung der Radsatzwelle einsehen (Demontage Radsatzlagerdeckel).
- weitere Verfahren nach Freigabe Technik (ECM 2)

Die Nachbearbeitung des Radprofils im ausgebauten Zustand ist im Rahmen der leichten Instandhaltung ebenfalls möglich. Die Arbeitsinhalte für diesen Fall entsprechen der Revisionsstufe R0, wie sie im Abschnitt 9.3 beschrieben ist, wobei ein Sollzustand anzustreben ist, der den Radsatz befähigt, bis zur nächsten Reprofilierung eingesetzt werden zu können.

### 9.2.4 Kontrolle nach besonderen Ereignissen

Radsätze von Fahrzeugen, die Entgleisung, Anprall oder Überrollungen von Gegenständen erfahren haben, sind vertieft zu prüfen. Minimal müssen zusätzlich zu den Arbeitsinhalten der K-Stufen 1 und 2 folgende Punkte geprüft werden:

- Messung  $A_R$ -Mass am Radsatz an mindestens 3 Stellen
- Im Zweifelsfall ist auch der Rundlauf und der Planschlag des Radkranzes und der Radsatzwelle zu messen.

Je nach Betriebserfahrung kann auch der generelle Tausch der Radsatzlager bei Entgleisung empfehlenswert sein.

## 9.3 Schwere Instandhaltung Revisionsstufen R0 – R4

Ziel der schweren Instandhaltung ist die Einhaltung allgemeiner Masstoleranzen und Vorgaben gemäss Herstellerangaben.

Die Arbeitsinhalte umfassen die Tätigkeiten gemäss den Angaben aus Abschnitt 8.2. Nach einer Revisionsstufe R muss der Radsatz dem Sollzustand entsprechen. Unter Sollzustand ist ein Zustand zu verstehen, in dem der Radsatz ohne Ausbau für eine weitere Revisionsperiode einsatzfähig sein.

Voraussetzung für die Instandhaltung:

- Radsatz ist gereinigt
- Zustandsprotokoll vorhanden
- Radsatzhistorie verfügbar/abrufbar
- Für Radsätze nach besonderen Ereignissen ist Abschnitt 9.2.4 zu beachten.

### 9.3.1 Haupttätigkeiten bei der Aufarbeitung R0 – R4

Die Haupttätigkeiten umfassen alle Arbeiten zur Wiederherstellung des Soll-Zustandes.

Im Wesentlichen sind dies der Tausch oder Ersatz von Vollrad, Radreifen, Bremsscheibe und Radsatzlager nach dem Erreichen des Betriebsgrenzmasses oder des Werkgrenzmasses (z.B. kleinster zulässiger Raddurchmesser ab R0) oder der zulässigen Kilometerlaufleistung. Dazu kommen Ausbesserung, Kontrolle und Prüfung (UT, MT) der Radsatzkomponenten.

### 9.3.2 Aufnahme der Radsatzgeometrie IST-Zustand bei IH-Eingang

Eine Geometriemessung (Planlauf Radscheiben/Felgen, Rundlauf Radsatzwelle, Radrückenabstand, etc.) ist zu Beginn des Instandhaltungsprozesses nicht zwingend. Allfällige Abweichungen vom Soll-Zustand werden in den folgenden Arbeitsschritten ebenfalls zuverlässig festgestellt. Mit einer Eingangsprüfung können aber fehlerhafte Radsätze frühzeitig ausgeschieden und somit unnötige Arbeitsschritte vermieden werden.

Für Radsätze nach besonderen Ereignissen ist Abschnitt 9.2.4 zu beachten.

### 9.3.3 Demontage Achslagerung

- Demontage mit Abziehvorrichtung

### 9.3.4 Demontage Radsatzkomponenten

- Abpressen Antriebszahnrad (bei Bedarf)
- Abpressen bzw. auftrennen der Vollräder
- Abpressen der Radscheibe mit Radreifen
- Abpressen bzw. auftrennen der Bremsscheiben
- Demontage von geteilten Bremsscheiben
- Falls nur Radreifen getauscht wird, ist der Radreifen aufzutrennen. Zur Demontage der alten Radreifen ist der eingewalzte Sprengring mit geeigneten Methoden zu entfernen, ohne die Radfelge zu beschädigen. In der Regel wird dazu auf einer Drehmaschine der Sprengring durch Abdrehen von Radreifenmaterial ausgestochen. Nach dem Entfernen des Sprengrings ist der Radreifen durch sorgfältiges Auftrennen oder gezieltes Erwärmen so weit aufzuweiten, dass er ohne Probleme von der Felge abgenommen werden kann.

### 9.3.5 Aufarbeitung Radsatzwelle

Nach erfolgter Demontage der Radsatzkomponenten gemäss 9.3.4

- visuelle Kontrolle der stirnseitigen Gewindebohrungen
- visuelle Kontrolle der Sitze
- visuelle Kontrolle auf Korrosionsschäden
- ZfP an der gesamten Radsatzwelle

### 9.3.6 Reparaturen an Radsatzwelle und Radscheibe

- Ausschleifen von Schlagspuren in definierten Zonen der Welle
- Entfernung von Korrosionsschäden
- Nachbearbeitung von Ziehriefen und Korrosionsschäden an Presspassungen  
Grenzmass des Wellendurchmessers gemäss Hersteller beachten
- Untermassige (Rohlings-) Bohrung an neuen Wellendurchmesser anpassen
- Reparaturvorgaben gemäss Hersteller berücksichtigen

Das Schweißen an Radsatzwellen und Vollrädern ist grundsätzlich verboten. Dagegen kann das Aufschweißen von Radnabenbohrungen und das Reparaturschweißen von Speichenrädern (Stahlgussräder) unter definierten Bedingungen zugelassen werden.

Nach Abklärung und Freigabe durch die Instandhaltungsbetriebe/Technik (ECM 2) können weitere Reparaturmassnahmen geprüft und angewendet werden.

Die in Abschnitt 9.2.2. beschriebenen Prinzipien für die Beseitigung von Schäden sind auch hier sinngemäss anzuwenden.

### 9.3.7 Reprofilierung auf Portaldrehmaschine (R0 Radsatz ausgebaut)

Bearbeitung von einzelnen Radsätzen, bei denen ein Radscheiben- oder Radreifenersatz im Rahmen der schweren Instandhaltung nicht notwendig ist. Vorab sind die Anbauteile (Lagerdeckel, Impulsgeber, Erdungsbürsten, v-Sonde, etc.) zu demontieren, damit der Radsatz über die Pinole auf der Drehmaschine zentriert werden kann. Die stirnseitige Kennzeichnung zur Radsatzidentifizierung ist durch die Demontage der Anbauteile ersichtlich.

- Das Spannen der Welle/Räder erfolgt durch spezielle Spannbacken, welche die Komponenten des Radsatzes nicht beschädigen. Die Spannbacken dürfen keine Kerben verursachen.
- Arbeitsschritt: Bearbeitung von Radprofil und Bremsscheiben, Materialabtrag nach Vorgabe des Instandhaltungsbetriebes (so wenig wie nötig gemäss vorgängiger Profilvermessung oder generelles Dickenmass abdrehen). dabei ist zu beachten, dass vorhandene Risse und Ausbröckelungen vollständig zu beseitigen sind
- Durchmesserunterschiede von Rad/Rad pro Radsatz gemäss Herstellerangabe oder Reglement beachten
- Keine zusätzliche Wuchtung des Radsatzes erforderlich
- Protokollierung/Dokumentation radsatzbezogen, vorzugsweise über EDV-System (Raddurchmesser, Radrückenabstand AR, Rundlauf, Profil,  $q_R$ -Mass, etc.)
- visuelle Kontrolle des Radsatzlagers und manuelle Kontrolle, ob das Lager frei drehbar ist, «schlägt» oder Geräusche macht

### 9.3.8 Aufpressen von Komponenten auf die Radsatzwelle

Montage von Vollrad, Radscheibe, Bremsscheibe, Antriebszahnrad.

Massgebend für die Montage der Radsätze sind die Vorgaben der SN EN 13260. Mögliche Ausnahmen werden im Abschnitt 15.1 beschrieben. Das Montageverfahren der Radscheiben mittels Klebschrumpfen ist sehr radsatzspezifisch. Dort sind die Verfahrensvorgaben des Radsatzkonstruktors zu befolgen.

- Rundlaufkontrolle der Welle
- Presssitze vermessen
- Vorgehen je nach Wahl des Instandhaltungsbetriebes: Nabenbohrung von Rad (inkl. Ölabbpressnut/-bohrung), Bremsscheibe, Zahnrad an Wellensitz anpassen oder bereits bearbeitete Komponenten mit passender Toleranzpaarung wählen
- Fügen der Komponenten nach Wahl des Instandhaltungsbetriebes (warm / kalt / Wahl der Montagepaste): Vorgaben der Hersteller oder des Halters berücksichtigen  
Beim Fügen muss die Lage der statischen Unwuchten der Einzelkomponenten zueinander berücksichtigt werden.
- Die Aufpresskraft an der Presse muss zur Qualitätssicherung überwacht werden.
- Aufpressdiagramm von Rad, Bremsscheibe und Zahnrad in Radsatz-Historie dokumentieren
- Neuprofilierung des Radsatzes, sofern nicht fertig bearbeitete Radscheiben aufgespresst wurden
- Kontrolle Rundlauf und Planschlag
- Kontrolle AR-Mass gemäss Zeichnung oder Werte aus Abschnitt 6.6.1.7.
- Elektrische Widerstandsmessung
- bei Bedarf auswuchten

### 9.3.9 Neubereifung

- Rundlaufkontrolle der Radscheiben (Radkörper) notwendig
- Radsatz mit aufgespressten Radscheiben überdrehen, sofern notwendig
- Radreifen-Rohling an Radscheibenkörper anpassen
- Aufschrumpfen der Radreifen (warm)
- Vorgaben der Hersteller berücksichtigen
- Sprengring zur Sicherung einwalzen
- Neuprofilierung der Radreifen
- Rundlauf der bereiften Räder prüfen und in Radsatzhistorie dokumentieren
- Kontrolle AR-Mass gemäss Zeichnung oder Werte aus Abschnitt 6.6.1.7.
- Elektrische Widerstandsmessung
- bei Bedarf auswuchten
- Markierungen gemäss Abschnitt 6.6.2.10 anbringen

Vor der Montage neuer Radreifen sind der Rundlauf und der genaue Durchmesser der Felge zu bestimmen, nachdem der Bereich des Radreifensitzes gereinigt wurde. Felgen mit unzureichender Oberflächenqualität und mangelhaftem Rundlauf sowie mangelhafter Formtoleranz können in begrenztem Rahmen überdreht werden.

Sofern keine Vorgaben in der Radsatzdokumentation vorhanden sind, ist die Radreifenbohrung auf den Felgendurchmesser anzupassen, und zwar in der Regel so, dass die Bohrung im Radreifen bei Raumtemperatur um das Schrumpfmass von 1.0 ‰ bis 1.4 ‰ des Felgendurchmessers kleiner ist als der Felgendurchmesser. Zur genaueren Definition des Schrumpfmasses kann die nachfolgende Grafik, die auf Erfahrungen der DB beruht, verwendet werden. Bei den unterschiedlichen Schrumpfmassen wird insbesondere Rücksicht auf eine ausgeglichene Flächenpressung zwischen Radreifen und Radkörper bei den verschiedenen Durchmessern und Bauarten der Räder genommen.

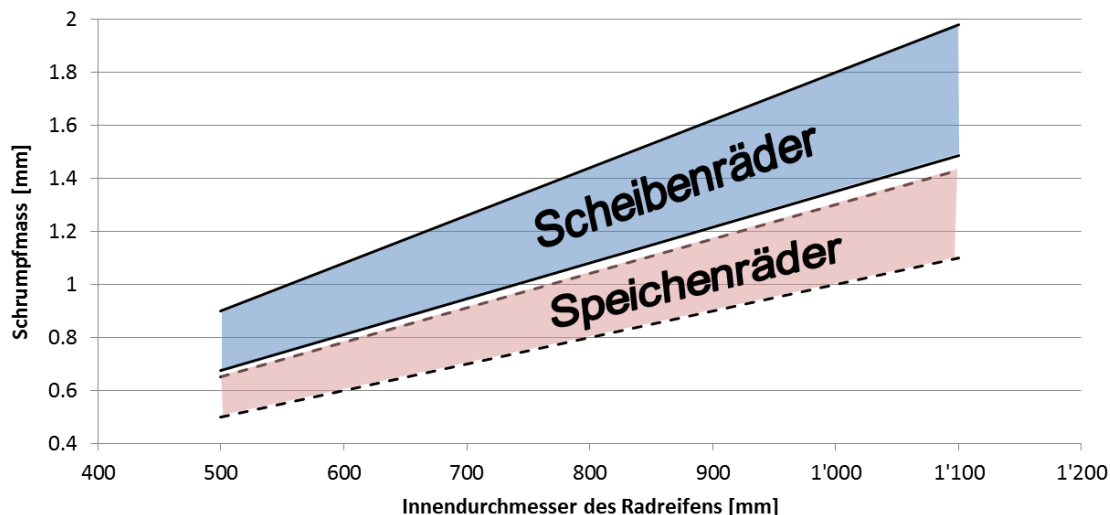


Abbildung 9-2: Schrumpfmass als Funktion des Innendurchmessers des Radreifens und der Felgenbauart.

Legende zu Abbildung 9-2:

|                          | Untere Grenze | obere Grenze |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Scheibenrad Schrumpfmass | 1.35 ‰        | 1.80 ‰       |
| Speichenrad Schrumpfmass | 1.00 ‰        | 1.30 ‰       |

Wenn Radreifen und Felge fertig bearbeitet und eindeutig zueinander gepaart sind wird der Radreifen mit geeigneten Mitteln auf ca. 240 °C bis maximal 300 °C aufgeheizt und so auf die Felge aufgezogen, dass er satt am Übergriff anliegt. Dazu wird in der Regel der Radsatz senkrecht in den geheizten Radreifen gestellt. Der Radreifen muss so lange gleichmässig abgekühlt werden, bis er fest auf der Felge sitzt. Der Festsitz ist vor dem Einsetzen des Sprengrings mit einer Blattlehrfolie (ca. 0.05 mm dick) zu prüfen.

Am festsitzenden Radreifen wird ein passender, vorgeformter Sprengring eingebaut und die noch vorhandene Lücke mit einem einzelnen passend abgeschnittenen Profilstück, dem Sprengringschloss, aufgefüllt. Vom Auffüllen der Lücke im Sprengring mit mehreren kleinen Stücken wird abgeraten. Das Sprengringschloss wird verstemmt und danach der gesamte Sprengring eingewalzt. Dazu sollte der Radreifen genügend Restwärme haben (ca. 80 °C bis 120 °C). Beim Einwalzen des Sprengrings ist zu beachten, dass der Anpressdruck pro Radumdrehung schrittweise langsam erhöht wird, bis der Sprengring fest eingewalzt ist. Dies kann z.B. mittels Klangprobe am Sprengring festgestellt werden.



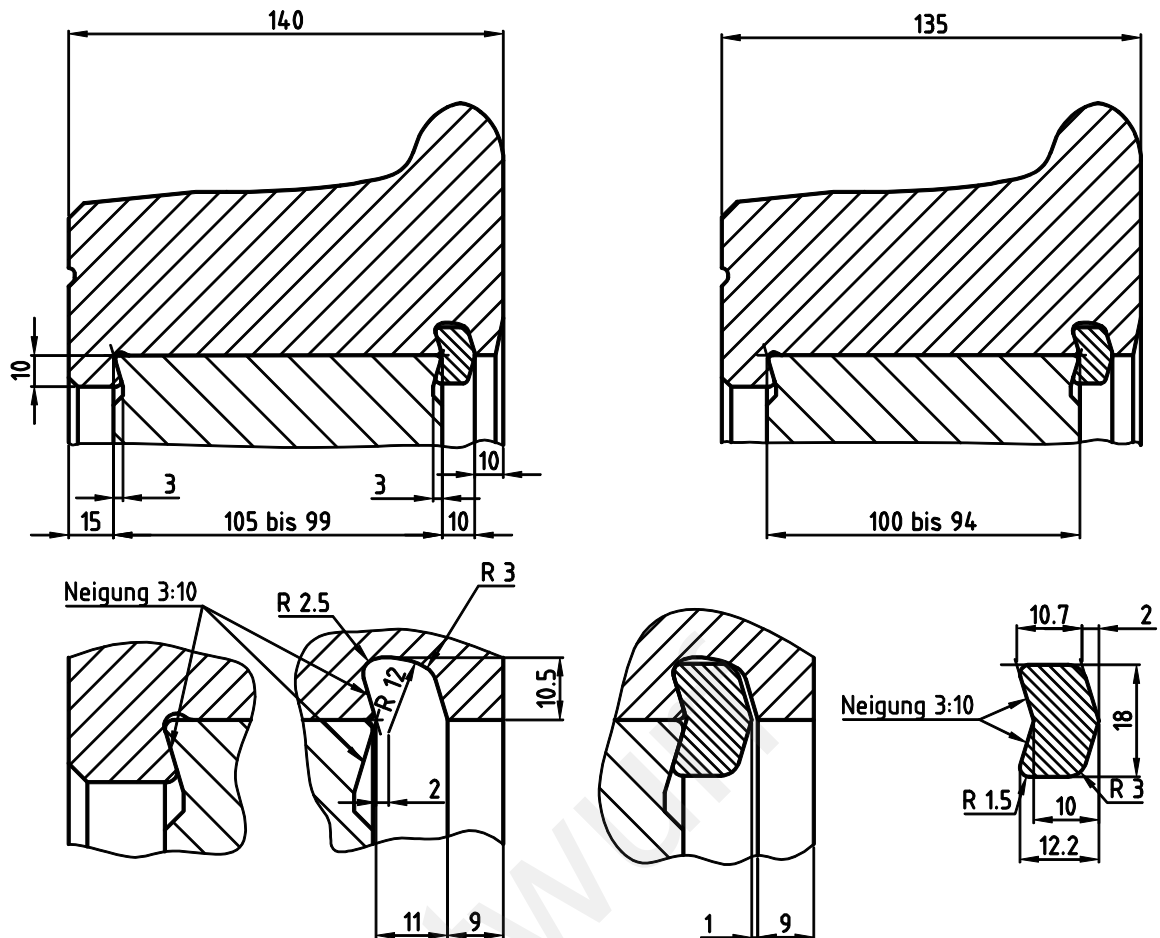


Abbildung 9-3: Grundsätzliche Abmessung der Sicherung Radreifen durch Sprengring

### 9.3.10 Auswuchten Laufradsatz

- 100 % Wuchten der Radsätze mit bereiften Rädern
- Wuchtgüte gemäss Norm
- Unwucht egalisieren gemäss Herstellerangaben, zum Beispiel durch Material abtragen («sicheln»).
- Unwuchtgewichte an Sprengring anschweissen

Radsätze mit Vollrädern müssen nach der Montage nicht zusätzlich gewuchtet werden. Die zulässige Wuchtgüte der Radsätze wird hier erreicht, indem bei der Montage (die vom Lieferanten bereits ausgewuchteten) Radkörper und Bremsscheiben gemäss den Markierungen der Lieferanten zueinander ausgerichtet werden.

### 9.3.11 Nachdrehen der Bremsscheiben

Bearbeitung auf Unterflur- oder Portaldrehmaschine. Vorgaben der Hersteller bezüglich Hohllauf, Grenzmasse/Dicke, etc. sind zu berücksichtigen.

### 9.3.12 Schallabsorber

Tausch gemäss Vorgabe des Herstellers.

**9.3.13 Revision Radsatzlager (Pendelrollenlager, etc.)**

- Auswaschen des Lagerfettes
- Kontrollen der Einzelteile (Innen-/Aussenring, Käfig, Wälzkörper, Spiel und Dichtungen) gemäss Vorgabe des Herstellers, Schadensbildkataloge der Hersteller für Schäden an Wälzkörpern und Laufbahnen sind zu beachten
- Befüllung gemäss Vorgabe des Herstellers
- Montage und nachmessen der Lagerluft
- Ausmusterung nach Jahrgang oder Kilometerlaufleistung
- Überwachung und Vorgehen nach Wahl des Bahnbetreibers

**9.3.14 Revision Kartuschenlager**

Die Aufarbeitung der Lager und die Kontrolle des Lagerspiels gemäss Vorgaben des Herstellers dürfen nur durch eine spezialisierte Werkstatt erfolgen. Die Werkstatt wird in der Regel durch den Lagerhersteller zertifiziert.

**9.3.15 Montage Radsatzlager**

Für die Montage sind die Herstellerangaben zu beachten. Dabei ist insbesondere die Verwendung der korrekten Schrauben und des vorgegebenen Anzugsdrehmomentes gemäss gültigen Zeichnungen zu beachten.

**9.3.16 Lackierung Radsatz**

Lackierung an definierten Zonen der Welle und Radscheibe erfolgt gemäss Vorgabe des Herstellers oder Fahrzeughalters (siehe auch Abschnitt 12.3).

## 10 Instandhaltung – Radsätze Güterwagen und Dienstwagen

---

Für den Einsatz in Güter- und Dienstwagen sind, wenn immer möglich Radsätze mit Vollrädern vorzusehen. Vereinzelt noch in Betrieb stehende Radsätze mit Radreifen sollten keine IS 3 mehr erhalten, sondern durch Radsätze mit Vollrädern ersetzt werden.

Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel auf das Neubereifen von Radsätzen nicht eingegangen. Hinweise zum Vorgehen bei bereiften Radsätzen finden sich im Kapitel 9.

Güterwagenradsätze – und hier insbesondere Radsätze, die im internationalen Verkehr eingesetzt werden – unterliegen tiefgreifenderen technischen und rechtlichen Vorschriften. Aus diesem Grund gibt es bei gewissen Tätigkeiten deutliche Differenzen zu Personen- und Triebfahrzeugradsätzen. Dies betrifft auch die Art der Zulassung der Instandhaltungsbetriebe und der Dokumentation.

Im erweiterten Sinne kann gesagt werden, dass die Instandhaltung der Radsätze gemäss Kapitel 9 landesinternen Vorgaben entspricht. Der Instandhaltung der Güterwagenradsätze in diesem Kapitel liegen jedoch weitgehend europäische Vorgaben zu Grunde.

### 10.1 Mindestanforderungen an Instandhaltungsbetriebe

---

Nur durch den Halter autorisierte Instandhaltungsbetriebe dürfen an Radsätzen und deren Bauteilen Arbeiten ausführen.

#### 10.1.1 Mitarbeiter

Sämtliche Mitarbeiter, die Arbeiten an Radsätzen oder deren Komponenten und Anbauteilen ausführen müssen dazu berechtigt sein. Diese Berechtigung wird vom Arbeitgeber auf Basis von Schulungen und einer Einarbeitung erteilt und überwacht. Die Berechtigung erlischt automatisch, wenn ein Mitarbeiter länger als ein halbes Jahr nicht mehr in der Instandhaltung von Radsätzen, Radsatzlagern und Anbauteilen beschäftigt war. Mitarbeiter ohne Berechtigung dürfen nur unter Aufsicht und Anleitung berechtigter Mitarbeiter an Radsätzen und Radsatzlagern arbeiten.

Schulungen sind durch qualifizierte Personen mit entsprechenden Fachkenntnissen durchzuführen und zu dokumentieren.

#### 10.1.2 Mess- und Betriebsmittel

Der Instandhaltungsbetrieb muss über ein geeignetes System zur Überwachung aller in der Radsatzaufarbeitung verwendeten Messmittel verfügen. Dieses System muss sicherstellen, dass nur zugelassene und kalibrierte Messmittel verwendet werden.

Die Betriebsmittel müssen dem Stand der Technik entsprechen und für die auszuführenden Arbeiten geeignet sein.

#### 10.1.3 Dokumentenverwaltung

Der Instandhaltungsbetrieb muss über ein geeignetes System zur Dokumentenablage und Dokumentensicherung verfügen. Eine Zertifizierung des Instandhaltungsbetriebes gemäss SN EN ISO 9001 ist zwingend. Der Datenaustausch gemäss den Anforderungen aus Kapitel 11 muss möglich sein.

Die Dokumentenverwaltung muss sicherstellen, dass stets gemäss den aktuellen Vorgaben und Zeichnungen gearbeitet wird und ungültige Dokumente eingezogen werden.

## 10.2 Instandhaltungsstufe IS 0

---

Die Instandhaltungsstufe IS 0 enthält visuelle und geometrische Zustandskontrollen am eingebauten Radsatz. Sie wird nur bei besonderem Bedarf und nicht planmässig ausgeführt. Folgende Punkte sollen dabei beachtet werden:

- visuelle Kontrolle des Radprofilzustandes (Hohllauf, Auswalzungen, etc.)
- Prüfen des Raddurchmessers durch visuelle Kontrolle der Verschleissrille, um festzustellen, ob noch genug Verschleissvorrat vorhanden ist
- Geometrische Prüfung durch Lehren oder Nachmessen bei Verdacht auf Grund der visuellen Kontrolle des Radprofils ( $q_R$ , Hohllauf, Sd, Sh, Auswalzungen, etc.)
- Visuelle Kontrolle der Laufflächen auf Flachstellen, Ausbröckelungen, etc.
- Visuelle Kontrolle der Radsatzwelle auf Beschädigungen, sofern der Wagen dazu auf einem Grubengleis steht, visuelle Kontrolle der Radsatzwelle gemäss EVIC, sofern die Voraussetzungen gemäss AVV Anlage 10, Anhang 3 erfüllt sind.
- visuelle Kontrolle des Radsatzlagergehäuses auf Fettaustritt und mechanische sowie thermische Schäden
- visuelle Kontrolle des Sprenglings bei bereiften Radsätzen
- visuelle Kontrolle auf Rostaustritt an der Fügestelle Radreifen – Radkörper
- visuelle Kontrolle der Radnabe auf Rostaustritt an der Fügestelle Welle – Radscheibe

Bei Radsätzen der Radsatzklassen A bis C (Klassifizierung siehe Abschnitt 8.3.1) sind zusätzlich folgende Punkte zu beachten:

- visuelle Kontrolle von Datenband oder Radsatzmarkierung
- Messen von Spurmass  $S_R$ , Radsatzinnenabstand  $A_R$ , Spurkranzhöhe Sh, Spurkranzdicke Sd und  $q_R$ -Mass.

## 10.3 Instandhaltungsstufe IS 1

---

Die Instandhaltungsstufe IS 1 entspricht einer Reprofilierung des Radsatzes mit Kontrolle der Radsatzlager. Folgende Arbeiten werden in der Regel bei einer IS 1 durchgeführt:

- visuelle Kontrolle am Radsatzlagergehäuse und Radsatz auf mechanische Beschädigungen und Allgemeinzustand
- 100 % Eigenspannungsprüfung am Radkranz, bei Überschreitung der zulässigen Werte wird der Radkranz nach Möglichkeit durch gezieltes Erwärmen und Abkühlen regeneriert
- Profilmessung und Reprofilierung auf einer Drehmaschine, das Material ist so weit abzutragen, bis auf der Lauffläche keine Risse mehr vorhanden sind und das Radprofil neuwertig ist
- Kontrolle von Rund- und Planlauf am Radkranz
- 100 % UT-Prüfung vom Radkranz inkl. Lauffläche und Spurkranz
- visuelle Kontrolle vom Lagerfett (Fettfarbe und Zustand, Ablagerungen, etc.) von Aussen ohne Demontage des Lagers, bei älteren Fettarten ist ein Nachfetten mit neuem Fett möglich, aber der Betrieb auf 6 Jahre beschränkt, neuere Fettarten können 12 Jahre im Einsatz bleiben, allerdings ist dann ein Nachfetten nicht mehr zulässig
- Kontrolle der Radsatzlager (Allgemeinzustand, Lagerspiel) von Aussen ohne Demontage
- visuelle Kontrolle der Gleitführungen oder Hartmanganplatten am Radsatzlagergehäuse auf Verschleiss und festen Sitz
- Kontrolle der Federzentrierungen am Radsatzlagergehäuse

- Beschichtung auf dem Radsatzwellenschaft (Bereich zwischen den Rädern) durch Strahlen oder andere zugelassene Methoden entfernen, visuelle Kontrolle des Wellenschaftes
- Die Reparatur des Wellenschaftes durch Ausschleifen von Beschädigungen ist nur in definierten Zonen zulässig.
- bei Bedarf ZfP zur Kontrolle der reparierten Stellen ausführen
- In der Zone zwischen Rad und Radsatzlagergehäuse mit Bürstenscheibe alte Farbe und Korrosionsspuren an der Oberfläche entfernen
- ZfP (z.B. UT-Prüfung) der kritischen Zone, aktuell meistens Korbbogen und gewisse Länge vom Rad-Sitz, mit neuen Prüfmaschinen ist bei montiertem Radsatzlagergehäuse der ganze Bereich vom Korbbogen bis zum stirnseitigen Wellenende prüfbar
- Neubeschichtung der Radsatzwelle

Zusätzlich bei Radsätzen Gruppe A-C (Klassifizierung siehe Abschnitt 8.3.1):

- Bezeichnung am Radsatz (Band oder Marke) bei Bedarf aktualisieren
- neuen Raddurchmesser an der Radscheibe anschreiben
- Dokumentation der Arbeiten gemäss Vorgaben

Je nach Vorgabe ist nach Entfernung der Lackierung (z.B. strahlen oder schleifen) auch eine 100 % ZfP der Welle möglich.

Radsätze, bei denen nur eine IS 1 ausgeführt wurde, werden in der Regel nicht ausgewuchtet.

## 10.4 Instandhaltungsstufe IS 2

---

Die IS 2 beinhaltet alle Instandhaltungsarbeiten der IS 1. Zudem wird je nach Fettart, Anzahl Betriebsjahren oder Laufleistung das Radsatzlager aufgearbeitet oder ersetzt. Dazu muss auch der auf der Radsatzwelle aufgezoogene Lagerinnenring und der Labyrinthring mit geeigneten Mitteln demontiert werden.

Bei der Montage der Radsatzlager ist insbesondere die Verwendung der korrekten Schrauben und des vorgegebenen Anzugsdrehmomentes gemäss gültiger Zeichnungen zu beachten.

Die Aufarbeitung der Wälzlager der Radsatzlagerung erfolgt nach separaten Vorgaben und ist nicht Inhalt dieser RTE-Regelung.

## 10.5 Instandhaltungsstufe IS 3

---

Die IS 3 beinhaltet alle Instandhaltungsarbeiten der IS 1 und IS 2. Zudem werden die Radscheiben ersetzt. Folgende Arbeiten werden zudem vor der Montage der Radscheiben auf die Radsatzwelle durchgeführt:

- Beschichtung der Radsatzwelle vollständig entfernen
- 100 % ZfP (z.B. MT-Prüfung) der Radsatzwelle
- Masskontrolle der Radsatzwelle (Sitze, Rundlauf/Biegung, etc.)

Die Montage der restlichen Bauteile und die Beschichtung erfolgt gleich wie bei den Instandhaltungsstufen IS 1 und IS 2.

Zusätzlich ist an einem neu gefügten Radsatz folgendes zu prüfen:

- Elektrischer Widerstand zwischen den Radscheiben bzw. Radreifen
- Dynamische Unwucht des Radsatzes

### 10.5.1 Demontage der Radscheiben

Die alten Radscheiben sind mit geeigneten Methoden zu entfernen:

- Ölabbpressverfahren wo möglich
- Auftrennen des Radkörpers vor dem Abpressen mit Brennschnitt, dabei ist zu beachten, dass die Radsatzwelle nicht wärmer als 150 °C wird und eine Restnabendicke von ca. 5 mm bestehen bleibt, die Radsatzwelle muss vor übermässigem Wärmeeinfluss und Brennspritzern geschützt werden
- Schockerwärmen der Radscheibe

Der Presssitz auf der Radsatzwelle soll nicht durch Ziehriefen und Kratzer bei der Demontage beschädigt werden. Dieses Risiko ist insbesondere bei zylindrischen Presssitzen und sehr schlanken Konen (ab ca. 1:800, auch bauartabhängig) gross.

### 10.5.2 Montage der Radscheiben

Bei der Montage neuer Radscheiben sind die Auswuchtmarkierungen des Herstellers auf den Rädern zueinander auszurichten. Siehe dazu auch Abschnitt 15.3. Der Montagevorgang hat gemäss den gängigen Vorschriften oder den speziellen Angaben des Radsatzhalters zu erfolgen und muss nachvollziehbar protokolliert werden.

Der Pressverband zwischen Radscheibe und Welle kann durch verschiedene Verfahren hergestellt werden:

- Aufpressen der Radscheibe bei Raumtemperatur (kalt)
- Aufschumpfen der auf ca. 230 °C vorgewärmten Radscheibe

In der Regel werden die Radscheiben kalt aufgepresst. Die anderen möglichen Montagethoden der Radscheiben erfordern das Einverständnis des Halters und eine entsprechende Erfahrung der ausführenden Werkstatt. Eine Kennzeichnung der Montagethode am Radsatz ist nicht vorgesehen, muss aber in der Dokumentation eindeutig nachvollziehbar sein.

Der korrekten Ausführung und Dokumentation des Aufpressvorgangs ist grosse Beachtung zu schenken. Das Weg-Kraft-Diagramm des Aufpressvorgangs ist zwingend zu dokumentieren. Für eine Beurteilung des Aufpressvorgangs anhand des Diagramms sind die gängigen Regelwerke anzuwenden.

Die zum Aufpressen notwendigen Hilfsmittel (Schmierstoffe) müssen eindeutig definiert sein. Für die Übermasse und Pressendkräfte der Pressverbindung sind die Zeichnungsangaben verbindlich. Fehlen diese, so sind die Angaben mit dem Halter zu vereinbaren und festzuhalten. Dabei ist die UIC 813 oder die SN EN 13260 massgebend.



## 10.6 Kennzeichnung

Aktuell sind die meisten Radsätze mit Kennzeichnungsbändern auf der Welle ausgerüstet. Darauf sind die relevanten Daten zur eindeutigen Identifizierung der Komponenten, Ort der Instandhaltung, IS-Stufe, Fahrzeughalter und Datum zu finden. Kennzeichnungsbänder auf der Radsatzwelle haben aber neben der schlechten Zugänglichkeit auch noch weitere Nachteile (z.B. Korrosion und Kerbwirkung bei mangelhafter Montage).

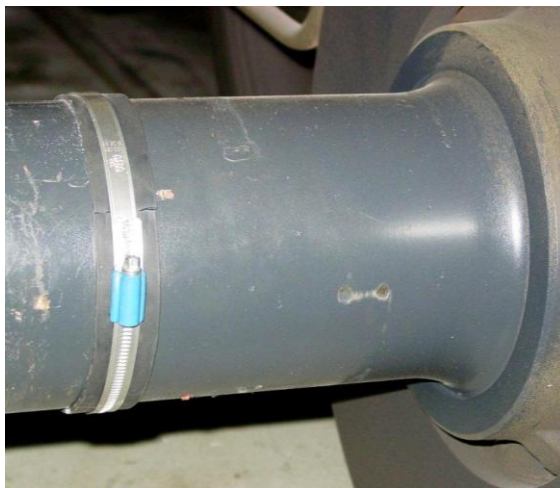


Abbildung 10-1: Radsatzdatenband mit Gummiunterlage



Abbildung 10-2: Unzulässiges (loses) Radsatzdatenband

Lose Radsatzdatenbänder müssen entfernt und durch eine fachgerechte Kennzeichnung ersetzt werden.

In Zukunft soll daher als Ersatz für die Kennzeichnungsbänder bei Radsätzen der Gruppe A bis C (Klassifizierung siehe Abschnitt 8.3.1) grundsätzlich eine Radsatzmarke mit den oben erwähnten Informationen unter einem Schraubenkopf des Radsatzlagerdeckels montiert werden. Solange noch verschiedene Fettarten im Umlauf sind und verwendet werden, wird zudem eine zweite Marke mit Angabe von Fettsorte, Ort der Instandhaltung, IS-Stufe und Datum ebenfalls am Radsatzlagerdeckel angebracht. Die Beschriftung erfolgt gemäss den Vorgaben von VPI 04.



Abbildung 10-3: Radsatzmarke am Radsatzlagerdeckel

Bei Radsätzen der Gruppe A bis C sind an der Innenseite der Radscheibe der A-Seite (die Seite, auf der die Radsatzwelle stirnseitig gestempelt ist) des Radsatzes folgende Angaben gut lesbar mit heller Farbe anzubringen (vorzugsweise mit Schablone und weißer Farbe RAL 1004, Zeichenhöhe 50 mm):

- Radsatzbauart
- Ist-Messkreisdurchmesser nach der Bearbeitung in Millimetern
- zulässige Radsatzlast in Tonnen



Abbildung 10-4: Anschriften auf Radscheibe (Beispiel: Radsatzbauart 004, 921 mm Messkreisdurchmesser, zulässige Radsatzlast 23.5 t)

Bei fahrzeugspezifischen Radsätzen der Gruppe D1 und D2, die in der Regel die Schweiz nicht verlassen, kann die Radsatznummer auch gut lesbar mit Farbe auf dem Wellenschaft aufgebracht werden. Selbstklebefolien sind nicht zugelassen. Dazu ist das Einverständnis des Halters notwendig. Es werden keine weiteren von aussen sichtbaren Kennzeichnungen angebracht.



Abbildung 10-5: Radsatznummer auf dem Wellenschaft

Die Radsatznummer kann auch in Form einer GIAI (Global Individual Asset Identifier) gemäss GS1-Standard vergeben werden. GIAI ist eine weltweit eineindeutige Nummer und der Radsatz damit eindeutig identifizierbar. Der grundsätzliche Aufbau der Nummer ist wie folgt:

| <b>GIAI</b> | <b>+</b> | <b>Company prefix<br/>(Hersteller-Nr.)</b> | <b>+</b> | <b>Nummer für Eisen-<br/>bahnprodukt<br/>(immer Nummer 4)</b> | <b>+</b> | <b>Serialnummer<br/>(Darin ist meist die Nummer<br/>der Schmelze enthalten)</b> |
|-------------|----------|--------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| (8004)      | +        | 1234567                                    | +        | 4                                                             | +        | 1234567890                                                                      |

Tabelle 10-1: Beispiel einer GIAI-Nummer

Der Company Prefix (die Nummer des Herstellers) wird von der GIAI-Organisation vergeben, sofern der Hersteller Mitglied dieser Organisation ist. Es ist auch möglich, weitere Komponenten wie z.B. Räder, Radsatzlager oder die Radsatzwelle als solche auf diese Weise eindeutig zu identifizieren.

## 10.7 Dokumentation der Aufarbeitung

Die Dokumentation aller Prüfergebnisse muss eindeutig und nachvollziehbar sein. Der Radsatzhalter hat den Umfang der Dokumentation, die über die Vorgaben gemäss Kapitel 11 geht bei der Erteilung des Auftrags anzugeben.

Die Dokumentation muss zumindest so lange aufbewahrt werden, wie das entsprechende Bauteil im Betrieb ist.

## 11 Dokumentation/Datenpflege

---

Als Folge eines Unfalls wurde durch die Europäische Eisenbahnagentur, die nationalen Aufsichtsbehörden Europas und den vereinigten Güterwagensektor (CER, ERFA, UIP, UIRR, UNIFE) eine Datenerhebung ausgearbeitet und angenommen mit dem Ziel, eine systematische Nachvollziehbarkeit der Radsatzinstandhaltung zu gewährleisten.

Diese Vorgaben wurden ursprünglich in der European Wheelset Traceability (EWT) definiert, zu dessen Anwendung der Sektor und dessen Fahrzeughalter sich selbst verpflichtet haben.

Die EWT ist im Zuge der Überarbeitung ein fester Bestandteil der SN EN 15313 geworden. Die Anwendung ist bei Güterwagen zwingend, bei Radsätzen anderer Fahrzeugarten freibleibend.

Ziele der EWT bzw. SN EN 15313 sind:

- nach Vorkommnissen die Instandhaltung von Radsätzen nachvollziehen zu können und das Risiko weiterer Vorkommnisse, die aus ähnlichen Gründen resultieren, zu verringern
- nach Vorkommnissen die Instandhaltungsbedingungen für Radsätze in der Vergangenheit und ebenso ihrer Kernkomponente, der Radsatzwelle, nachzuvollziehen
- das angewendete Instandhaltungsregime und die an einem Radsatz vorgenommenen zerstörungsfreien Prüfungen nachzuvollziehen

Somit ist es dem Fahrzeughalter möglich, wenn Mängel entdeckt werden, die betroffenen Radsätze herauszusuchen, zu lokalisieren und die entsprechenden Massnahmen in die Wege zu leiten.

Die Erfassung und Nachhaltung der Daten haben in einem elektronischen System zu erfolgen in dem die Daten gefiltert werden können. Dies ist ab dem 01.01.2012 sicherzustellen.

Die Vorgaben der EWT bzw. SN EN 15313 stellen ein Mindestmass an zu erfassenden Daten sicher. Eine Erfassung weiterer Daten ist durch den Fahrzeughalter bzw. der ECM festzulegen.

### 11.1 Kategorie der Datensicherungsfrist

---

Es wird empfohlen, die Datenaufbewahrung gemäss den Vorgaben der SN EN 15313 bzw. dem ehemaligen EWT vorzunehmen. Dazu sind die folgenden Vorgaben zu beachten:

- Kategorie «I» Erfasste dynamische Instandhaltungsdaten der Kategorie «I» des Radsatzes müssen mindestens bis zur nächsten Instandhaltung an der betreffenden Komponente (z.B. von einer Lageraufarbeitung zur nächsten) gespeichert werden.
- Kategorie «II» Daten der Kategorie «II» müssen über die gesamte Lebensdauer der betreffenden Komponente gespeichert werden.
- Kategorie «III» Daten der Kategorie «III» müssen über die gesamte Lebensdauer des Radsatzes gespeichert werden.

Eine Archivierung aller Daten unabhängig von der Kategorie bis maximal 5 Jahre nach der Verschrottung der Komponenten (Radsatz, Radsatzwelle und Rad) wird empfohlen.

Weitere Vorgaben durch nationale oder europäische Normen, Gesetze oder Vorschriften (z.B. ECM-Zertifizierung) sind unbedingt zu beachten!

| Nr  | Bezeichnung                                                                                                                                                                              | Anmerkung                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Anwendung  |                            | Kategorie |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
|     |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Güterwagen | Fahrzeug der TSI Loc & Pas |           |
| 101 | Seriennummer des Radsatzes                                                                                                                                                               | Es ist gängige Praxis, die Nummer der Radsatzwelle zu verwenden.                                                                                                                                                                                                                              | X          | X                          | III       |
| 102 | Radsatzbauart oder alternative Bezeichnung                                                                                                                                               | –                                                                                                                                                                                                                                                                                             | X          | X                          | III       |
| 103 | Alle bekannten Halter des Fahrzeugs / der Fahrzeuge, wo der Radsatz montiert wurde.                                                                                                      | Sofern zutreffend (wenn ein Halterwechsel stattgefunden hat).<br>Die Daten müssen ab dem ersten bekannten Wechsel des Halters gespeichert werden.<br>Diese Information wird nicht gebraucht, wenn die gesamte Information dieser Datenbank seit dem ersten Eintrag des Radsatzes bekannt ist. | X          | X                          | III       |
| 104 | Nummer des Zertifikats und benannte Stelle der EC-Konformitätserklärung (TSI-konforme Radsätze). Homologationsnummer und Genehmigungs- oder Zertifizierungsstelle (andere Radsatzwellen) | Falls verfügbar                                                                                                                                                                                                                                                                               | X          | X                          | III       |
| 105 | Maximal zulässige Radsatzlast                                                                                                                                                            | Für den gesamten Radsatz (Radsatzwelle, Räder und Lager).                                                                                                                                                                                                                                     | X          | X                          | III       |
| 106 | Monteur der Räder auf die Radsatzwelle (Hersteller, falls erste Montage)                                                                                                                 | Für vorhandene Rollenlager-Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar<br>Für neue Rollenlager-Radsätze: verbindlich.                                                                                                                                                                          | X          | X                          | III       |
| 107 | Datum der Montage der Räder (Monat/Jahr)                                                                                                                                                 | Für vorhandene Rollenlager-Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar<br>Für neue Rollenlager-Radsätze: verbindlich.                                                                                                                                                                          | X          | X                          | III       |
| 108 | Monteur anderer gefügter Komponenten (ohne Lager und Dichtungsringe) (Hersteller, falls erste Montage)                                                                                   | Für vorhandene Rollenlager-Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar<br>Für neue Rollenlager-Radsätze: verbindlich.                                                                                                                                                                          | a)         | X                          | III       |
| 109 | Datum der Montage anderer gefügter Komponenten (ohne Lager und Dichtungsringe) (Monat/Jahr)                                                                                              | Für vorhandene Rollenlager-Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar<br>Für neue Rollenlager-Radsätze: verbindlich.                                                                                                                                                                          | a)         | X                          | III       |
| 110 | Datum, wann der Radsatz vom Besitzer des Fahrzeugs / der Fahrzeuge aus dem Fuhrpark genommen worden ist (verschrottet, verkauft usw.)                                                    | –                                                                                                                                                                                                                                                                                             | X          | X                          | III       |
| 201 | Eindeutige Nummer der Radsatzwelle im Los nach der Bearbeitung                                                                                                                           | –                                                                                                                                                                                                                                                                                             | X          | X                          | III       |
| 202 | Radsatzwellenbauart oder alternative Bezeichnung                                                                                                                                         | –                                                                                                                                                                                                                                                                                             | X          | X                          | III       |
| 203 | Nummer des Zertifikats und der benannten Stelle der EC-Konformitätserklärung (TSI-konforme Radsätze) Homologationsnummer und Genehmigungs- oder Zertifizierungsstelle (andere Radsätze)  | Falls verfügbar                                                                                                                                                                                                                                                                               | X          | X                          | II        |



| Nr  | Bezeichnung                           | Anmerkung                                                                                                                                                                          | Anwendung  |                               | Kategorie |
|-----|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------|
|     |                                       |                                                                                                                                                                                    | Güterwagen | Fahrzeug der TSI<br>Loc & Pas |           |
| 204 | Hersteller                            | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich                                                                                       | X          | X                             | II        |
| 205 | Herstellungsdatum (Monat/Jahr)        | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich                                                                                       | X          | X                             | II        |
| 206 | Schmelzenummer                        | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich                                                                                       | X          | X                             | II        |
| 207 | Werkstoff (Wärmebehandlungszustand)   | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich                                                                                       | X          | X                             | II        |
| 208 | Maximal zulässige Radsatzlast         | Nur Radsatzwelle                                                                                                                                                                   | X          | X                             | II        |
| 209 | Herstellungsstandard der Radsatzwelle | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich.<br>Der Herstellungsstandard ist direkt mit dem Herstellungsdatum verbunden (UIC; EN) | X          | X                             | II        |

Tabelle 11-1: Radsatzwelle allgemein; Vorgabe zur Datenerfassung gemäss SN EN 15313 Anh. A und B

a) Diese Daten sind für die Datenbank fakultativ.

| Nr  | Bezeichnung                                                                                                                                                                              | Anmerkung                                                                                 | Anwendung  |                               | Kategorie |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------|
|     |                                                                                                                                                                                          |                                                                                           | Güterwagen | Fahrzeug der TSI<br>Loc & Pas |           |
| 301 | Radbauart oder alternative Bezeichnung                                                                                                                                                   | –                                                                                         | X          | X                             | III       |
| 302 | Bereifte Räder                                                                                                                                                                           | Ja/Nein                                                                                   | X          | X                             | II        |
| 303 | Elastomergefederte Räder                                                                                                                                                                 | Ja/Nein                                                                                   | N/A        | X                             | II        |
| 304 | Monteur der elastomergefederten Räder (Hersteller, falls erste Montage)                                                                                                                  | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar. Für neue Radsätze: verbindlich | N/A        | X                             | II        |
| 305 | Datum der Montage der elastomergefederten Räder (Monat/Jahr)                                                                                                                             | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar. Für neue Radsätze: verbindlich | N/A        | X                             | II        |
| 306 | Nummer des Zertifikats und der benannten Stelle der EC-Konformitätserklärung (TSI-konforme Radsätze). Homologationsnummer und Genehmigungs- oder Zertifizierungsstelle (andere Radsätze) | Falls verfügbar                                                                           | X          | X                             | II        |
| 307 | Hersteller                                                                                                                                                                               | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.                                | X          | X                             | II        |



| Nr  | Bezeichnung                         | Anmerkung                                                                                    | Anwendung  |                            | Kategorie |
|-----|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
|     |                                     |                                                                                              | Güterwagen | Fahrzeug der TSI Loc & Pas |           |
|     |                                     | Für neue Radsätze: verbindlich                                                               |            |                            |           |
| 308 | Herstellungsdatum (Monat/Jahr)      | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich | X          | X                          | II        |
| 309 | Werkstoff (Wärmebehandlungszustand) | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich | X          | X                          | II        |
| 310 | Schmelzenummer                      | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar.<br>Für neue Radsätze: verbindlich | X          | X                          | II        |
| 311 | Maximal zulässige Radsatzlast       | Nur Rad                                                                                      | X          | Nein                       | II        |

Tabelle 11-2: Räder; Vorgabe zur Datenerfassung gemäss SN EN 15313 Anhang A und B

| Nr  | Bezeichnung                                                    | Anmerkung                                                                                 | Anwendung  |                            | Kategorie |
|-----|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
|     |                                                                |                                                                                           | Güterwagen | Fahrzeug der TSI Loc & Pas |           |
| 401 | Radsatzlagerbauart oder alternative Bezeichnung                | –                                                                                         | X          | X                          | II        |
| 402 | Wälzlagerart                                                   | Zylinderrollenlager, Pendelrollenlager usw.                                               | X          | X                          | II        |
| 403 | Originalhersteller des Lagers                                  | Die Komponente beinhaltet den Außenring, den Käfig und die Wälzkörper                     | X          | X                          | II        |
| 404 | Umrüster des Lagers (z.B. Umrüstung auf Kunststoffkäfige)      | Falls zutreffend                                                                          | X          | X                          | I         |
| 405 | Herstellungsdatum des Wälzlagers in klarer oder codierter Form | Für vorhandene Radsätze schon in Betrieb: falls verfügbar. Für neue Radsätze: verbindlich | X          | X                          | I         |
| 406 | Käfigbauart                                                    | Polyamid, Messing mit Stahl-niet, Stahl                                                   | X          | X                          | I         |
| 407 | Bezeichnung des Radsatzlagerschmierfetts                       | –                                                                                         | X          | X                          | I         |
| 408 | Chargennummer des Radsatzlagerschmierfetts                     | –                                                                                         | X          | X                          | I         |
| 409 | Herstellungsdatum des Radsatzlagerschmierfetts (Monat/Jahr)    | –                                                                                         | X          | X                          | I         |

Tabelle 11-3: Radsatzlager; Vorgabe zur Datenerfassung gemäss SN EN 15313 Anhang A und B

| Nr  | Bezeichnung                       | Anmerkung                                       | Anwendung  |                            | Kategorie |
|-----|-----------------------------------|-------------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
|     |                                   |                                                 | Güterwagen | Fahrzeug der TSI Loc & Pas |           |
| 501 | Datum der Instandhaltung          | –                                               | X          | X                          | II        |
| 502 | Zutreffender Instandhaltungsplan  | Nummer des Dokuments                            | X          | X                          | II        |
| 503 | Instandhaltungsstufe              | Code, der im Instandhaltungsplan festgelegt ist | X          | X                          | II        |
| 504 | Instandhaltungswerkstatt oder Ort | –                                               | X          | X                          | II        |

|     |                                                             |                                                     |   |   |   |
|-----|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---|---|---|
| 505 | Letzter Instandhalter des Lagers                            | Falls nicht mit der Instandhaltungswerkstatt gleich | X | X | I |
| 506 | Datum der nächsten planmäßigen Instandhaltung des Radsatzes | –                                                   | X | X | I |

Tabelle 11-4: Radsatzinstandhaltung; Vorgabe zur Datenerfassung gemäss SN EN 15313 Anh. A und B

| Nr  | Bezeichnung                                                 | Anmerkung                                                                                                                                                                                                                                                           | Anwendung  |                            | Kategorie |
|-----|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|-----------|
|     |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                     | Güterwagen | Fahrzeug der TSI Loc & Pas |           |
| 601 | Eigentümer des Fahrzeugs                                    | –                                                                                                                                                                                                                                                                   | X          | X                          | III       |
| 602 | Fahrzeugnummer                                              | –                                                                                                                                                                                                                                                                   | X          | X                          | III       |
| 603 | TSI-/UIC-Code des Fahrzeugs                                 | z.B. Sgmnns                                                                                                                                                                                                                                                         | X          | N/A                        | III       |
| 604 | Fahrzeugklasse                                              | Falls verfügbar, z.B. 648                                                                                                                                                                                                                                           | X          | N/A                        | III       |
| 605 | Maximal zulässige Radsatzlast                               | Für das Fahrzeug                                                                                                                                                                                                                                                    | X          | N/A                        | III       |
| 606 | Datum des Einbaus des Radsatzes in das Fahrzeug             | –                                                                                                                                                                                                                                                                   | X          | X                          | III       |
| 607 | Datum des Ausbaus des Radsatzes aus dem Fahrzeug            | –                                                                                                                                                                                                                                                                   | X          | X                          | III       |
| 608 | Kilometerleistung des Radsatzes seit Einbau in das Fahrzeug | Falls verfügbar (oder andernfalls abgeschätzt)                                                                                                                                                                                                                      | X          | X                          | III       |
| 609 | Vorfälle während des Betriebs                               | Sonderuntersuchung im Fall eines signifikanten, außergewöhnlichen Schadens (z.B. Entgleisung, Überladung, Kurzschluss durch das Radsatzlager, Hochwasser, gebrochenes Rad, gebrochene Radsatzwelle, Wagenkollision)<br>(Beschreibung der Ursache, Werkstatt, Datum) | X          | X                          | III       |

Tabelle 11-5: Daten zum Fahrzeug, in dem der Radsatz montiert ist, sowie für Vorfälle während des Betriebs. Vorgabe zur Datenerfassung gemäss SN EN 15313 Anhang A und B.

## 12 Reinigung, Schmierung und Korrosionsschutz

### 12.1 Reinigung

Ziel der Reinigung von Radsätzen ist es, die betrieblichen Verschmutzungen und allfällige schlecht oder nicht mehr haftenden Beschichtungen vor einer Bearbeitung zu entfernen, sofern dies für die weitere Behandlung des Radsatzes notwendig und zur Wahrung einer gewissen Arbeitsplatzhygiene vorgesehen ist.

Ebenfalls gereinigt wird vor einer allgemeinen visuellen oder messtechnischen Kontrolle sowie vor der Montage. ZfP-Prüfungen erfordern eine spezielle Reinigung mit definierten Anforderungen an die gereinigte Oberfläche. Bei Neubeschichtungen ist ebenfalls vorgängig eine Reinigung durchzuführen mit dem Ziel, optimale Haftbedingungen für die Neubeschichtung zu erreichen.

Vor der Reinigung eines kompletten Radsatzes muss bekannt sein, welche Aufarbeitungsstufen durchlaufen werden, um das Reinigungsverfahren oder den notwendigen Schutz bestimmter Bauteile entsprechend wählen zu können.

Die Reinigung einzelner Bauteile des Radsatzes, insbesondere die Radsatz-, Getriebe- und Tatzlager verschiedenster Bauarten sowie dazugehöriger Teile im Rahmen einer umfassenden Aufarbeitung sollte separat mit geeigneten industriellen Waschanlagen stattfinden.

#### 12.1.1 Reinigungsmethoden

Folgende Reinigungsmethoden können unter Berücksichtigung der Werkstatteinrichtung und den allenfalls zu schützenden Bauteilen am Radsatz angewendet werden:

- Nass mit Hochdruckreiniger manuell mit kaltem oder heissem Klarwasser mit und ohne Reinigungszusatz bzw. vorgehendes Anlaugen
- Nass in einer industriellen Waschanlage mit und ohne Reinigungszusatz bzw. vorgehendes Anlaugen
- Trocken mit Drahtbürsten oder nicht abrasiven Schleifmitteln vorzugsweise zum Entfernen von Beschichtungen und Rost
- Strahlen unter Beachtung separater Vorschriften (z.B. VPI 04, Anhang 13)

Bei der Verwendung von Reinigungsmitteln auf Säurebasis ist darauf zu achten, dass die gewaschenen Bauteile neutralisiert werden, um Korrosion in Fügestellen und auf metallischen Oberflächen zu verhindern. Bei basischen Reinigungsmitteln (Laugen) ist in der Regel keine Neutralisation notwendig. Ein rascher Trocknungsprozess ist anzustreben.

Bei der Anwendung trockener Reinigungsmethoden, bei denen in der Regel Staub und Abrieb entsteht, muss nachträglich eine gründliche Feinreinigung des Bauteils erfolgen, um es von den Resten des Abriebs oder von Stahlgut vollständig zu befreien.

Bei der Verwendung von Drahtbürsten muss sichergestellt werden, dass Oberflächen mit Rost und Verunreinigungen nicht nur poliert werden. So polierte Oberflächen können metallisch glänzen und wie Metalloberflächen aussehen, auf denen die Beschichtungen nicht ausreichend haften. Die Oberflächenvorbereitung mit maschinell angetriebenen Werkzeugen ist im Hinblick auf die Flächenleistung und den Vorbereitungsgrad wirksamer als die Oberflächenvorbereitung von Hand, aber nicht annähernd so wirksam wie Strahlen.

Bei allen Reinigungsmethoden müssen Bauteile oder Bereiche, die nicht gereinigt werden sollen oder die empfindlich gegen das entsprechende Reinigungsmittel sind (z.B. Lagersitze beim Sandstrahlen) zuverlässig mit geeigneten Mitteln geschützt werden.

«Vorsichtiges» Reinigen alleine ist nicht ausreichend und kann einen guten Schutz nicht ersetzen.

Bei Radsatzwellen ist zu beachten, dass die Übergangsradien zwischen den verschiedenen Durchmessern generell die dynamisch am höchsten beanspruchten Bereiche sind. In diesen Bereichen darf unter keinen Umständen mit mechanischen Mitteln (z.B. Dreikantschaber, Schaber, Spachtel) gereinigt werden. Abrasive Schleifmittel verursachen häufig Oberflächenschäden mit Kerbwirkung. Sie sind deshalb ebenfalls nicht zu verwenden.

Bei der Reinigung ist generell folgendes zu beachten:

- Das Reinigungsmittel darf das Basismaterial nicht angreifen (Dichtungsmaterialien und Kunststoffe/Gummi), hier sind ggf. Herstellerangaben zu beachten.
- Nach dem Waschen mit sauren/basischen Reinigungsmitteln muss neutralisiert werden. Sofern keine direkt anschließende Weiterbearbeitung erfolgt ist nach der Trocknung ein temporärer, geeigneter Rostschutz aufzubringen.
- Die Waschtemperatur ist anzupassen, wenn die Beschichtung nicht angegriffen werden soll bzw. Dichtungsmaterialien und Kunststoffe/Gummi nicht geschädigt werden dürfen.
- Radsätze mit montierten Lagern und Antrieben, die nicht zerlegt werden, oder eingebaute Radsätze dürfen nicht gewaschen werden, sofern die Lager nicht sicher gegen das Eindringen von Waschmittel und Wasser geschützt sind.  
Beim Reinigen mit mechanischen Mitteln (z.B. Drahtbürsten oder nicht abrasive Schleifmittel) müssen empfindliche Bauteile vor Staub geschützt werden. Die Wellenoberfläche darf nicht verletzt werden.

### 12.1.2 Reinigungsstandards

Nachfolgende Tabelle gibt auf Basis von Betriebserfahrungen Auskunft, welcher Reinigungszustand für die Ausführung der verschiedenen Arbeiten am Radsatz vorzusehen ist.

|                                                | lose Schmutz-<br>ansammlun-<br>gen entfernt,<br>Beschichtung<br>sauber | schlecht<br>haftende<br>Beschichtung<br>weitgehend<br>entfernt | Beschichtung<br>weitgehend<br>entfernt<br>(mechanisch<br>und chemisch) | metallisch<br>blank, fettfrei |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Reprofilieren                                  | x                                                                      | –                                                              | –                                                                      | –                             |
| Bereifen                                       | x                                                                      | x                                                              | –                                                                      | –                             |
| Neubescheiben                                  | x                                                                      | x                                                              | –                                                                      | –                             |
| ZfP MT und PT                                  | –                                                                      | –                                                              | x                                                                      | –                             |
| ZfP UT Hohlwelle,<br>Radsatz eingebaut         | x                                                                      | –                                                              | –                                                                      | –                             |
| ZfP UT Hohlwelle,<br>ausgebaut                 | x                                                                      | x                                                              | –                                                                      | –                             |
| Lageraufarbeitung                              | –                                                                      | –                                                              | –                                                                      | x                             |
| Neubeschichtung                                | –                                                                      | –                                                              | –                                                                      | x                             |
| Ausbessern von<br>Beschichtungsschäden         | –                                                                      | –                                                              | x                                                                      | –                             |
| Montage von<br>Bremscheiben                    | x                                                                      | x                                                              | –                                                                      | –                             |
| Montage von<br>Getriebebauteilen               | x                                                                      | x                                                              | –                                                                      | x                             |
| Massprüfung an Radsät-<br>zen (z.B. Radprofil) | x                                                                      | –                                                              | –                                                                      | –                             |

Tabelle 12-1: Reinigungsstandards bei der Radsatzbehandlung

## 12.2 Schmierung

### 12.2.1 Radsatzlager

#### 12.2.1.1 Gleitlager

Gleitlager (Radsatzlager, Tatzlager und Hohlwellenlager) sind im Allgemeinen mit einer Ölschmierung versehen. Es handelt sich meist um eine Sumpfschmierung oder seltener eine Tropfschmierung.

Der Betrieb von Fahrzeugen mit Gleitlagern bedarf spezieller Kenntnisse und Erfahrung bezüglich zu verwendender Ölsorte und der Kontrollintervalle der Schmiereinrichtungen. Bei beiden Schmierarten ist darauf zu achten, dass sich die verwendeten Ölsorten besonders bezüglich ihres Viskositätsverhaltens (Schmierfähigkeit bei höheren Temperaturen, Kapillarwirkung der Schmierdochte) für die Anwendung eignen.

Da es sich meist um Fahrzeuge mit geringer Laufleistung handelt (z.B. historische Fahrzeuge) ist darauf zu achten, dass durch regelmässiges bewegen Stillstands Schäden vermieden werden (Sauerstoffkorrosion). Bei Sumpfschmierungen muss beachtet werden, dass Wasser aus den Vorratsbehältern regelmässig abgelassen wird (Faulen der Schmierdochte, Mangelschmierung). Daneben ist die regelmässige Kontrolle des Zustandes der Anpressfedern von Schmierpolstern bei Sumpfschmierungen notwendig, um Mangelschmierung und letztendlich Heissläufer durch erlahmte oder gebrochene Federn vorzubeugen.

Auf Grund der reduzierten Verwendung und der Artenvielfalt der Gleitlager werden keine weiteren Empfehlungen zu dieser Lagerbauart und deren Schmierung gegeben.

### 12.2.1.2 Wälzlager

Radsatzlager sind sicherheitsrelevante Einzelkomponenten des Radsatzes. Diesen Bauteilen ist daher auch in Bezug auf die Schmierung die gleiche Aufmerksamkeit zu schenken, wie sie allgemein im Radsatzbereich geboten ist.

Radsatzlagerfette sind Schmierstoffe, die speziell für den vorgesehenen Anwendungsbereich konzipiert werden. Die Radsatzlagerfette (Basisprodukte siehe Tabelle 12-2) haben den Anforderungen der Norm SN EN 12081 für eine grundsätzliche Produktzulassung zu genügen. Sie müssen besonders bezüglich folgenden Punkten gegenüber normalen Schmierfetten erhöhte Anforderungen erfüllen:

- mechanische Stabilität
- thermische Stabilität
- Korrosionsschutz

Die Radsatzlagerschmierfette sind neben der Produktzulassung möglichst einer chargenweisen Prüfung zu unterziehen. Dies ist besonders dann empfehlenswert, wenn erhöhte Anforderungen an die mechanische Stabilität des Radsatzlagerfettes gestellt werden, aber auch, wenn die Ausfallwahrscheinlichkeit der Radsatzlager bei grosser Fahrleistung und langen Revisionszyklen möglichst tief gehalten werden soll. Eine Auswahl der zugelassenen und chargengeprüften Fette ist in Tabelle 12-2 aufgeführt.

Daneben werden Radsatzlager im Rahmen der Typenzulassung unter Verwendung des vorgeschriebenen Schmierfettes gemäss SN EN 12080 und SN EN 12082 auf dem Prüfstand geprüft und zugelassen. Daher ist ein Wechsel der Fettsorte nicht ohne vertiefte technische Abklärungen möglich, besonders wenn gewisse Rahmenbedingungen bezüglich Fahrzeugs (z.B. Hochgeschwindigkeitsverkehr) oder Umweltbedingungen (z.B. Temperaturbereich) vorhanden sind.

Radsatzlagerfette haben im Allgemeinen garantierte minimale Schmiereigenschaften während einer gewissen vom Fetthersteller angegebenen Lebensdauer. Diese beträgt typischerweise 6 Jahre oder 1 – 1.2 Mio. km ab in Verkehrssetzung des Schmierstoffes. Soll ein Radsatzlager über diese Frist hinaus ohne Fettwechsel weiterbetrieben werden, kann dies unter gewissen Bedingungen (Einhaltung der Revisionsfristen gemäss Kapiteln 8 bis 10) erfolgen:

- Belegen der weiteren Schmierfähigkeit durch Fettanalyse an einzelnen Radsatzlagern einer baugleichen Flotte (Probezerlegung, eher für Fahrzeuge mit hoher Belastung und Laufleistung)
- Belegen der weiteren Schmierfähigkeit durch Sichtprüfung des Fettzustandes (Auslösung, Fettmengenverteilung, Prüfen auf Feinanteil im Schmierstoff) für Fahrzeuge mit mittlerer Laufleistung und Belastung
- Erweitern des Revisionsintervall bis auf maximal 16 Jahre für Fahrzeuge mit geringer Laufleistung ohne weitere Prüfung, Beurteilung nur anhand der zurückgelegten Kilometer und bisherigen Betriebsbeobachtungen (Radsatzgruppe A und B gemäss Abschnitt 8.3.1)
- Erweitern des Revisionsintervalls ausnahmsweise bis auf 20 Jahre für Fahrzeuge mit sehr geringer Laufleistung (in der Regel Dienstwagen) und zwischenzeitlicher Radsatzlagerkontrolle nach 10 Jahren gemäss Abschnitt 8.3.2 Radsatzgruppe D2

Neufahrzeuge werden mit einer Lebensdauerangabe (Laufleistungsvermögen in Kilometer oder Zeitdauer) bezüglich Radsatzlager und Schmierfetten in Verkehr gesetzt. Die Richtigkeit dieser Angaben muss durch Probezerlegung der Radsatzlager und Fettanalysen im Rahmen eines Betriebsversuches verifiziert werden. Anzustreben ist eine



Instandhaltungsfrist, die es erlaubt die Aufarbeitung des Radsatzlagers mit einer kompletten Neubefettung und ggf. einer Neubeschreibung des Radsatzes zeitgleich abzustimmen.

Ziel ist es, die Radsatzlager möglichst ohne Nachschmierung im Betrieb zu belassen. Eine Nachschmierung kann bei Fahrzeugen mit sehr hoher Laufleistung sinnvoll sein, um mechanisch einwandfreie Radsatzlager auf eine höhere Laufleistung ohne Revision zu bringen. Das Nachschmieren von Radsatzlagern bedingt eine genauere Kenntnis des Schmierstoffverhaltens im gegebenen Einsatzfall und sollte durch einen Betriebsversuch verifiziert werden.

Die Lebensdauer von Radsatzlagerschmierfetten kann durch äussere Verunreinigungen stark eingeschränkt werden. Abdichtungen von Radsatzlagern (Blechkappendichtungen, Lippendichtringe, Lamellendichtringe, Filzringe oder Labyrinthringe) sollten daher nach jeder Aufarbeitung der Radsatzlager und Radsatzlagergehäuse einen neuwertigen Zustand aufweisen. Ebenso ist bei der Reinigung von Fahrzeugen darauf zu achten, dass weder Schmutz noch Reinigungsmittel in die Schmierfette gelangen.

Das Befüllen der Radsatzlager mit Schmierfett soll so erfolgen, dass eine definierte Schmierstoffmenge eingebracht wird. Die Schmierstoffmenge ist im Radsatzlager nach festgelegten Kriterien zu verteilen. Die Kriterien für die Fettverteilung müssen auf die jeweilige Radsatzlagerbauart abgestimmt sein und das Betriebsverhalten des Lagers berücksichtigen. Das Befüllen der Radsatzlager mit Schmierfett hat in sauberer Umgebung zu erfolgen, so dass möglichst keine Fremdkörperanteile (Schmutzpartikel) in das Lager gelangen. Auf die früher angewandte Umlaufschmierung und vollständige Befüllung des inneren Lagervolumens mit Schmierfett ist zu verzichten, da dies zu einer erhöhten Betriebstemperatur führt.

Montagehilfsstoffe (Montagepasten, Schutzmittel gegen Tribokorrosion) zur Radsatzlagermontage müssen mit den Schmierfetten verträglich sein. Das Vermischen von unterschiedlichen Schmierfetten ist zu vermeiden.

Eine zeitlich eingeschränkte Schmierfähigkeit des Schmierfettes ist bei ein- oder mehrmaliger Betriebstemperatur von mehr als 80–90 °C zu erwarten. Ein vollständiger Ausfall des Schmierfettes ist bei Temperaturen über 120 °C zu erwarten. Radsatzlagerschmierfette, die diese Temperaturgrenzen überschritten haben, sind daher so schnell wie möglich zu tauschen.

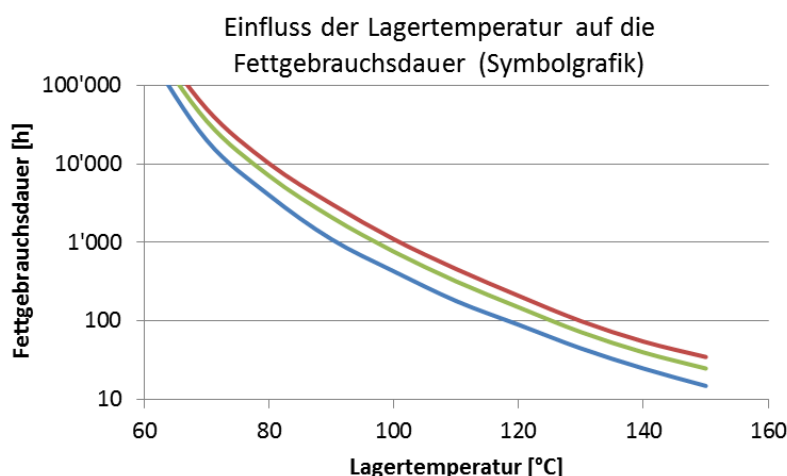


Abbildung 12-1: Symbolische Kennlinien der Fettnutzungsdauer über der Lagertemperatur

Mögliche, derzeit verwendete Schmierfette im Radsatzlagerbereich sind:

| Hersteller/Fettsorte<br>(Basisprodukte) | alte<br>Bezeichnung         | Sortennamen der Radsatzlagerhersteller oder<br>Bahnverwaltungen (chargengeprüfte Fette) |
|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Shell/GadusRail<br>S3 EUFR              | Alvania 2760B<br>Alvania LA | Arcanol L 225,<br>Arcanol L 222<br>VL-VT188<br>Alvania 2760 DB<br>Alvania 2760 B        |
| Esso/Mobilith<br>SHC 100                |                             | VL-GHY                                                                                  |
| Kajo/085.30                             | Esso 085.30                 | VL-VT 437                                                                               |
| –                                       | Esso<br>Beacon EP2          | Arcanol L42                                                                             |
| Shell/GadusRail<br>S4 HS EUFR           | Nerita 2858                 | VL-GEF                                                                                  |

Tabelle 12-2: Radsatzlagerfette

### 12.2.2 Getriebe und Antriebskomponenten

Für die Schmierung von Getrieben und Antriebskomponenten gibt es keine verbindlichen Normen und Vorschriften. Die anzuwendenden Instandhaltungsintervalle und Arbeitsinhalte sollten auf folgenden Anhaltspunkten abgestützt werden:

- Herstellerangaben für Fahrzeuge
- Herstellerangaben für Einzelkomponenten
- Betreibererfahrungen
- Resultate aus Betriebsversuchen
- Risikoanalysen

Auf Grund der Artenvielfalt werden hier keine weiteren Empfehlungen zur Schmierung von Getriebe und Antriebskomponenten gegeben.

## 12.3 Korrosionsschutz für den Betriebseinsatz

Dieses Kapitel behandelt alle Vorgänge zur Herstellung eines ordnungsgemässen Korrosionsschutzes. Nicht berücksichtigt werden die Anforderungen an die Oberflächengüte zur zerstörungsfreien Prüfung des Radsatzes. Diese ist in Kapitel 7 definiert.

Der Korrosionsschutz auf der Radsatzwelle und der Radscheibe im Betrieb hat die wesentliche Aufgabe, das darunter liegende Material vor Korrosion zu schützen. Fortgeschrittene Korrosion an der Oberfläche von Wellen kann zu Rissen und damit zum vorzeitigen Ausfall des Radsatzes durch einen Bruch der Radsatzwelle oder der Radscheibe führen. Der Einsatz eines Radsatzes in dem dafür vorgesehenen Belastungsbereich ist nur dann sicher möglich, wenn durch die Instandhaltung ein wirksamer Schutz gegen Korrosion während der Lebensdauer der Welle sichergestellt ist.

Daneben kann eine gute Beschichtung auch bedingt vor mechanischer Schädigung der Radsatzwelle durch Schotterflug oder ähnliche äussere Einflüsse schützen.

Bei Vollrädern ist es möglich durch die Verwendung einer ausgewählten Beschichtung den Grad einer thermischen Überlastung der Radscheibe durch Klotzbremsen über die Veränderung der Beschichtung bzw. deren Abbrand festzustellen.

Die Art der Beschichtung und die zu beschichtenden Orte werden in der Regel durch den Radsatzhersteller oder den Fahrzeughalter definiert. Dieser muss sicherstellen, dass die

von ihm gewählte Beschichtung die Anforderungen der gültigen Normen und Regelwerke einhält.

Für einzelne Bauteile eines Radsatzes ist während Transport und Lagerung ebenfalls ein ausreichender Korrosionsschutz wie in Kapitel 13 gefordert notwendig.

### 12.3.1 Korrosionsschutz der Radsatzwelle

#### 12.3.1.1 Schutzklassen der Korrosionsschutz-Beschichtung

Die Korrosionsschutz-Beschichtung wird in vier Schutzklassen entsprechend dem Einsatzfeld und dem Instandhaltungsaufwand der Radsatzwelle gemäss SN EN 13261 eingeteilt:

Klasse 1: Radsatzwellen, die atmosphärischer Korrosion und äusseren mechanischen Angriffen ausgesetzt sind, findet vorzugsweise Anwendung bei Geschwindigkeiten grösser 200 km/h

Klasse 2: Radsatzwellen, die korrosiven Produkten ausgesetzt sind

Klasse 3: Radsatzwellen, die atmosphärischer Korrosion ausgesetzt sind

Klasse 4: Radsatzwellen, die atmosphärischer Korrosion ausgesetzt sind. Eine zulässige Spannungsminderung in der Radsatzwelle muss gemäss SN EN 13103-1, Absatz 8.1, angewendet und begründet werden

Die Anforderung der einzelnen Klassen an die Beschichtung ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

|                                                  | Klasse 1 | Klasse 2 | Klasse 3 | Klasse 4 |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Dicke der Beschichtung                           | x        | x        | x        | –        |
| Haftung der Beschichtung                         | x        | x        | x        | –        |
| Stossfestigkeit                                  | x        | –        | –        | –        |
| Widerstand gegen Abrieb                          | x        | x        | x        | –        |
| Salzwasserbeständigkeit                          | x        | x        | x        | –        |
| Beständigkeit gegen korrosive Medien             | –        | x        | –        | –        |
| Widerstand gegen zyklische mechanische Belastung | x        | x        | x        | –        |

Tabelle 12-3: Beschichtungsklassen von Radsatzwellen

Der Radsatzhersteller oder der Fahrzeughalter muss sicherstellen, dass die von ihm angegebenen Beschichtungen die in der Tabelle aufgeführten Bedingungen erfüllen. Dies ist durch die Ausführung von normierten Versuchen nachzuweisen.

#### 12.3.1.2 Radsatzwellen mit demontierbarem Schlagschutz

Zusätzlich zum Korrosionsschutz durch eine Farbbeschichtung bietet ein demontierbarer Radsatzwellenschutz einen ähnlichen Schutz gegen Steinschläge wie eine Beschichtung nach Klasse 1 (siehe Abschnitt 12.3.1.1) und verhindert die damit verbundenen Farb- und Oberflächenschäden, Korrosion und eine vorzeitige Aufarbeitung oder Ersatz des Radsatzes weitgehend. Durch die vorgesehene Belüftung wird stehende Feuchtigkeit und daraus resultierende Schäden an der Oberflächenbeschichtung verhindert. Der wesentliche Unterschied zur Beschichtung Klasse 1 ist die Demontierbarkeit und damit die Beibehaltung gängiger Prozesse bei der Radsatzwellenbeschichtung und ein einfacher Austausch im Schadensfall.

## Montage

Der Radsatzwellenschutz wird auf eine gemäss Klasse 2 oder Klasse 3 fertig beschichtete Radsatzwelle montiert. Bei der Montage ist sicherzustellen, dass die Oberflächenbeschichtung, unabhängig davon, ob komplett neu aufgebracht oder partiell ausgebessert, vollständig durchgetrocknet und sauber ist. Die Einbauvorgaben der Hersteller sind zwingend einzuhalten, insbesondere die Sicherung durch die Gelenkbandschellen. Die Gelenkbänder für die Radsatzbeschriftung oder, wenn vorhanden, RFID-Tags sind ausser auf dem Wellenschutz zu montieren.

## Instandhaltung

Der Radsatzwellenschutz bedingt im Einsatz keine zusätzlichen Instandhaltungsaufwendungen. Eine regelmässige Sichtkontrolle im Rahmen der betriebsnahen Instandhaltung ist ausreichend.

Durch die vollständige Ummantelung der Radsatzwelle ist deren Beschädigung weitgehend ausgeschlossen. Eine Sichtprüfung ist in diesem Bereich nicht möglich und nicht notwendig. Bei Anzeichen grösserer Schäden am Radsatzwellenschutz mit Verdacht auf eine allfällige Beschädigung der darunter liegenden Radsatzwelle muss der Schutz demontiert und je nach Zustand ersetzt sowie die Welle entsprechend kontrolliert werden.

Beim Tausch eines Radsatzwellenschutzes anlässlich Beschädigungen oder Kontrolle ist der Montagebereich auf der Radsatzwelle vor der Neumontage des Schutzes zu reinigen. In der Regel ist dazu eine Trockenreinigung ausreichend.

Bei der Aufarbeitung ist eine Reinigung und Kontrolle des demontierten Radsatzwellenschutzes auf Beschädigungen gemäss Herstellervorgaben durchzuführen. Die Befestigungselemente sind ggf. zu ersetzen.

Bei der Demontage und Montage ist darauf zu achten, dass die Gelenkbänder für die Radsatzbeschriftung oder, wenn vorhanden, RFID-Tags wieder am richtigen Radsatz montiert werden.

## UT-Prüfung Radsatzwellen

Der Radsatzwellenschutz kann bei Ultraschallprüfungen der Radsatzwellen am Radsatz bleiben. Allerdings kann es zu Scheinanzeigen kommen, da die Kontaktstellen des Radsatzwellenschutzes zur Radsatzwelle Anzeigen bei der Prüfung hervorrufen können. Gefestigte Erfahrungen dazu liegen noch nicht vor, die Prüfer sind entsprechend zu sensibilisieren.

Durch den Schutz der Radsatzwelle und die damit stark reduzierte Schadenswahrscheinlichkeit können beim Vorliegen entsprechender Nachweise vom ECM 2 die laufleistungsabhängigen Intervalle für die UT-Prüfung angepasst werden.



Abbildung 12-2: Montierter Radsatzwellenschutz im Betriebseinsatz



Abbildung 12-3: Radsatzwelle nach der Demontage des Schutzes; ungereinigt



Abbildung 12-4: Radsatzwelle nach der Demontage des Schutzes und Trockenreinigung mit leichten Abdrücken des Schutzes.

### 12.3.1.3 Radsatzwellen mit Schlagschutzbeschichtung – Schutzklasse 1

Radsatzwellen, die nach den Forderungen der Schutzklasse 1 behandelt werden müssen, bedürfen je nach Art des Schlagschutzes einem mehrstufigen Beschichtungsaufbau. Die Untergrundvorbereitung ist dabei gleich wie im Abschnitt 12.3.1.4 auszuführen.

Die Beschichtung erfolgt gemäss Abschnitt 12.3.6.3

Die Handhabung des Schlagschutzes bezüglich Fehlererkennung, Ausbesserung und Unterrostung ist noch nicht abschliessend geklärt.



#### 12.3.1.4 Radsatzwellen mit Beschichtung – Schutzklasse 2 und 3

Radsatzwellen, die unter die Schutzklassen 2 und 3 fallen, werden grundsätzlich durch Farbbeschichtungen gegen Korrosion geschützt. Die Beschichtung ist gemäss den Angaben des Herstellers oder des Fahrzeughalters aufzubauen. Weitere Hinweise dazu finden sich im Abschnitt 12.3.6.2.

Dies betrifft in erster Linie neu gefertigte Radsatzwellen oder Radsatzwellen, bei denen die gesamte Beschichtung erneuert wird. Hier muss ein komplett neuer Farbaufbau mit entsprechender Untergrundvorbereitung hergestellt werden.

#### 12.3.1.5 Radsatzwellen ohne Beschichtung – Schutzklasse 4

Ausnahmen bei der Wellenbeschichtung bilden niedrig belastete Wellen, die aus Sicht der Werkstofffestigkeit die zulässigen Spannungen im Material nur zu maximal 60 % ausnutzen und der Schutzklasse 4 zugeordnet sind. Bei diesen Wellen ist ein Korrosionsschutz nicht erforderlich, allerdings ist hier der Grad der Rostbildung zu beurteilen.

Radsatzwellen ohne Beschichtung sind bei der Instandhaltung gemäss den gültigen Haltervorgaben zu kontrollieren. Auch nach Ausbesserungsarbeiten wird die Welle mit ungeschützten Oberflächen wieder dem Betrieb übergeben.

#### 12.3.1.6 Radsatzwellen mit Längsbohrung

Bei Radsatzwellen mit Längsbohrung (Hohlwellen) muss unabhängig von der geforderten Schutzklasse die Bohrung zwingend gegen Korrosion geschützt werden. Das zu verwendende Korrosionsschuttmittel ist mit Rücksicht auf Ultraschallprüfungen durch die Bohrung zu wählen.

Es wird empfohlen, die Bohrung mit Schmieröl gemäss DIN 51501, Typ L-AN 150 oder z.B. Shell Tellus 86 zu konservieren. Dabei ist es ausreichend, wenn die Oberfläche der Bohrung vollständig mit dem Öl benetzt ist. Es darf zu keiner Bildung von Ölsammlungen in der Bohrung durch überschüssiges Öl kommen.

Bei der Neulieferung von Radsatzwellen oder der Lagerung von Radsätzen ohne Achslagergehäuse ist die Bohrung beidseitig korrosionssicher zu verschliessen.

Im eingebauten Zustand ist die Bohrung offen zu halten. Der Schutz vor äusseren Einflüssen wird dann durch das Radsatzlagergehäuse sichergestellt.

#### 12.3.2 Korrosionsschutz der Räder

Der Beschichtungsaufbau bei Radscheiben erfolgt, sofern vorhanden, gemäss den Angaben des Herstellers oder nach den in Abschnitt 12.3.6.2 angegebenen Beispielen.

Folgende Aussenflächen an den Rädern dürfen nicht beschichtet werden:

- Laufläche
- Radkranzstirnfläche
- Radkranzrückenseite

Nach dem Abschluss der Bearbeitung noch vorhandene Korrosionsschutzbeschichtungen auf diesen Aussenflächen sind vollständig zu entfernen. Sie dürfen lediglich leicht mit Korrosionsschutzöl eingeölt sein.

Die Beschichtung der Radnabenbohrung mit einem geeigneten Langzeitüberzug als Schutz während der Lagerung ist kein Korrosionsschutz im Sinne dieses Kapitels.



### 12.3.2.1 Vollräder

Vollräder, die für den Einsatz mit Klotzbremsen vorgesehen sind, sind zumindest an der Aussenseite mit einem speziellen Farbanstrich gemäss Abschnitt 12.3.6.4 zu versehen, der auf thermische Einflüsse kontrolliert reagiert. Damit ist sichergestellt, dass eine thermische Überlastung durch Klotzbremsen von aussen visuell klar erkennbar und eine grobe Beurteilung möglich ist. Die Innenseite kann gemäss Abschnitt 12.3.6.2 beschichtet werden, sofern der Hersteller keine Angaben dazu macht.

### 12.3.2.2 Radkörper

Radkörper in den Ausführungen als Vollmaterial und als Radsterne mit Speichen sind gemäss dem Vorgehen unter Abschnitt 12.3.6.2 zu beschichten, sofern keine spezifischen Herstellerangaben vorhanden sind. Dabei ist zu beachten, dass die Funktionsflächen frei von Farbe bleiben und allenfalls mit einem geeigneten Überzug gegen Korrosion während der Lagerung geschützt werden.

Radkörper sind mit Vorteil vor der Montage auf die Radsatzwelle und dem Aufziehen des Radreifens zumindest zu grundieren. Nach der erfolgten Montage auf die Radsatzwelle und der Montage von Radreifen und Sprengring muss die endgültige Beschichtung aufgetragen werden. Dabei kann auch der eingewalzte Sprengring und die freiliegenden Bohrungsflächen der Radreifen behandelt werden. Die unter Abschnitt 12.3.2 genannten Flächen dürfen nicht beschichtet werden.

### 12.3.3 Radsatzlagergehäuse

Radsatzlagergehäuse sind nach den Vorgaben des Lieferanten oder Fahrzeughalters zu beschichten. Wenn keine Unterlagen vorhanden sind, kann die Beschichtung gemäss Abschnitt 12.3.6.2 ausgeführt werden. Die funktionalen Flächen sind nicht zu beschichten und temporär gegen Rost zu schützen. Die Beschichtung der Radsatzlagergehäuse wird mit Vorteil in demontiertem Zustand vorgenommen. Je nach Gehäusebauart muss sichergestellt werden, dass Wasserablauf- und Entlüftungsbohrungen zur Vermeidung von Wasseransammlungen nicht durch die Beschichtung verstopft werden. Bei der Farbwahl für die Radsatzlagergehäuse und Radsatzlagerdeckel ist darauf zu achten, dass diese nicht glänzend ist und dadurch die Heissläuferortungsanlagen irritiert.

Mindestens die Lagerdeckel von Güterwagen-Lagergehäusen sind mit thermosensiblen Anstrichsystemen gemäss Abschnitt 12.3.6.4 zu beschichten.

Allfällige farbliche Kennzeichnungen auf den Gehäusen bzw. Lagerdeckeln, wie sie z.B. bei thermisch hoch belastbaren Vollrädern angebracht werden, sind dann aufzubringen, wenn die Zuordnung zum entsprechenden Radsatz eindeutig ist, entweder durch einen garantierten Materialfluss oder nach der Montage auf dem Radsatz.

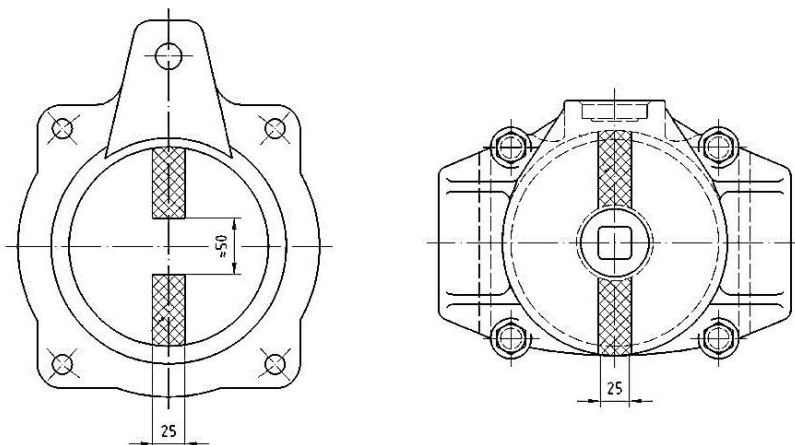


Abbildung 12-5: Kennzeichnung thermisch hochbelastbarer Radsätze mit weissem, unterbrochenem Strich.

### 12.3.4 Korrosionsschutz am kompletten Radsatz

Unabhängig vom zeitlichen Vorgehen beim Aufbringen der Beschichtung während des Fertigungsprozesses muss der einbaufertige Radsatz fertig beschichtet und die aufgebrauchte Beschichtung ausreichend abgetrocknet sein, um beim Transport mit den vorgeschriebenen Mitteln keinen Schaden zu nehmen.

Es wird empfohlen, die durch Nabenüberstände am Radsitz entstandenen versteckten Mulden nach dem Beschichten auszufüllen, um die Fügestellen gegen aussen abzudichten. Dies kann z.B. mit Silikon ausgeführt werden.

### 12.3.5 Untergrundvorbereitung

Eine saubere Untergrundvorbereitung ist für einen guten Korrosionsschutz zwingend erforderlich. Ohne die saubere Durchführung der Reinigungsarbeiten kann kein guter Korrosionsschutz garantiert werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Komponenten des Radsatzes in demontiertem Zustand vorliegen. Ist der Radsatz in montiertem Zustand, so ist dem Schutz der nicht zu behandelnden Teile sowie den Bereichen der Pressverbindungen grosse Aufmerksamkeit zu schenken, um Schäden durch eindringendes Reinigungsmittel zu vermeiden.

#### 12.3.5.1 Entfernen alter Beschichtungen

Zum Entfernen der alten Farbschichten sind folgende nicht abrasive Verfahren zugelassen, die eine unzulässige Schädigung der Welle vermeiden und die geforderte Oberflächengüte sicherstellen:

- Strahlen mit definiertem Strahlmittel
- Bürsten
- Hochdruckwasserstrahlen
- Beizverfahren

Der Untergrund soll nach der mechanischen Reinigung weitgehend staub- und schmutzfrei sein. Sofern keine Herstellerangaben vorhanden sind, werden folgende Oberflächengüten auch mit Rücksicht auf die Radsatzwellenbereiche gemäss Abbildung 9-1 empfohlen:

(für die Farbhaftung optimal:  $R_a = 4\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$ )

- Radsatzwelle, in Übergangsbögen:  $R_a 0.8 - 1.6$
- Radsatzwellen, am Wellenschaft:  $R_a 3.2 - 6.3$
- Radscheibe:  $R_a 6.3$  bis  $R_a 12.5$

Die weitere Reinigung und Beschichtung müssen so bald als möglich ausgeführt werden, um Rostbildung zu vermeiden.

Besteht keine Notwendigkeit, die bestehende Beschichtung vollständig zu entfernen, so sind die Flächen z.B. mittels Drahtbürste oder einem wirksamen maschinellen Verfahren von oberflächlich haftender Farbe oder Rost zu befreien. Es soll ein Normreinheitsgrad St 2 gemäss SN EN ISO 12944-4 bzw. SN EN ISO 8501-1 erreicht werden.

#### 12.3.5.2 Reinigung und Vorbereitung zum Beschichten

Zur Reinigung und Entfettung werden in der Regel alkalische Reinigungs- und Neutralisationsmittel verwendet. Nähere Angaben dazu liefert in der Regel der Farbhersteller. Der Untergrund muss nach der Reinigung trocken sowie absolut fett-, schmutz- und silikonfrei sein. Die Beschichtung sollte direkt nach dem Trocknen und der Abkühlung der Radsatzwelle auf ca.  $20 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ausgeführt werden.

### 12.3.6 Beschichtungstypen

Je nach Anforderung an den Einsatz des Radsatzes oder den Vorgaben des Herstellers müssen verschiedene Beschichtungstypen zur Anwendung gebracht werden. Diese sind hier beispielhaft dargestellt. Die genannten Produkte stellen dabei nur einen willkürlichen Auszug aus der möglichen Palette der zur Verfügung stehenden Materialien dar, die endgültige Festlegung der zu verwendenden Materialien hat durch den Fahrzeughalter zu erfolgen.

#### 12.3.6.1 Ein- und Mehrschichtaufbau

Der Farbaufbau besteht in der Regel aus einer Grundierung und einer Deckschicht, wobei die Beschichtungen und deren Dicken jeweils aufeinander abgestimmt werden müssen. Auch Einschichtbeschichtungen sind geläufig. In der Regel definiert der Radsatzhersteller oder der Fahrzeughalter den Aufbau der Beschichtung. Nachfolgend einige Beispiele:

##### Einschichtaufbau

- Eposist 2001, Firma Wilckens
- Thermalbond, Firma WHPC
- SikaCor 6630 high-solid, Firma Sika

Der Auftrag erfolgt vorzugsweise im Spritzverfahren, die Trockenschichtdicke muss mindestens 100 µm betragen. Einschichtaufbauten können auch aus mehreren nacheinander aufgetragenen Beschichtungslagen des gleichen Produkts bestehen, um die geforderte Trockenschichtdicke zu erreichen.

##### Mehrschichtaufbau

- Grundierung 1K-PVB-Primer (Polyvinylbutyral), Schichtdicke mindestens 40 µm, Decklack 1K-Copolymer, Schichtdicke mindestens 150 µm
- Grundierung 2K-Epoxy Metallgrund, Schichtdicke mindestens 40 µm, Decklack 2K-Epoxy Dickschicht «elastifiziert», Schichtdicke mindestens 150 µm
- Grundierung 2K-Epoxy Grundfarbe, Schichtdicke mind. 80 µm (zweimal je 40 µm), Decklack 2K-Polyurethan-Decklack, Schichtdicke mindestens 40 µm

Die Beschichtungen können durch Streichen oder Spritzen aufgebracht werden. Es ist darauf zu achten, dass keine Läufe entstehen. Die vorgegebene Trocknungszeit der einzelnen Beschichtungen ist bei den geforderten Bedingungen einzuhalten. Bei forcierter Trocknung durch erhöhte Temperaturen sind unbedingt die Angaben des Herstellers zu beachten.

Die Gesamtschichtdicke sollte 500 µm nicht überschreiten. Die Qualität des Anstriches ist durch geeignete Prüf- und Kontrollmassnahmen sicher zu stellen.

#### 12.3.6.2 Beschichtung mit Schlagschutz

Beschichtungen mit Schlagschutzeigenschaft sollen verhindern, dass die Radsatzwelle durch äussere Schlageinwirkung wie z.B. durch aufgewirbelten Schotter beschädigt wird. Diese Anwendung ist nur für Radsätze mit der Schutzklasse 1 für hohe Geschwindigkeiten gefordert und technisch noch nicht vollkommen ausgereift.

Zur Beschichtung ist z.B. folgender Aufbau möglich (gemäss Bochumer Verein):

|                  |                                                                                        |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Korrosionsschutz | 1K-PVB-Primer, Schichtdicke 20 – 30 µm<br>1K-Copolymer (WUS), Schichtdicke min. 150 µm |
| Schlagschutz     | 2K-PU (Terotex), Schichtdicke min. 6 mm                                                |

Zum Aufbau und der Materialwahl des Schlagschutzes sind unbedingt die Vorgaben des Herstellers einzuhalten.

#### 12.3.6.3 Thermosensible Beschichtung

Thermosensible Beschichtungen verändern ihre Eigenschaften in einem definierten Rahmen, wenn gewisse Temperaturen überschritten werden. Sie eignen sich dadurch zur Detektion von thermischer Überlastung von Bauteilen. Im Bereich Radsatz werden sie bei klotzgebremsten Vollrädern und zum Teil Radsatzlagerdeckeln im Bereich Güterwagen verwendet. Dadurch ist eine einfache visuelle Kontrolle allfälliger Schädigungen durch unzulässig hohe Erwärmung möglich. Folgende Produkte werden dazu empfohlen:

- SEB 9305, Firma Wilckens
- BD 18, Firma Novatic

Der Auftrag erfolgt vorzugsweise im Spritzverfahren, die Trockenschichtdicke muss mindestens 100 µm betragen. Weitere Produkte können durch den Radsatzhersteller oder Fahrzeughalter definiert werden.

#### 12.3.6.4 Beschichtung von Radsatzlagergehäusen

Bei der Beschichtung von Radsatzlagergehäusen wird empfohlen, Farben mit einer nach dem Trocknen matten Oberfläche zu verwenden. Die Farbgebung soll im Bereich Schwarz bis Dunkelgrau liegen.

Die Farbgebung an den Radsatzlagergehäusen gemäss diesen Empfehlungen dient dazu, die Heissläuferortungsanlagen nicht durch Reflexionen negativ zu beeinflussen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Norm SN EN 15437-1 (Abschnitt 5.5) hierzu ausdrücklich keine verbindliche Aussage macht. Obige Empfehlungen entsprechen den Betriebserfahrungen, die in der Schweiz gemacht worden sind.

#### 12.3.7 Ausbessern von Farbschäden an Radsätzen

Ist die Beschichtung der Welle oder der Radscheiben zu mehr als ca. 30 % der Fläche geschädigt, so ist der Radsatz auszubauen und die gesamte Beschichtung komplett entsprechen der jeweiligen Anforderung der Schutzklasse zu erneuern. Die Entfernung der alten Beschichtung kann gemäss Abschnitt 12.3.1 ausgeführt werden.

Radsätze mit einem Schadensausmass kleiner 30 % können wie nachfolgend beschrieben auch in eingebautem Zustand behandelt werden.

Beschichtungen der Schutzklasse 1 sind gesondert entsprechend den Herstellervorschriften zu behandeln.

##### 12.3.7.1 Vorbereitungsarbeiten in eingebautem Zustand

Angebaute Radsatzlager oder Getriebe sind bei der Entfernung der schadhafte Beschichtung ausreichend vor Verschmutzung zu schützen.

Die geschädigten Bereiche der Beschichtung müssen soweit entfernt werden, dass die Schadstelle nur noch von gut haftender Farbe umgeben ist. Zur Entfernung sind Drahtbürsten (auch maschinell angetrieben) mit Stahlborsten oder Schaber, deren Messer nicht aus Stahl oder Hartmetall ist, zu verwenden, damit die Bauteiloberfläche nicht mechanisch beschädigt wird. Die Übergänge zu der gut haftenden Farbe sind mit Schmirgelpapier Körnung 80 oder feiner so anzuschleifen, dass kein kantiger Absatz mehr vorhanden ist.

Von der Oberfläche der anderen Bereiche sind loser Rost, lose Beschichtungen und andere lose artfremde Verunreinigungen zu entfernen. Der Bereich der auszubessernden

Beschichtung muss so bearbeitet sein, dass er einen metallisch sauberen Glanz ohne Rostspuren aufweist.

Der auszubessernde Bereich muss mit einem Schnell- oder Bremsenreiniger unter Verwendung eines sauberen Papiertuchs entfettet werden. Es ist darauf zu achten, dass dabei kein neuer Schmutzeintrag von den Rändern der Schadensstelle erfolgt. Bei der Verwendung von Schutzhandschuhen ist darauf zu achten, dass diese sauber sind. Es sollten mit Vorteil Einweghandschuhe verwendet und die gesäuberte Stelle nicht mit den blossen Händen berührt werden.

#### **12.3.7.2 Beschichten im eingebauten Zustand**

Zum Auftragen der ausgewählten Beschichtung muss der Radsatz oder zumindest der auszubessernde Bereich die vom Farbhersteller angegebene Mindesttemperatur aufweisen. Die zu beschichtende Oberfläche muss trocken sein, eine Taubildung durch grosse Temperaturunterschiede ist nicht zulässig.

Die Ausbesserung des Korrosionsschutzes hat mit dem vom Fahrzeughalter angegebenen Anstrichstoff zu erfolgen, bei der Verarbeitung sind stets die Angaben des Herstellers zu beachten.

Die Beschichtung wird in der Regel durch Streichen mit einem Flachpinsel aufgetragen. Dies hat bei der Radsatzwelle stets in Längsrichtung zu erfolgen. Zum Erreichen einer ausreichenden Trockenschichtdicke muss die Beschichtung in der Regel zweimal aufgetragen werden. Dabei sind die Zwischentrocknungszeiten gemäss Herstellerangaben zu beachten.

Die Beschichtung muss mindestens staubtrocken sein, wenn der Radsatz wieder in den Betrieb gegeben wird.

### **12.4 Temporärer Korrosionsschutz bei der Lagerung**

---

Als temporärer Korrosionsschutz wird eine Beschichtung bearbeiteter Flächen mit einem Überzug bezeichnet, die ein Anrosten während der Lagerzeit verhindern. Diese Beschichtungen stellen keinen Korrosionsschutz zur Verwendung im Betrieb dar.

Beim temporären Korrosionsschutz ist zwischen den Lagerfristen zu unterscheiden, in denen das Bauteil zu schützen ist. Als kurzfristige Lagerung wird eine Zwischenlagerung eines Bauteils definiert, dass innerhalb 48 Stunden weiterbearbeitet wird. Wird diese Zeitfrist überschritten, wird dies als langfristige Lagerung bezeichnet.

Entsprechend der Lagerfristen wird ebenso zwischen kurzfristigem und längerfristigem Korrosionsschutz unterschieden.

#### **12.4.1 Kurzfristiger Korrosionsschutz**

Ein kurzfristiger Korrosionsschutz bedingt unabhängig vom verwendeten Korrosionsschutzmittel eine Lagerung in trockenen und temperierten Räumen und einen Schutz vor Nässe beim Transport. Als Korrosionsschutzmittel können je nach Anwendungsfall und Situation dienen:

- Reste des Kühlschmierstoffs aus der vorhergehenden Bearbeitung
- Korrosionsschutzöl

Schutzkappen oder geeignete Abdeckungen. Der kurzfristige Korrosionsschutz ist bei unlackierten, bearbeiteten Flächen anzuwenden. Davon ausgenommen ist der Radkranz, er muss nicht geschützt werden.

## 12.4.2 Längerfristiger Korrosionsschutz

Ein langfristiger Korrosionsschutz bedingt unabhängig vom verwendeten Korrosionsschutzmittel eine trockene Lagerung. Grundsätzlich sind die Bauteile auch beim Transport vor Nässe zu schützen, in Ausnahmefällen kann bei kurzen, werksinternen Transporten darauf verzichtet werden.

### Radscheibe

Farbfreie Bereiche sind gegen Korrosion zu schützen:

- Nabenbohrung vorgebohrt: leicht eingeölt
- Nabenbohrung fertig gebohrt: geschützt mit <sup>2)</sup>, gegebenenfalls beidseitig korrosionssicher verschlossen
- Ölabpressbohrung leicht eingeölt, Gewindeseite mit Schutzkappe verschlossen
- Montageflächen für Radbremsscheiben und Mitnehmern: geschützt mit <sup>\*)</sup>
- Reibflächen der Scheibenbremse: leicht eingeölt
- Radkranz: leicht eingeölt

### Radsatzwelle, Schmiederohling

- an den Aussenflächen kein Korrosionsschutz, auch wenn vorgedreht
- wenn vorhanden Hohlbohrung durch Schmieröl gemäss DIN 51501, Typ AN 150, geschützt und beidseitig korrosionssicher verschlossen

### Radsatzwelle, teilbearbeitet oder einbaufertig

- Farbfreie Bereiche geschützt mit <sup>2)</sup>
- stirnseitige Gewindebohrungen gegen Korrosion geschützt
- wenn vorhanden Hohlbohrung durch Schmieröl gemäss DIN 51501, Typ AN 150, geschützt und beidseitig korrosionssicher verschlossen

### Wellenbremsscheibe

- Nabenbohrung geschützt mit <sup>2)</sup>
- Ölabpressbohrung leicht eingeölt, Gewindeseite mit Schutzkappe verschlossen
- Reibflächen der Scheibenbremse: leicht eingeölt

---

2) Als gängige Korrosionsschutzmittel für diese Bereiche haben sich folgende Produkte in der Praxis bewährt:

- Tectyl 846-K-19
- Tectyl 506EH
- Maxolen 41 Corr Protect

Andere Korrosionsschutzmittel können verwendet werden, wenn sie mindestens gleichwertige Eigenschaften wie die vorstehend genannten Produkte in Bezug auf Schutz des Materials und Handhabbarkeit aufweisen.



## 13 Transport und Lagerung von Radsätzen und Bauteilen

---

### 13.1 Lagerung

---

Von einer Lagerung von Radsätzen oder ihrer Bauteile spricht man, wenn diese länger als drei Tage nicht bewegt werden. Davor spricht man von Zwischenlagern. Die Vorschriften für das Zwischenlagern finden sich in Abschnitt 13.3.

Die Lagerung von Radsätzen hat mit Sorgfalt zu erfolgen. Es darf keine Beschädigung am Radsatz und am Farbanstrich entstehen.

Radsätze und ihre Bauteile sind immer auf festem, ebenem Untergrund zu lagern, so dass es zu keinem Kippen, Absinken oder Wegrollen kommen kann.

Prinzipiell müssen bei allen gelagerten Teilen blanke Metallflächen vor Korrosion (Ausgenommen Flächen des Radkranzes und der Bremsscheiben) geschützt werden.

Radsätze mit fertig montierten Radsatzlagern inklusive Gehäuse dürfen der freien Witterung ausgesetzt werden, sofern das Dichtsystem genügend gegen das Eindringen von Feuchtigkeit schützt (z.B. Filzringdichtung oder befettete Labyrinthdichtung).

Sie dürfen aber höchstens drei Tage mit Schnee bedeckt sein. Regenwasser muss abfließen können (Radsätze dürfen nicht in Pfützen stehen). Auf den Radsätzen darf es zu keiner Ansammlung von Laub oder Ästen kommen.

Radsätze mit teilmontiertem Radsatzlager (z.B. Radsatz mit montiertem Kartuschenlager, aber ohne Radsatzlagergehäuse) dürfen nicht der freien Witterung ausgesetzt werden.

Werden Radsätze in geschlossenen Räumen gelagert, soll sichergestellt werden, dass der Taupunkt nicht unterschritten wird.

Jeder Radsatz oder jedes Bauteil eines Radsatzes muss, nachdem es dem Lager entnommen wurde, einer minimalen visuellen Kontrolle auf Beschädigungen und Allgemeinzustand genügen.

Die maximale Lagerdauer endmontierter Radsätze beträgt 2 Jahre, anschliessend ist der Radsatz, abhängig von der Wellenoberfläche, mindestens einer Lageraufarbeitung zu unterziehen, um eine korrekte Befettung sicher zu stellen.

#### 13.1.1 Lagerung von Radsatzwellen

Radsatzwellen sind so zu lagern, dass keine Eindrücke oder andere mechanische Beschädigungen an ihnen entstehen. Fertig bearbeitete und lackierte Radsatzwellen sind so zu lagern, dass die Lackierung nicht beschädigt wird. Fertig bearbeitete Flächen sind gegen Korrosion zu schützen.

Sollen mehrere Lagen Radsatzwellen übereinandergestapelt werden, ist eine entsprechend tragfähige und weiche Zwischenlagen einzusetzen.

Die Radsatzwellen dürfen sich bei der Lagerung einander nicht berühren und müssen grossflächig aufliegen, um zu verhindern, dass Eindrücke entstehen.

**Hierbei ist das Gewicht der oberen Lagen zu beachten!**



Abbildung 13-1: Lagerung von Radsatzwellen im Innenbereich

### 13.1.2 Lagerung von (Wagen)radsätzen

Die Lagerung von Wagenradsätzen hat so zu erfolgen, dass es zu keinerlei Beschädigung der Bauteile (Abdrücke, Kerben, etc.) oder der Lackierung kommen kann. Die Lagerung der Radsätze hat auf den Laufflächen zu erfolgen. Eine Lagerung auf dem Spurkranz ist zulässig, wenn sichergestellt ist, dass dieser in einem Holz- oder Kunststoffuntergestell steht.

Es darf zu keinen Berührungen von Radsätzen kommen:

- im Bereich Radsatzlager und Spurkranz
- im Bereich Spurkranz und Radsatzwelle
- im Bereich der Laufflächen

Laufwagensätze dürfen unter Berücksichtigung der vorstehenden Bedingungen und entsprechenden Vorkehrungen zur Standsicherheit und Gesamtbelastung auch gestapelt gelagert werden.

Beim Lagern von Radsätzen sind unlackierte Flächen (ausser Flächen am Radkranz und Bremsscheiben) vor Korrosion und Umwelteinflüssen zu schützen. Dies gilt insbesondere für die Lagersitze, wenn die Radsätze ohne Radsatzlager gelagert werden.



Abbildung 13-2: Lagerung von Radsätzen im Aussenbereich

#### 13.1.2.1 Schäden bei der Lagerung

Treten Schäden bei der Lagerung an einem Radsatz oder einem Radsatzbauteil auf, muss dieser oder dieses unverzüglich eindeutig als «gesperrt» markiert werden. Der Radsatz ist dem Fahrzeughalter mit der zwingenden Angabe der Radsatznummer und der Schadensursache zu melden.

**Die Meldepflicht ist für jede Person verbindlich, die Schäden an Radsätzen oder Radsatzbauteilen verursacht oder feststellt.**

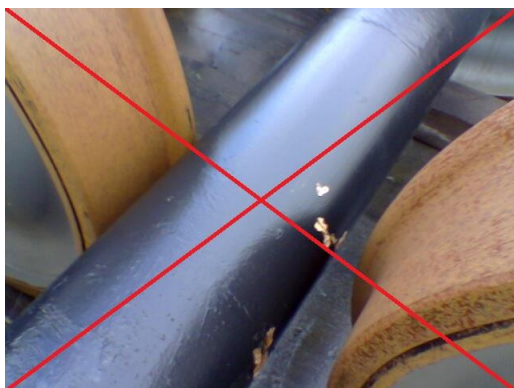


Abbildung 13-3: Schäden an der Radsatzwelle durch falsche Lagerung

### 13.1.3 Lagerung von Radscheiben

Radscheiben sind so zu lagern, dass keine Eindrücke oder andere mechanischen Beschädigungen an ihnen entstehen.

Fertig bearbeitete und lackierte Radscheiben sind so zu lagern, dass die Lackierung nicht beschädigt wird. Fertig bearbeitete Flächen (ausser Flächen am Radkranz und Bremscheiben) sind gegen Korrosion zu schützen.

Die Radscheiben werden in einer Linie übereinander gelagert, ohne dass diese sich direkt berühren dürfen. Sie sind über die Radkränze zu stützen. Es ist eine entsprechend tragfähige und weiche Zwischenlage einzusetzen. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass die Radscheiben grossflächig aufliegen, um Eindrücke zu vermeiden (**Gewicht der oberen Lagen beachten!**). Paletten mit Radscheiben dürfen sich nicht auf mehreren Radscheibenstapeln abstützen.

Die vertikale Lagerung der Radscheiben in dafür vorgesehenen Spezialgestellen ist der horizontalen Lagerung aus Gründen der Handhabbarkeit und Arbeitssicherheit vorzuziehen (siehe Abbildung 13-5).



Abbildung 13-4:  
Lagerung von Radscheiben horizontal ohne Witterschutz



Abbildung 13-5:  
Lagerung von Radscheiben vertikal in Spezialgestellen





Abbildung 13-6: Horizontale Lagerung von Radscheiben an witterungsgeschütztem Abstellort

### **Die maximale Stapelhöhe bei horizontaler Lagerung beträgt 4 Radscheiben**

Bei der senkrechten Lagerung von Radscheiben ist darauf zu achten, dass diese nicht aneinanderschlagen oder sich verschieben bzw. wegrollen können.

Werden die Radscheiben horizontal im Freien gelagert, ist zu verhindern, dass sich im Radkörper Ansammlungen von Wasser, Schmutz, Schnee oder Eis bilden. Ansammlungen von Laub oder Ästen sind zu verhindern (Anordnung gemäss Abbildung 13-4 bietet hierzu im ungedeckten Bereich nicht genügend Schutz).

## **13.2 Transport von Radsätzen**

### **13.2.1 Wichtige Hinweise**

Beim Transport von Radsätzen und deren Bauteilen ist grundsätzlich mit grosser Sorgfalt vorzugehen.

Bei so hochbeanspruchten und sicherheitsrelevanten Bauteilen wie Radsätzen können auch kleinste Beschädigungen (Schlagschäden durch Umkippen oder Herunterfallen sowie durch mangelhafte Hebe- und Sicherungseinrichtungen) zu Rissen führen, die zum Ausfall des Bauteiles führen können.

#### **Meldepflicht**

Wenn ein oder mehrere Radsätze oder Bauteile von Radsätzen durch den Transport oder beim Zwischenlagern beschädigt wurden, muss der Radsatz eindeutig als gesperrt gekennzeichnet werden. Der Radsatz muss der entsprechenden Stelle (Fahrzeughalter, siehe oben) mit der zwingenden Meldung der Radsatznummer und der Schadensursache zur Kontrolle zurückgeschoben werden.

Die entsprechenden Massnahmen gemäss den Anweisungen des Fahrzeughalters sind zu befolgen.

Die Meldepflicht ist auch dann einzuhalten, wenn beschädigte Radsätze vorgefunden werden, oder unsachgemässe Behandlung von Radsätzen festgestellt wird.

### 13.2.2 Kontrollen

Bei jeder Anlieferung von Radsätzen müssen diese zur eigenen Sicherheit vor dem Entlad einer minimalen visuellen Kontrolle unterzogen werden.

Diese visuelle Kontrolle beinhaltet:

- Überprüfung der richtigen Lieferung in Bezug auf:
  - Lieferort
  - Radsatztyp oder Artikel
  - Anzahl
  - Kontrolle des Transportes auf korrekte Verladung
- Kontrolle des allgemeinen Zustandes wie:
  - Farbanstrich
  - Verschmutzungen
  - Beschädigungen

Bei groben Mängeln sind vor dem Abladen mit dem Lieferanten die weiteren Massnahmen zu vereinbaren. Hierbei ist eine Fotodokumentation zu erstellen.

Im Zweifelsfalle ist eine Fachperson beizuziehen.

#### **Grundsatz**

Die Ware darf erst abgeladen und entgegengenommen werden, wenn die Lieferung den Angaben auf dem Lieferschein und der Lieferqualität entspricht.

**Bei Schäden kann Regress geltend gemacht werden.**

### 13.2.3 Transporteinrichtungen für Radsätze (mit Transportgeräten)

#### **Grundsätzlich**

Der Radsatz darf sich beim Transport nicht drehen oder verschieben.

Es dürfen keine Beschädigungen in mechanischer Form oder am Oberflächenschutz (Farbe) entstehen.

### Transport mit Stapler

Es gibt verschiedene Einrichtungen, die zum Transportieren von Radsätzen geeignet sind und eingesetzt werden können.



**Beispiel 1**

Transporteinrichtungen auf der Gabel vom Stapler sind erlaubt, wenn sie keine Beschädigungen an der Welle verursachen können (Holz-, Kunststoff- oder organische Auflage).



**Beispiel 2**

Die Radsätze müssen in Fahrtrichtung geführt sein.

Sie dürfen sich während der Fahrt nicht drehen oder in Fahrtrichtung verschieben können.



**Beispiel 3**

Falls es der Stapler erlaubt, dürfen mehrere Radsätze miteinander transportiert werden, jedoch dürfen sich die Radsätze während des Transportes nicht berühren.

Abbildung 13-7: Transporteinrichtungen zum Transport von Radsätzen mit Gabelstapler

Beschädigte oder defekte Transportvorrichtungen dürfen nicht mehr verwendet werden. Sie müssen vor Gebrauch instandgesetzt werden.

### 13.2.4 Hebeeinrichtungen für Radsätze (mit Kranen)

Die Haken, mit denen die Radsätze transportiert werden, müssen mit einer Schutzschicht versehen sein. Diese Schutzschicht hat die Aufgabe, den Radsatz vor Farb- und mechanischen Schäden zu schützen.

Es dürfen beim Transport des Radsatzes keine Beschädigungen auf der Oberfläche der Radsatzwelle oder der Radscheiben entstehen.

#### Schutzschicht

Diese kann bestehen aus:

- Holz
- Kunststoff
- Gummi
- Leder
- Textilfasern
- Organische Stoffe

und muss entsprechend nachgiebig und tragfähig sein.

Es besteht auch die Möglichkeit, den Radsatz an den Radscheiben zu heben, dazu muss jedoch sichergestellt sein, dass keine Oberflächenbeschädigungen an den Kontaktstellen zwischen Hebebalken und Radscheibe entstehen können. Zudem muss sichergestellt werden, dass der Radsatz nicht aus dem Hebemittel rutschen kann.





Abbildung 13-8: Hebevorrichtungen für Radsätze

Beschädigte oder defekte Hebevorrichtungen dürfen nicht mehr verwendet werden. Sie müssen vor Gebrauch instand gesetzt werden.

### 13.2.5 Transporteinrichtungen auf Fahrzeugen

#### 13.2.5.1 Transport auf Eisenbahnwagen

Es muss eine geeignete Einrichtung vorhanden sein, die sicherstellt, dass sich die Radsätze beim normalen Transport nicht berühren und nicht beschädigt werden.



#### **Beispiel 1**

**Fahrzeuge mit fest aufgebauten Transporteinrichtungen, zum Transport quer zur Fahrtrichtung.**

Die Radsätze werden auf der Lauffläche oder am Spurkranz aufgelegt und festgehalten. Die Radsätze dürfen sich beim Transport nicht bewegen (kein Schaukeln), und müssen gegen Verschieben gesichert sein.

Abbildung 13-9: Fahrzeuge mit fest aufgebauter Radsatztransporteinrichtung, zum Transport quer zur Fahrtrichtung.



Abbildung 13-10: Fahrzeuge mit fest aufgebauter Radsatztransporteinrichtung, zum Transport längs zur Fahrtrichtung.

### **Beispiel 2**

**Fahrzeuge mit fest aufgebauten Transporteinrichtungen, zum Transport längs zur Fahrtrichtung.**

Die Radsätze werden auf der Lauffläche oder am Spurkranz aufgelegt und festgehalten. Die Radsätze dürfen sich beim Transport nicht bewegen (kein Schaukeln), und müssen gegen Verschieben gesichert sein.



### **Beispiel 3**

**International zugelassene Holzpaletten, auf denen die Radsätze abgestellt werden können.**

Die Dimensionierung der Paletten ist so zu wählen, dass der Spurkranz nicht auf dem Boden aufstehen kann.



Beim Transport von Radsätzen mit Holzpaletten auf Eisenbahnwagen sind folgende Punkte zu beachten:

- Pro Radsatz müssen zwei Holzpaletten verwendet werden.
- Die Radsätze sind längs zur Fahrtrichtung zu Verladen und dürfen einander nicht berühren.
- Die Radsätze brauchen nicht weiter befestigt zu werden.

Abbildung 13-11: Holzpaletten für Radsätze zum Transport längs zur Fahrtrichtung

## **13.2.5.2 Transport auf dem LKW**

Wenn die Radsätze auf dem LKW transportiert werden, muss eine geeignete Einrichtung vorhanden sein, die sicherstellt, dass sich beim Transport die Radsätze nicht berühren und beschädigt werden können.

Radsätze dürfen sich während dem Transport nicht verschieben können und müssen festgezurt sein.

Um die Radsätze zu befestigen, können Spanngurte oder andere Einrichtungen eingesetzt werden, welche auf der Laufläche, den Wellenbremsscheiben oder am Radsatzlagergehäuse anliegen, sodass die Radsätze nicht beschädigt werden.

Können die Radsätze z.B. wegen ungünstiger Verteilung der Befestigungspunkte auf der Ladefläche nicht wie vorgegeben gesichert werden, ist ein Abspannen über die Radsatzwellen mit Spanngurten zulässig. Dies jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Radsatzwelle für den Transport mit entsprechenden Schutzeinrichtungen versehen ist, die keine Lackschäden und Eindrückungen durch die Spanngurte hinterlassen.

Eine Transportvariante, bei der Bauteile des Radsatzes beschädigt werden, ist nicht zulässig.



Abbildung 13-12: Transport von Radsätzen auf LKW

Für Transporte auf LKW sind zusätzlich die allgemein geltenden Transportvorschriften für den Strassenverkehr einzuhalten.

### 13.3 Zwischenlagerung von Radsätzen

Für die Zwischenlagerung gelten die gleichen Kriterien wie für die Lagerung gemäss Abschnitt 13.1.

Folgende Ausnahmen für die Zwischenlagerung sind gestattet:



#### **Fester Untergrund**

**Kurzzeitig (maximal 1 Tag) dürfen Radsätze auf dem Spurkranz bei geradem und flachem Boden aus Beton- oder Teerbelag abgestellt werden. Die Radsätze sind dabei vorsichtig abzustellen.**

Es muss sichergestellt werden, dass sie nicht wegrollen können und der Spurkranz nicht beschädigt wird.

Der Radsatz kann auch mit dem Spurkranz auf einem elastischen, jedoch festen Boden (z.B. Holz oder Kunststoff) abgestellt werden, und gerollt werden.

Abbildung 13-13: Zwischenlagerung von Radsätzen auf festem Untergrund





### Im Freien

Bei der Zwischenlagerung von teilmontierten Radsätzen oder deren Bauteilen im Freien ist zu beachten, dass die Bauteile vor Nässe, Schmutz, Korrosion und anderen Einflüssen geschützt werden müssen.

Abbildung 13-14: Zwischenlagerung von Radsätzen im Freien mit Schutzabdeckungen der Montageflächen



### Loser Untergrund

Radsätze dürfen nicht auf losem Untergrund (Rasen, Erde, Kies, etc.) oder kantigem Untergrund (z.B. Schotter) abgestellt werden.

Abbildung 13-15: Zwischenlagerung von Radsätzen auf losem Untergrund ist verboten

## 13.4 Transporteinrichtungen für Radsatzkomponenten

### 13.4.1 Transport und Zwischenlagerung von Radsatzwellen

Radsatzwellen sind durch geeignete Einrichtungen zu transportieren und zu deponieren. Es dürfen keine Oberflächenschäden entstehen.

Für die Zwischenlagerung dürfen diese auch gestapelt werden.

Zum Stapeln müssen grossflächige Auflagen auf den Wellen sichergestellt werden, damit bei der Oberflächenbeschichtung oder an der Wellenoberfläche keine Beschädigungen entstehen. Es gelten die Vorgaben zur Lagerung von Radsatzwellen aus Abschnitt 13.1.1.

### 13.4.2 Transport und Zwischenlagerung von Radscheiben

Radscheiben dürfen nicht lose transportiert werden. Es muss sichergestellt werden, dass diese sich beim Transport nicht verschieben können.

#### **Zwischenlagerung**

Die Zwischenlagerung von Radscheiben kann waagrecht oder senkrecht erfolgen. Wenn fertig bearbeitete Funktionsflächen (z.B. Radnabenbohrung, Bohrungen und Passflächen für die Aufnahme von Antriebs- oder Bremsbauteilen) gegen Korrosion geschützt sind, kann eine Zwischenlagerung auch im Freien erfolgen.

Wenn Radscheiben länger als 3 Tage im Freien gelagert werden, entspricht dies nicht mehr einer Zwischenlagerung. In diesem Fall müssen die Radscheiben durch eine geeignete Vorrichtung (z.B. Dach, Plane) gegen Umwelteinflüsse geschützt werden.

Wasserlachen, Schnee, Laub oder dergleichen müssen vor dem Einlagern entfernt werden.

Räder können auch aufrecht gelagert und transportiert werden. Die Transporteinrichtung muss dabei sicherstellen, dass die Radscheiben nicht aneinanderschlagen oder sich verschieben können. Es gelten die Vorgaben zur Lagerung von Radscheiben aus Abschnitt 13.1.3.

Entwurf

## 14 Radprofil-Radsatz-Messmittel / Messmethoden

---

Zur messtechnischen Erfassung der Istzustände an Radsätzen – und hierbei insbesondere des Radprofils – werden verschiedenartige Gerätschaften angeboten. Es ist dem messenden Unternehmen weitgehend freigestellt, mit welcher Messmethode gemessen wird, solange die geforderte Messgenauigkeit eingehalten wird. Die verwendeten Messmittel sind dabei zwingend einer systematisch geführten Messmittelüberwachung zu unterwerfen.

Es ist zu beachten, dass die angebotenen Systeme unterschiedliche Voraussetzungen an den Platzbedarf und den zeitlichen Messaufwand stellen sowie unterschiedlich fehler-tolerant bei nicht korrekter Anwendung sind.

Die Abkürzungen der Messgrößen und die zeichnerische Darstellung der Messorte sind in Abschnitt 6.3 dargestellt.

### 14.1 Messen von geometrischen und physikalischen Messgrößen am Radsatz

---

In der Regel werden am Radsatz während der Fertigung und der Instandhaltung verschiedene geometrische und physikalische Messgrößen gemessen und erfasst. Die Datenerfassung dient einerseits des Qualitätsnachweises bei der Herstellung oder schweren Instandhaltung und andererseits der Gewährleistung der Betriebssicherheit im Einsatz. Der Umfang und die Art der zu erfassenden Masse ist auf die Zeitintervalle und Tätigkeiten abgestimmt und in den Kapiteln 8 bis 10 definiert. Die dazugehörigen Ist- und Grenzmasse finden sich im Abschnitt 6.6, sofern nicht anderweitig bereits vorgegeben.

Bei der Auswahl der Messmethoden ist zu beachten, dass es je nach vorgesehendem Einsatz mehr oder weniger geeignete Methoden gibt. Viele der heute noch im Einsatz befindlichen mechanischen Messgeräte werden vermutlich stark an Bedeutung verlieren, da neuere elektronische Geräte bei wesentlich kürzerer Messzeit und grösserer Flexibilität eine deutliche Verbesserung der Datensicherheit in Bezug auf korrekter Übermittlung mit sich bringen. Aktuelle Forderungen nach elektronischen Datenablatesystemen und hoher Prozesssicherheit können zum Teil nur mit diesen neuartigen Geräten erfüllt werden.

Dies soll allerdings nicht dazu verleiten, die Messmethoden und deren Unsicherheit bei der Ergebnisermittlung zu vernachlässigen. Auch hochmoderne elektronische Geräte können falsch messen, einerseits auf Grund der Messmethode oder unzureichend gut definierter Messvorgaben und andererseits wegen unsachgemässer Bedienung. Gerade darum ist es wichtig, dass die Messungen – sofern sie nicht vollautomatisch erfolgen – immer von geübten Personen ausgeführt und die Messergebnisse einer Plausibilitätskontrolle unterzogen werden.

Folgende geometrische Messwerte werden in der Regel am Radsatz erfasst:

- Radprofil mit
  - Spurkranzdicke  $S_d$  [mm]
  - Spurkranzhöhe  $S_h$  [mm]
  - Flankensteilheit  $q_R$  [-]
  - Radkranzbreite  $B_R$  [mm]
  - Auswalzung  $a$  [mm]
  - Hohllauf  $h$  [mm]
  - Gesamtes Radprofil als Formabweichung vom Sollzustand [mm]
  - Gesamtes Radprofil als Polygonzug zur Verschleissdokumentation [-]



- Radsatz mit
  - Radrückenabstand  $A_R$  [mm]
  - Spurmass  $S_R$  [mm]
  - Raddurchmesser  $D$  [mm]
  - Radreifendicke  $b$  [mm] bei Rädern mit Radreifen
  - Hohlhub bei Bremsscheiben [mm]
  - Rundlauf  $H$  [mm]
  - Planlauf  $G$  [mm]
- Unwucht  $U$  [gm], dynamisch oder statisch
- Elektrischer Widerstand  $R$  [mΩ]
- Gewicht  $m$  [kg]
- Restdicke bei Bremsscheiben [mm]

#### 14.1.1 Die Messunsicherheit

Eine Messung wird bei der Ermittlung des Messergebnisses von sehr vielen verschiedenartigen Faktoren beeinflusst, durch die eine Messunsicherheit entsteht. Die generellen Einflussgrößen sind in Abbildung 14-1 dargestellt.

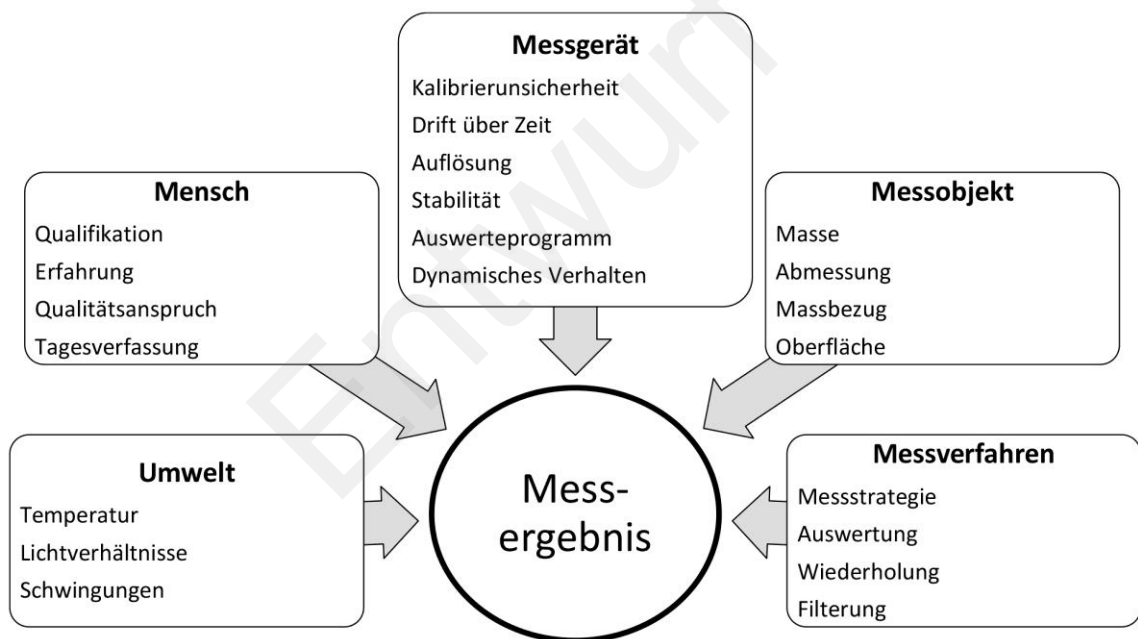


Abbildung 14-1: Einflussgrößen auf das Messergebnis (nicht abschliessend)

Jeder Messgrösse haftet eine Messabweichung  $E$  an (früher auch Messfehler genannt), die die Abweichung des Messwertes vom wahren Wert darstellt. Da der wahre Wert selten wirklich ermittelt werden kann ist in der Regel auch die Messabweichung  $E$  unbekannt. Diesem Umstand begegnet man mit einer Schätzung eines wahrscheinlichen Intervalls, innerhalb dessen der wahre Wert liegt. Dieses Intervall wird als Messunsicherheit bezeichnet.

Um die vorgegebene Messaufgabe bewältigen zu können müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Der Messbereich des Messgerätes muss der Messaufgabe angemessen sein.
- Die Auflösung des Messmittels sollte kleiner oder gleich 5 % der zu prüfenden Spezifikation sein (z.B. Toleranzangabe).

- Die erweiterte Messunsicherheit (Erweiterungsfaktor  $k = 2$ ) sollte kleiner oder gleich 15 % der zu prüfenden Spezifikation sein (z.B. Toleranzangabe).

In begründeten Ausnahmefällen dürfen andere Grenzwerte für die Messunsicherheit bzw. andere Werte für den Erweiterungsfaktor  $k$  festgelegt werden. Dies ist zu dokumentieren.

Unter diese Forderungen fallen gemäss DIN 27201-9 auch Messgeräte für die Erfassung geometrischer Masse am Radsatz.

Um die Messunsicherheit in einen für die ausgeführte Messung vertretbaren Rahmen zu bringen ist es notwendig, neben dem möglichen Ausschluss der oben dargestellten Störfaktoren die Genauigkeit der Messwerterfassung anzupassen, d.h. in der Regel mit einer grösseren Messgenauigkeit zu arbeiten. Gemäss oben angegebenen Kriterien bedeutet dies:

$$U \leq 0.15 \cdot T$$

Formel 14-1: Berechnung der Messunsicherheit  $U$

$$A \leq 0.05 \cdot T$$

Formel 14-2: Berechnung der Auflösung  $A$

Die nachfolgende Tabelle stellt die Auswirkungen dieser Forderungen auf rein informatorischer Basis exemplarisch dar.

| Messgrösse             | Masstoleranz $T^a)$ | Geforderte Messunsicherheit $U$ | Geforderte Auflösung des Messmittels |
|------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Radrückenabstand $A_R$ | $\pm 1.0$ mm        | $\pm 0.15$ mm                   | $\pm 0.05$ mm                        |
| Raddurchmesser $D$     | 1.0 mm              | 0.15 mm                         | 0.05 mm                              |
| Spurkranzdicke $S_d$   | 0.5 mm              | 0.075 mm                        | 0.025 mm                             |
| Rundlauf $H$           | 0.3 mm              | 0.045 mm                        | 0.015 mm                             |
| Spurkranzhöhe $S_h$    | 0.1 mm              | 0.015 mm                        | 0.005 mm                             |

Tabelle 14-1: Theoretisch geforderte Auflösung der Messmittel

a) Masstoleranz als exemplarische Annahme ohne verbindlichen Charakter

Damit muss z.B. der Raddurchmesser mit einer Genauigkeit von 0.15 mm erfasst werden, wenn man sicher sein will, dass das gemessene Mass innerhalb der geforderten Masstoleranz liegt und somit als gültig betrachtet werden kann. Das dazu verwendete Messgerät muss bis auf 0.05 mm genau auflösen.

Bei den Massen für Spurkranzhöhe und Spurkranzdicke ist gemäss den obigen Forderungen mit einer Messauflösung von 0.025 mm zu messen, dies bei einer Genauigkeit von 0.075 mm. Inwieweit diese Forderungen durch die heute verwendeten Messmittel erfüllt werden, ist fraglich. So ist z.B. die an vielen Orten noch gebräuchliche Spurkranzmesslehre mit einer über einen Nonius erzeugten Ablesegenauigkeit von maximal 0.1 mm ausgestattet, die Messunsicherheit ist auf Grund des mechanischen Aufbaus

entsprechend grösser. Damit eine Spurkranzdicke auf 1/10 mm genau zu messen und das Messergebnis als gültig zu betrachten ist falsch.

Dessen muss man sich bewusst sein, wenn man misst. Das reale Ergebnis ist selten so wie es das Messmittel anzeigt.

Für die Praxis wird die Anwendung folgender Werte empfohlen, die nicht zwangsläufig die Forderungen der Messgenauigkeit gemäss DIN 27201-9 erfüllen. Dies gilt insbesondere für die Beschaffung moderner elektronischer Messmittel. Ältere mechanische Messmittel arbeiten in der Regel mit grösserer Messunsicherheit.

| Messgrösse                                            | Fertigungstoleranz<br>Drehmaschine<br>[mm] | Messtoleranz<br>[mm] | Anzeigegenauigkeit<br>Messmittel [mm] |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Raddurchmesser D<br>(Messung auf der<br>Drehmaschine) | $\pm 0.3$                                  | $\pm 0.2$            | $\pm 0.01$                            |
| Raddurchmesser D<br>(Handmessung)                     | –                                          | $\pm 1.0$            | $\pm 0.5$                             |
| Spurkranzhöhe Sh                                      | $\pm 0.2$                                  | $\pm 0.1$            | $\pm 0.05$                            |
| Spurkranzdicke Sd                                     | $\pm 0.2$                                  | $\pm 0.1$            | $\pm 0.05$                            |
| q <sub>R</sub> -Mass                                  | $\pm 0.2$                                  | $\pm 0.1$            | $\pm 0.05$                            |
| Spurmass S <sub>R</sub>                               | $\pm 0.6$                                  | $\pm 0.2$            | $\pm 0.1$                             |
| Radrückenabstand A <sub>R</sub>                       | $\pm 0.2$                                  | $\pm 0.1$            | $\pm 0.05$                            |
| Rundlauf H                                            | $\leq 0.2$                                 | $\leq 0.1$           | $\leq 0.01$                           |
| Planlauf G                                            | $\leq 0.2$                                 | $\leq 0.1$           | $\leq 0.01$                           |

Tabelle 14-2: Empfohlene Anzeigegenauigkeit moderner Messmittel in der Praxis

#### 14.1.2 Bezugssysteme

Neben der Messunsicherheit spielt auch noch die Qualität des Bezugssystems eine Rolle. Hier sollte man sich bewusst sein, wie gut die Qualität des Bezugs ist, z.B. der theoretischen Mittellinie der Radsatzwelle oder der Winkeligkeit von Bezugsflächen zueinander. Die Qualität dieser Bezugssysteme kann stark von den Umgebungsbedingungen abhängen, z.B. dem Einbauzustand oder der Art der Lagerung eines Radsatzes (eingebaut, ausgebaut auf Lagergestell, eingespannt in Drehmaschine, etc.).

Dieser Umstand spiegelt sich z.B. in den unterschiedlichen Grenzwerten beim Radrückenabstand A<sub>R</sub> wider. Diese ändern mit dem Einbauzustand des Radsatzes.

Beim Messen geometrischer Grössen, die sich auf ein Bezugssystem abstützen ist dessen Qualität und Zustand stets zu hinterfragen. Davon sind insbesondere folgende Messungen betroffen:

- Rundlaufmessung H zwischen Spitzen.
- Messung des Radrückenabstands A<sub>R</sub>.
- Messung Flankensteilheit q<sub>R</sub> je nach Messmethode.

Aus diesen Gründen muss bei einem Vergleich von Messergebnissen auch immer der Zustand bzw. die bei den Messungen vorherrschende Qualität des Bezugssystems mit einbezogen werden.

### 14.1.3 Messmittelmanagement und Kalibrierung

Für alle Messsysteme gilt, dass sie zwingend über die Messmittelüberwachung in einem System geführt und überwacht werden müssen. Darin sollen mindestens eine eindeutige Identifikation des Messmittels, die Kalibrierdaten und die entsprechenden Kalibrierzertifikate sowie der Termin der nächsten Kalibrierung ersichtlich sein.

Das Messmittel selbst muss mit folgenden Daten versehen werden (auch codiert möglich):

- Eindeutige Identifikationsnummer des Messmittels.
- Nächster Termin der Kalibrierung oder Zeitbereich der Gültigkeit.

Das Kalibrierintervall wird in der Regel wie folgt festgelegt:

- Lehren für Innen- und Aussenmasse, Massbänder und Massstäbe: 24 Monate
- Radsatzdrehmaschinen: 12 Monate
- Eisenbahntypische Messmittel für Masse am Radsatz: 12 Monate
- Schablonen: 12 Monate

Weitere Angaben dazu finden sich in der DIN 27201-9.

Die Mess- und Prüfmittel bzw. Messeinrichtungen sind bei einem akkreditierten Prüf- und Kalibrierlabor zu kalibrieren, dass zur Kalibration der geforderten Messgrößen eingerichtet ist. Für spezielle bahntypische Aufgaben kann unter Umständen die Anerkennung des Labors durch die zuständige Aufsichtsbehörde notwendig sein.

Es wird empfohlen, Referenzprüfstücke zur Kontrolle der Messeinrichtungen vor Ort zur Verfügung zu stellen.

## 14.2 Messwerterfassung am Radprofil

Bei der Instandhaltung der Radsätze werden am häufigsten die Messwerte am Radprofil erfasst, da sich dort gut Verschleisstendenzen und Annäherungen an Betriebsgrenzmasse erkennen lassen.

In der Regel werden folgende Masse gemessen:

- Spurkranzdicke  $S_d$  [mm]
- Spurkranzhöhe  $S_h$  [mm]
- Flankensteilheit  $q_R$  [-]
- Radkranzbreite  $B_R$  [mm]
- Auswalzung  $a$  [mm]
- Hohllauf  $h$  [mm]
- Gesamtes Radprofil

Als Voraussetzung für eine gute Messung muss das Radprofil im Bereich des Spurkranzes und der Lauffläche sauber und frei von Verunreinigungen, z.B. Spurkranzschmierfett sein. Auch das Messgerät muss entsprechend sauber sein. Die Messstelle soll gut zugänglich sein, was insbesondere im eingebauten Zustand nicht immer gegeben ist.

Bei Radsätzen im Betrieb ist zum Messen eine weitgehend unbeschädigte Stelle ohne Grate, Ausbröckelungen und Aufschieferungen zu wählen. An Radsätzen mit stärkeren Schädigungen der Lauffläche oder des Spurkranzes können keine seriösen Messungen mehr durchgeführt werden.

### 14.2.1 Spurkranzdicke $S_d$

Die Spurkranzdicke  $S_d$  wird an einem definierten Messpunkt am Radprofil erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-33).

Die Spurkranzdicke kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Das Lehren der Spurkranzdicke soll wenn überhaupt nur noch bei der Profilbearbeitung als Endkontrolle angewendet werden.

### 14.2.2 Spurkranzhöhe $S_h$

Die Spurkranzhöhe  $S_h$  wird an einem definierten Messpunkt am Radprofil erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-33).

Die Spurkranzhöhe kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

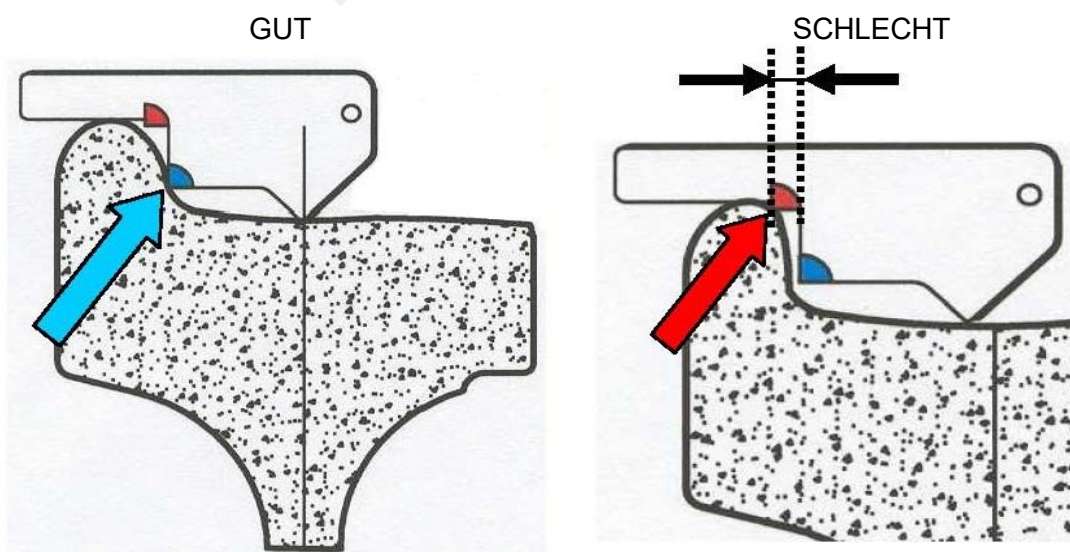
Das Lehren der Spurkranzhöhe soll wenn überhaupt nur noch bei der Profilbearbeitung als Endkontrolle angewendet werden.

### 14.2.3 Flankensteilheit $q_R$

Die Flankensteilheit  $q_R$  beschreibt die Steigung der Spurkranzflanke und wird durch Messen der Distanz zweier festgelegter Messpunkte ermittelt und ohne Einheit angegeben, aber in Millimetern gemessen (siehe Abbildung 6-33).

Das  $q_R$ -Mass kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Das Lehren der Flankensteilheit  $q_R$  ist ebenfalls gängig und wird zur schnellen Beurteilung des Verschleisszustandes eingesetzt. Damit ist im Zweifelsfall und ohne die Beurteilung mittels eines Messgerätes einfach feststellbar, ob das  $q_R$ -Mass innerhalb der vorgegebenen Grenzen ist oder das Betriebsgrenzmass verletzt wird. Die Lehre dient nur der Unterstützung bei der Entscheidung gut/schlecht, ist aber für eine endgültige Bestimmung oder Messung des  $q_R$ -Masses ungeeignet.



Wenn **blau** die Fläche berührt,  
ist das  $q_R$ -Mass in Ordnung.

Wenn **rot** die Fläche berührt,  
ist das  $q_R$ -Mass nicht in Ordnung.

Abbildung 14-2: Handhabung der  $q_R$ -Mass Messlehre



Bei der Handhabung ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Spurkranzhöhen und Hohllauf das Prüfergebnis negativ beeinflussen können. Im Zweifelsfall ist daher immer eine Messung mit geeigneten Messmittel auszuführen.

Die  $q_R$ -Lehre kann in verschiedenen Dimensionen gefertigt werden, um den Ansprechpunkt bei der  $q_R$ -Massprüfung zu beeinflussen. Eine exemplarische Zeichnung ist im Anhang A2.2 abgelegt.

#### 14.2.4 Radkranzbreite $B_R$

Die Radkranzbreite  $B_R$  wird als Abstand von Radkranzstirnfläche zu Radrückenfläche erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-33).

Die Radkranzbreite kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen (siehe Abschnitt 14.4) sowie mittels Lehren kontrolliert werden.



Abbildung 14-3: Kontrolllehre für die Radkranzbreite  $B_R$

Die Radkranzbreite ist an einer Stelle zu messen, die nicht durch Gratbildung (z.B. Auswalzungen) oder Materialabnützungen im Bereich des Radrückens geschädigt ist und somit das reale Mass stark verfälscht.

In der Regel wird die Radkranzbreite nur bei der Herstellung des Rades gemessen da sich dieses Mass im Betrieb nicht oder nur unwesentlich verändert.

#### 14.2.5 Auswalzung $a$

Die Auswalzung  $a$  wird als Massdifferenz zwischen Radkranzstirnfläche und maximaler Materialauswalzung nach aussen erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-48).

Die Auswalzung kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Da Auswalzungen über den Radumfang ungleichmässige Dicken aufweisen können ist der Messort mit Bedacht zu wählen. Als gültiger Messwert pro Rad gilt der Wert, der an der Stelle mit der grössten Auswalzung gemessen wurde. Im Zweifelsfall sind mehrere Messungen über den Umfang verteilt vorzunehmen.

#### 14.2.6 Hohllauf $h$

Der Hohllauf  $h$  wird als Massdifferenz zwischen dem niedrigsten und höchsten Punkt auf der Lauffläche erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-50).

Der Hohllauf kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Für eine Schnellbeurteilung des Hohllaufs kann eine Lehre verwendet werden (z.B. SBB-Messlehre Zeichnung SBB WOI 1187-10-001). Damit lässt sich anhand von Berührungspunkten oder Luftspalt feststellen, ob der Hohllauf innerhalb bestimmter Grenzen ist. Die Lehre dient nur der Unterstützung bei der Entscheidung gut/schlecht, ist aber für eine endgültige Bestimmung oder Messung des Hohllaufs ungeeignet.

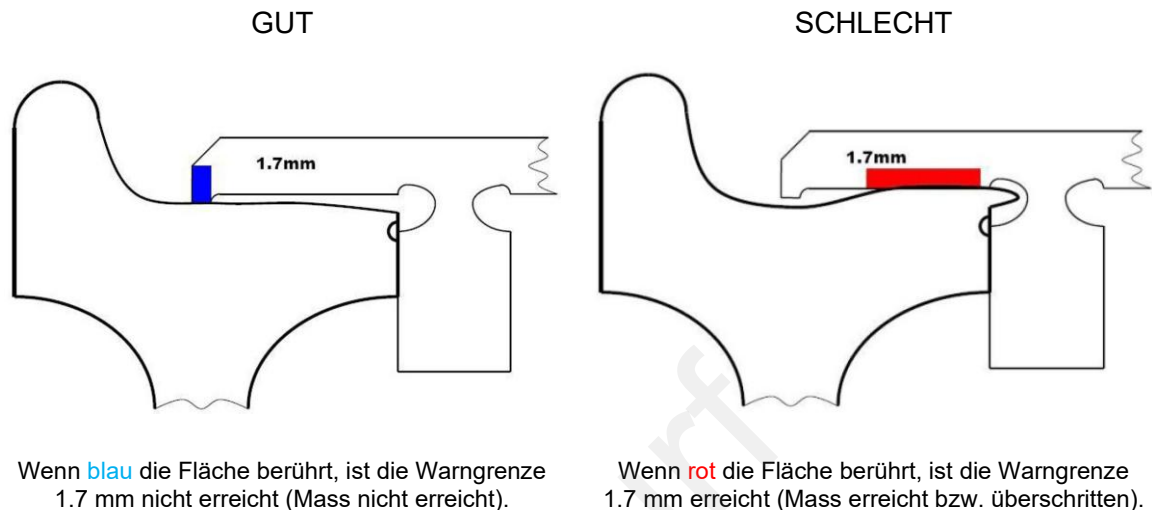


Abbildung 14-4: Handhabung der Hohllauflehre

Bei der Handhabung ist zu berücksichtigen, dass Formtoleranzen und Störungen an der Radkranzstirnfläche das Prüfergebn negativ beeinflussen können. Im Zweifelsfall ist daher immer eine Messung mit geeigneten Messmitteln auszuführen.

Die Hohllauflehre kann in verschiedenen Dimensionen gefertigt werden, um den Ansprechpunkt bei der Prüfung zu beeinflussen. Ist die Warngrenze überschritten, ist für eine weitere Beurteilung mit einer genaueren Messeinrichtung das Hohllaufmass zu ermitteln.

#### 14.2.7 Gesamtes Radprofil

Die Aufzeichnung des gesamten Radprofils als Polygonzug ist bei einigen Messmethoden die Basis zur Ermittlung der oben angeführten Werte. In der Regel gibt es keinen Grund, das Radprofil als Ganzes zu erfassen.

Davon ausgenommen ist neben Versuchen zu wissenschaftlichen Zwecken die Prüfung der Radprofile an neu profilierten Radsätzen zur Qualitätskontrolle.

Das Radprofil kann dazu mit verschiedenen Messmethoden erfasst werden.

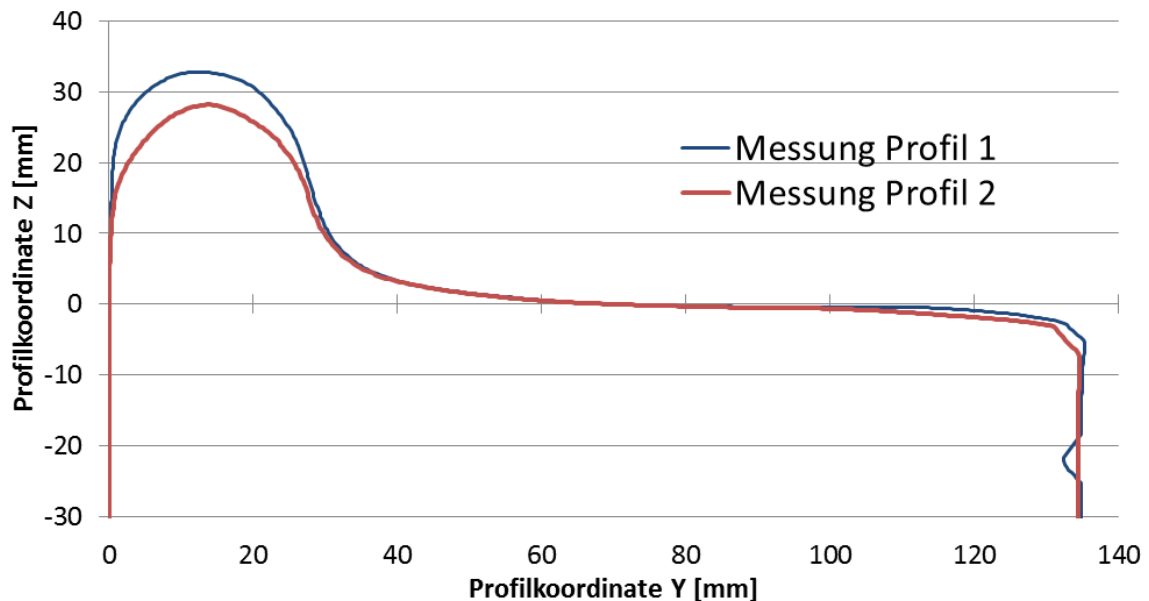


Abbildung 14-5: Messergebnis von Radprofilmessungen mittels optischer Abtastung

Für eine Schnellbeurteilung können Lehren in Form von Profilschablonen verwendet werden. Damit ist eine qualitative Aussage über die reale Profilkontur bezogen auf das Lehrenprofil möglich. Die Beurteilung erfolgt in der Regel mit der Lichtspaltmethode, bei Verdachtsfällen kann mit Fühlerlehren nachkontrolliert werden welche Dimension der Lichtspalt hat. Damit ist eine grobe Aussage möglich, wie stark das reale Profil vom Sollzustand abweicht. Eine genaue Aussage zur Profiltreue bei gegebener Formtoleranz ist damit aber nicht möglich. Zu beachten ist eine möglichst senkrechte Ausrichtung zum Radprofil, was auch durch die Bauart der Lehre und der Qualität der Radrückenfläche negativ beeinflusst werden kann.

Kontrollen an Radprofilen von Radsätzen, die im Betriebseinsatz sind, sind mit diesen Profillehren nicht möglich oder nur mit grossen Ungenauigkeiten verbunden (z.B. Lehren des Hohlbaus). Von diesem Vorgehen wird abgeraten.



Abbildung 14-6: Radsatz nach R0



Abbildung 14-7: Radsatz mit Verschleiss

## 14.3 Messwerterfassung am Radsatz

Neben der Messwerterfassung am Radprofil haben auch verschiedene Masse am Radsatz eine für den Betrieb grosse Bedeutung. Die Erfassung erfolgt jedoch in grösseren Intervallen. Dabei werden in der Regel folgende Werte gemessen:

- Radrückenabstand  $A_R$  [mm]
- Spurmass  $S_R$  [mm]
- Raddurchmesser  $D$  [mm]
- Radreifendicke  $b$  [mm] (bei Rädern mit Radreifen)
- Hohllauf bei Bremsscheiben [mm]
- Rundlauf  $H$  [mm]
- Planlauf  $G$  [mm]
- Unwucht  $U$  [gm]
- Elektrischer Widerstand  $R$  [Ohm]
- Masse  $m$  [kg]

Als Voraussetzung für eine gute Messung muss die Umgebung im Bereich der Messpunkte sauber und frei von Verunreinigungen sein. Die Messstelle soll gut zugänglich sein, was insbesondere im eingebauten Zustand nicht immer gegeben ist.

Bei Radsätzen im Betrieb ist zum Messen von Stichmassen eine weitgehend unbeschädigte Stelle ohne Grate, Ausbröckelungen und Aufschieferungen zu wählen. An Radsätzen mit stärkeren Schädigungen der Lauffläche oder des Spurkranzes können unter Umständen bei bestimmten Massen keine seriösen Messungen mehr durchgeführt werden.

### 14.3.1 Radrückenabstand $A_R$

Das  $A_R$ -Mass wird als Abstand zwischen den beiden Radrückenflächen eines Radsatzes erfasst und in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-32).

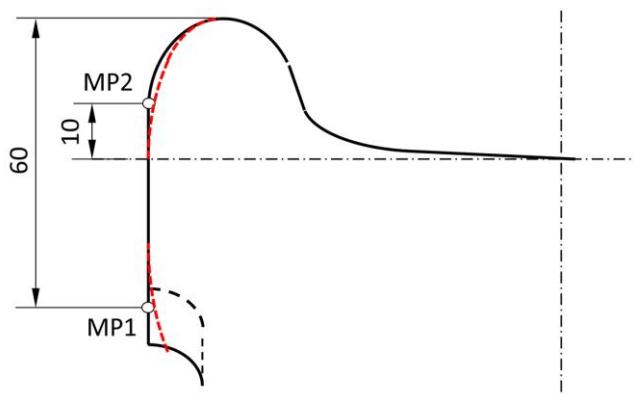
Das  $A_R$ -Mass kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Das Prüfen des  $A_R$ -Masses mittels Lehren ist nicht vorgesehen.

Zur Messung des  $A_R$ -Masses werden je nach angewendeter Vorgabe zwei verschiedene Messpunkte definiert:

- MP1: 60 mm unterhalb der Oberkante des Spurkranzes (SN EN 13260)
- MP2: 10 mm ausserhalb des Laufkreises (SN EN 15313, AB-EBV)

Beide Messpunkte sind problembehaftet: MP1 liegt bei einigen Radsatzbauarten im Stegbereich und ist damit faktisch nicht anwendbar oder ist vorhanden aber mit stark korrodierter Oberfläche, MP2 liegt in einer durch Verschleiss beeinflussten Zone. Das Messergebnis an diesen Stellen ist deshalb bei Radsätzen im Betrieb nur mässig genau.

Abbildung 14-8: Messpunkte am Rad zur  $A_R$ -Bestimmung

Diesen Einschränkungen muss man sich beim Messen des  $A_R$ -Masses bewusst sein, insbesondere dann, wenn vergleichende Messungen an einem Radsatz über längere Zeit durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist, wenn immer möglich bei allen Messungen der gleiche Messpunkt zu verwenden und dies zu dokumentieren.

Besser wäre hier die Definition eines neuen Antastbereiches im verschleissarmen Teil des Radrückens.

### 14.3.2 Spurmass $S_R$

Das Spurmass  $S_R$  wird als Abstand zweier definierter Messpunkte im Profilbereich des Rades gemessen und in Millimetern angegeben (siehe Abbildung 6-33).

Das Spurmass  $S_R$  kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Die Beurteilung des Spurmasses  $S_R$  mittels einer Lehre ist nicht vorgesehen.

Auf Grund der relativ schwierig zu messenden Abstände der Messpunkte auf dem Radprofil wird von einer direkten Messung des  $S_R$ -Masses abgeraten. Das Spurmass  $S_R$  kann wesentlich einfacher durch Summation des  $A_R$ -Masses und der Spurkranzdicken errechnet werden.

$$S_R = A_R + S_{d_{\text{links}}} + S_{d_{\text{rechts}}}$$

Formel 14-3: (Wiederholung): Berechnung des Spurmasses  $S_R$

Hierbei ist zu beachten:

Es werden die Messfehler von drei Massen aufsummiert. Dementsprechend ungenau ist das Ergebnis und muss in diesem Sinne auch mit einer gewissen Vorsicht betrachtet werden.

### 14.3.3 Raddurchmesser $D$

Der Raddurchmesser  $D$  wird in der Messkreisebene gemessen und in Millimeter angegeben. (siehe Abbildung 6-33).

Der Raddurchmesser  $D$  kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Die Erfassung des Raddurchmessers mit ausreichender Genauigkeit stellt immer wieder ein Problem dar. Dies zum einen wegen der verwendeten Messmethoden und zum anderen wegen Verschleisserscheinungen auf der Lauffläche in der Messkreisebene.



Allen Messmethoden ist gemeinsam, dass sie durch Schädigungen der Lauffläche wie z.B. Ausbröckelungen negativ beeinflusst werden.

Folgende Methoden finden bei der Ermittlung des Raddurchmessers  $D$  Anwendung:

- Messung durch Abrollweg
- Messung des Durchmessers direkt
- Messung durch Umschlingung
- Sehnenmessung

Alle diese Methoden haben Vor- und Nachteile in Bezug auf Anwendbarkeit und erzielter Messgenauigkeit.

#### 14.3.3.1 Messung durch Abrollen

Bei der Messung des Raddurchmessers durch Abrollen wird der Abrollweg  $U$  des Radsatzes bei einer definierten Anzahl Umdrehungen  $n$  erfasst. Diese Methode wird in der Regel auf UFD-Maschinen eingesetzt wobei dort der Abrollweg über digitale Inkremental-Drehgeber und die Anzahl der Umdrehungen durch eine Marke erfasst wird. Die Messung erfolgt in der Messkreisebene. Diese Messmethode gilt als die zuverlässigste und genaueste Art der Durchmessererfassung.

Auch das Abrollen eines Radsatzes im Gleis ist möglich, wobei hier der Durchmesser nicht sicher in der Messkreisebene erfasst wird. Ebenso ist die genaue Bestimmung der Anzahl Umdrehungen schwierig. Je grösser dabei die Anzahl der Umdrehungen ist desto genauer wird das Messergebnis.

$$D = \frac{U}{n \cdot \pi}$$

Formel 14-4: Berechnung des Raddurchmessers  $D$  aus dem Abrollweg

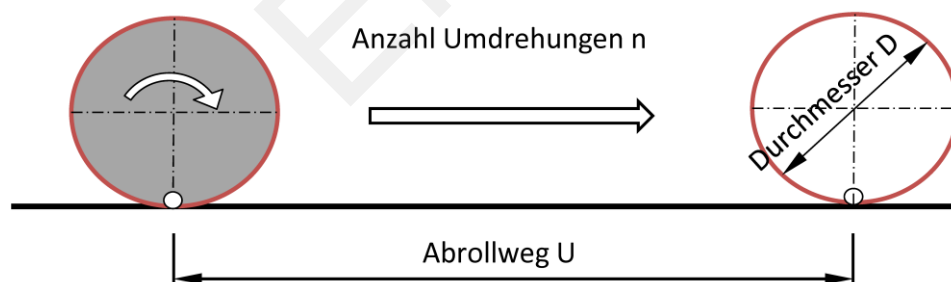


Abbildung 14-9: Ermittlung des Durchmessers durch Abrollen

Wann immer möglich und bei der Forderung nach genauen Durchmesserwerten ist die Messung mittels Abrollens vorzunehmen. Dabei werden Genauigkeiten im Zehntelmillimeter-Bereich erzielt.

#### 14.3.3.2 Direkte Messung

Die direkte Messung des Raddurchmessers kann bei entsprechend guter Zugänglichkeit direkt mit einem Messgerät ähnlich einem Messschieber erfasst werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass die Messpunkte in der Messkreisebene liegen und das Messgerät nicht verkantet.

Dieses Messverfahren findet vorzugsweise an ausgebauten Radsätzen Verwendung und kann Genauigkeiten bis ca. 0.5 mm erreichen.

Bei eingebauten Radsätzen ist die Anwendung dieser Methode nur bei wenigen Fahrzeugen möglich, da die notwendigen Freiräume oft mit Bremseinrichtungen oder Einrichtungen zur Radsatzführung verbaut sind.

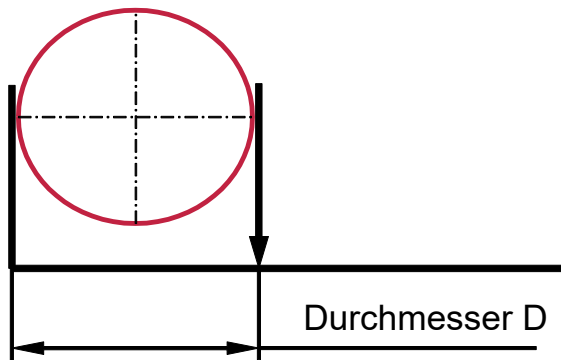


Abbildung 14-10: Direkte Messung des Raddurchmessers

#### 14.3.3.3 Messung durch Umschlingung

Ähnlich der Messung durch Abrollen kann der Durchmesser auch durch Umschlingen mit einem Massband festgestellt werden. Der Hintergrund ist gleich wie beim Abrollen: es wird der Umfang erfasst und auf den Durchmesser umgerechnet. Die Messgenauigkeit ist ähnlich gut wie beim Abrollen, sofern das Massband über den gesamten Radumfang in der Messkreisebene angelegt werden kann. Dies ist bei im Fahrzeug eingebauten Radsätzen selten möglich.

Aus diesem Grund sollte die Messung mittels Umschlingung nur zu Kontrollzwecken angewendet werden. Bei ausgebauten Radsätzen mag sie recht genau sein aber bei eingebauten Radsätzen ist der Fehler durch eine falsche Position auf dem Radprofil nicht zu vernachlässigen.

#### 14.3.3.4 Sehnenmessung

Häufig und mit verschiedenen Messmethoden (tastend und optisch) wird die Sehnenmessung zur Ermittlung des Raddurchmessers angewendet. Dabei wird mangels Zugänglichkeit beim eingebauten Radsatz nur ein Teil davon gemessen und mit diesen Ergebnissen der Raddurchmesser berechnet. Die notwendige Umrechnung ist meist in den Messgeräten bereits abgebildet und es kann der gemessene Durchmesserwert abgelesen werden. Die Sehnenmessung birgt aber einige Tücken, deren man sich bewusst sein muss.

$$D = \frac{h^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2}{h}$$

Formel 14-5: Berechnung des Raddurchmessers D aus der Sehne

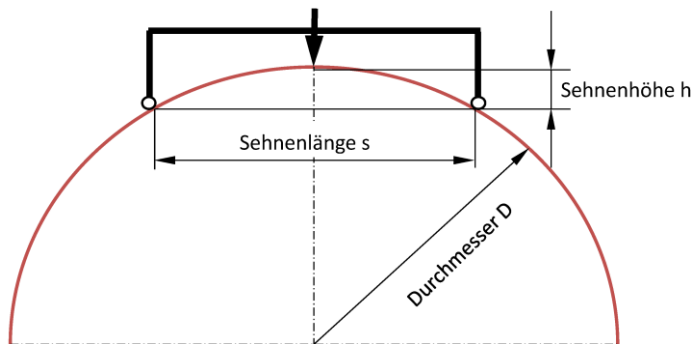


Abbildung 14-11: Sehnennmessmethode zur Ermittlung des Raddurchmessers

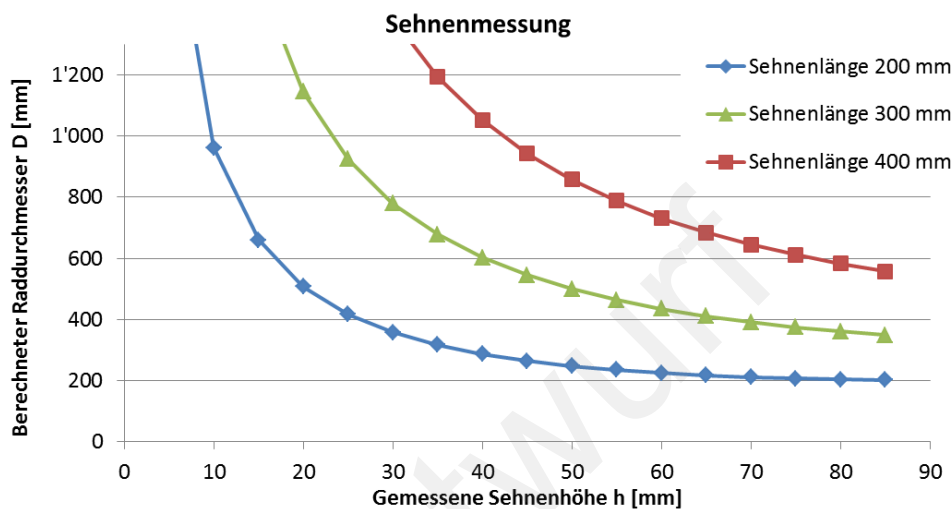


Abbildung 14-12: Grafik der Funktion der Sehnennmessmethode

Das grundsätzliche Problem dieser Messmethode ist, dass die Fehlertoleranz nicht linear ist, sondern bei der Messung kleiner Werte der Sehnenhöhe  $h$  stark ansteigt. Aus diesem Grund sind für verschiedene Raddurchmesserbereiche darauf abgestimmte Messgeräte zu verwenden. Diese variieren in der Abmessung, um über die Sehnenlänge in einen Messbereich mit akzeptabler Fehlertoleranz zu kommen.

Folgende Punkte müssen bei der Messung zwingend beachtet werden:

- Es ist stets das zum zu messenden Durchmesserbereich passende Messgerät zu verwenden.
- Das Messgerät muss plan und winklig angesetzt werden. Ein Verkippen führt zu massiven Verfälschungen des Messergebnisses.
- Die Mess- und Auflagepunkte müssen sauber sein.
- Die Mess- und Auflagepunkte müssen frei von Materialschäden wie z.B. Ausbröckelungen oder Überwalzungen sein. An Rädern mit starken Ausbröckelungen ist das Messen nicht seriös möglich.

Zur Verdeutlichung der Messungenauigkeit ein Beispiel: mit einem Messgerät mit Sehnenlänge 300 mm wird ein Rad mit realem Durchmesser 650 mm gemessen. Der Messfehler der Sehnenhöhe beträgt wegen Verkippen und schlechter Oberfläche  $\pm 0.5$  mm. Der Durchmesser wird damit mit einer Messungenauigkeit von  $\pm 8$  mm erfasst.

Die Sehnennmessgeräte haben eine Berechtigung zum Erfassen des Raddurchmessers, sofern die messende Person im Umgang mit dem Gerät geübt und sich des grossen

Einflusses von Messfehlern bewusst ist. Das gemessene Ergebnis ist stets kritisch zu hinterfragen.

Für die genaue Bestimmung von Raddurchmessern ist diese Methode nur bedingt geeignet. Trotzdem wird diese Messmethode unter Berücksichtigung diverser Randbedingungen (Mehrfachmessung durch verschiedene Personen mit Mittelwertbildung) auch für die Raddurchmesser-Eingabe bei Zugsicherungssystemen verwendet.

#### 14.3.4 Radreifendicke $b$ bei Rädern mit Radreifen

Die Radreifendicke  $b$  wird in der Messkreisebene (oder bei Ultraschallmessung 10 mm ausserhalb der Messkreisebene) gemessen und in Millimetern angegeben (siehe Abbildung 14-11).

Die Radreifendicke  $b$  kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.3.4).

Aufgrund der vielen möglichen negativen Einflüsse beim Messen der Radreifendicke mit rein mechanischen Distanzmessgeräten wird von dieser Methode abgeraten.

So ist die mögliche Bezugsfläche an der Radkranzstirnseite recht grob toleriert und die mögliche Bezugsfläche am Radrücken durch das Einwalzen des Sprenglings undefiniert verformt. Die Qualität der Lauffläche bezüglich Ausbröckelungen hat ebenfalls einen Einfluss.

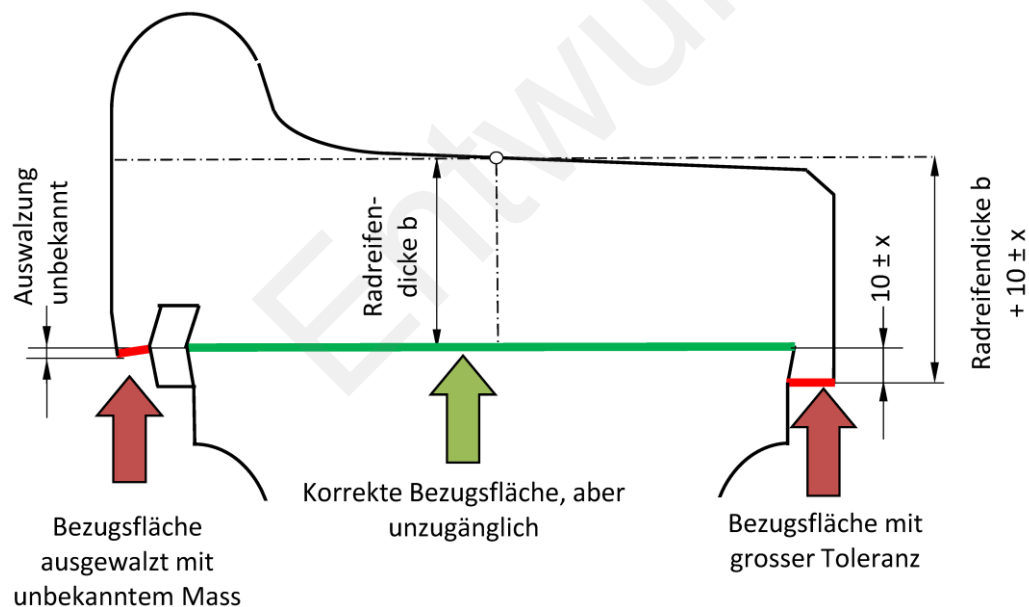


Abbildung 14-13: Bezugsflächen zur Messung der Radreifendicke  $b$

Aus der Problematik der korrekten Bezugsflächen heraus ergibt sich, dass mit mechanischen Messmitteln gleich von welcher Seite gemessen stets eine recht grosse Ungenauigkeit im Messergebnis enthalten ist. Diese Methoden sind nur für grobe Abschätzungen geeignet aber nicht für Messungen genauer  $\pm 1.0$  mm zu verwenden.

Es ist daher naheliegend, die korrekte Bezugsfläche zu verwenden und die Distanz dieser Bezugsfläche zur Lauffläche direkt zu messen. Dies ist z.B. mit einer Dickenmessung mit Ultraschall gut möglich.

Dabei ist zu beachten, dass vor und nach der Messung das Ultraschallmessgerät an einem Kalibrierstück geprüft wird. Dieses Kalibrierstück sollte aus demselben Material wie die zu messenden Radreifen bestehen. Ebenso sind mehrere Messungen pro Radreifen vorzunehmen, um fehlerhafte Messergebnisse durch eine schlechte Oberfläche

und schlechte Bedingungen im Spalt zwischen Radreifen und Radkörper ausschliessen zu können.

#### 14.3.5 Hohllauf und Restdicke bei Bremsscheiben

Der Hohllauf von Bremsscheiben wird als Differenz vom höchsten zum tiefsten Punkt der Reibfläche der Bremsscheibe gemessen und in Millimetern angegeben (siehe Abbildung 14-14).

Der Hohllauf ist die Basis zur Bestimmung der Restdicke pro Reibfläche einer Bremsscheibe. Die Restdicke wird aus dem Verschleissvorrat und dem gemessenen Hohllauf berechnet.

Die Restdicke der Bremsscheiben wird als kleinste gemessene Distanz zwischen den Reibflächen gemessen und in Millimetern angegeben (siehe Abbildung 14-14).

Der Hohllauf und die Restdicke der Bremsscheibe kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

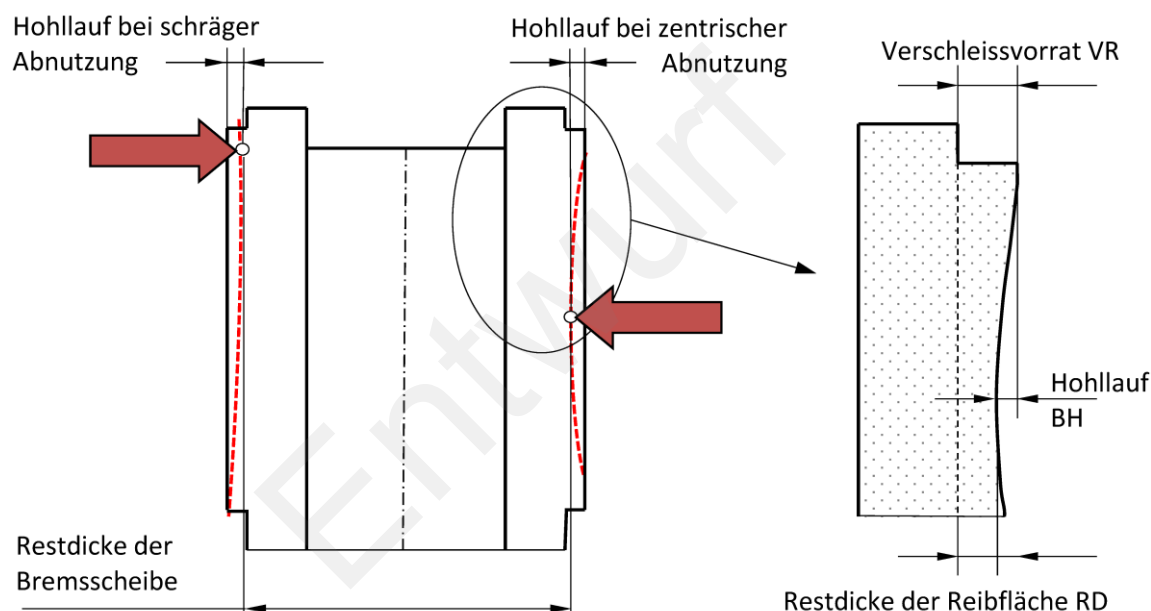


Abbildung 14-14: Hohllaufmessung an Bremsscheiben

Bei der Messung des Hohllaufs ist der Zustand der Auflagefläche zu beachten und dem Umstand Rechnung zu tragen, dass der grösste Hohllauf nicht an einer definierten Stelle sondern an der Stelle gemessen wird, die den grössten Wert ergibt. Gleiches gilt für das Messen der Restdicke. Dabei ist der geringste gemessene Wert gültig.

Zur Beurteilung des Verschleisses ist in der Regel der Hohllauf und die Restdicke der Reibfläche massgebend, die Restdicke der Bremsscheibe spielt eine untergeordnete Rolle.

#### 14.3.6 Rundlauf H

Der Rundlauf H eines Radsatzes wird pro Radscheibe in der Messkreisebene auf der Lauffläche gemessen und als Maximalwert in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-32).

Der Rundlauf H kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

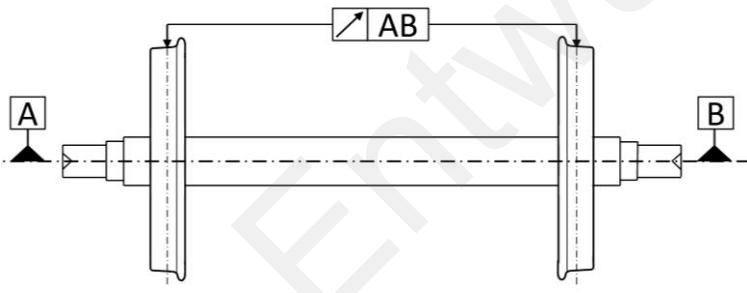
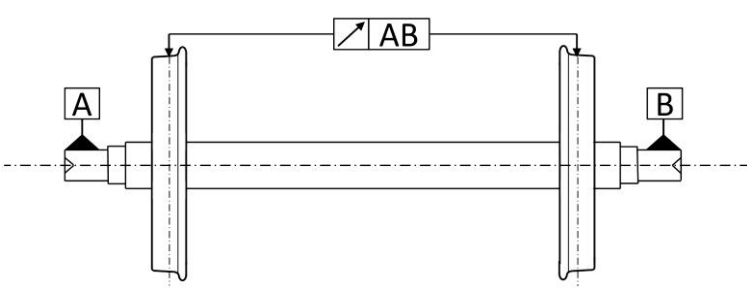
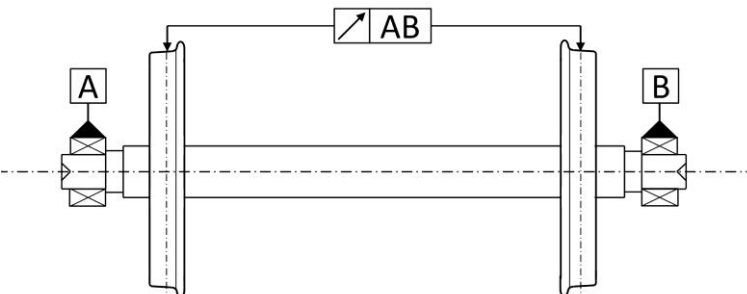
Der Rundlauf H beschreibt die maximale Abweichung der realen Kreisform des Radprofils in der Messkreisebene von einem idealen Kreis, der konzentrisch zum Bezug liegt.

Als Bezug kommen mehrere Möglichkeiten in Frage:

- die Mittellinie der Radsatzwelle, gebildet durch die Zentrierbohrungen an den Wellenenden, wird vorzugsweise bei Radsätzen im ausgebauten Zustand angewendet
- die Radsatzlagersitze
- die theoretische Rotations-Mittellinie des Radsatzes, gebildet durch die Rotations-Mittellinie der Radsatzlagerung, wird vorzugsweise bei Radsätzen im eingebauten Zustand angewendet
- die Spurkranzkuppe in Bezug zur Lauffläche am Radaufstandspunkt, diese Methode wird bei stationären Überroll-Messanlagen verwendet

Bei der Herstellung oder der Bearbeitung von Radsätzen im ausgebauten Zustand wird vorzugsweise die Mittellinie der Radsatzwelle verwendet, bei Messungen im eingebauten Zustand die Rotations-Mittellinie. Da das Messergebnis je nach verwendeter Methode recht unterschiedlich sein kann ist zu definieren, welcher Messbezug verwendet werden soll.

Am anspruchsvollsten, aber für den Betrieb am besten ist die Messung des Rundlaufs mit der theoretischen Rotations-Mittellinie mit den Radsatzlagern als Basis. Damit wird der Radsatz so gemessen, wie er in den Einsatz geht. Ein Radsatz, der mit dieser Messmethode die Unrundheitskriterien erfüllt ist gut.

|                                                                                      |                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>Bezugslinie ist die Mittellinie der Radsatzwelle, definiert über die Zentrierbohrungen der Radsatzwelle.</p>           |
|  | <p>Bezugslinie ist die Mittellinie der Radlagersitze, definiert über die Aussenkontur der Radlagersitze.</p>              |
|  | <p>Bezugslinie ist die Rotationsmittellinie der Radsatzlager, definiert über den Aussendurchmesser des Radsatzlagers.</p> |



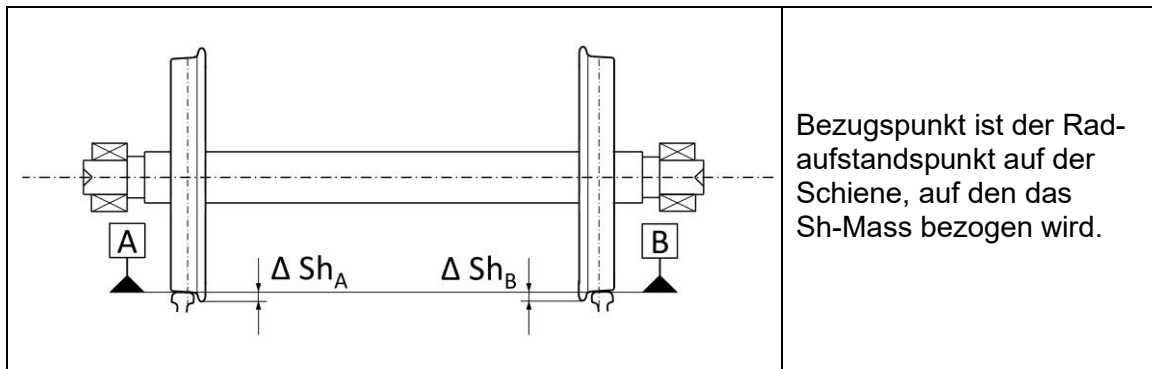


Abbildung 14-15: Messbasis bei Rundlaufmessungen

Je nach Anzahl der Messpunkte pro Radumfang bei der Rundlaufmessung kann folgendes gemessen werden:

- 8 Messpunkte: Exzentrizität, eventuell singuläre Abplattung
- 100 Messpunkte: Polygone niedriger Ordnung
- 300 Messpunkte: Polygone hoher Ordnung

Weniger als 8 Messpunkte zur Bestimmung der Unrundheit sind nicht sinnvoll. Ebenso wird man mit mehr als 500 Messpunkten keine besseren Messergebnisse bezüglich Unrundheit und Polygonform erhalten.

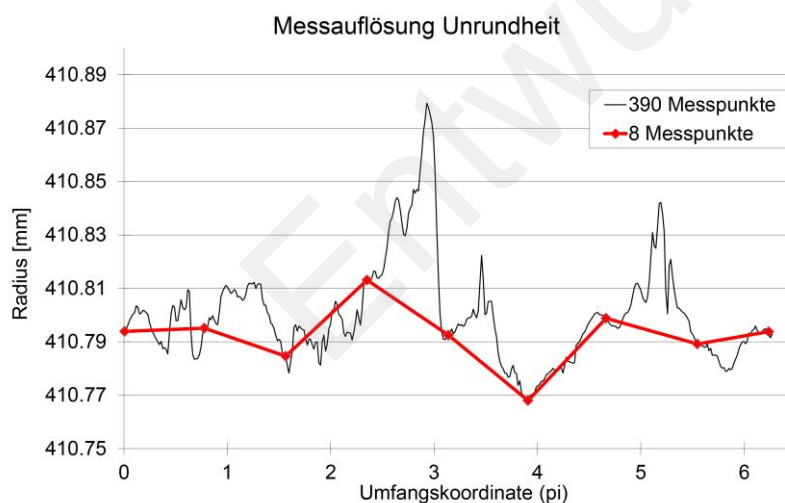


Abbildung 14-16: Einfluss der Anzahl Messpunkte auf das Ergebnis der Rundlaufmessung

Das korrekte Messen des Rundlaufs auf durch Ausbröckelungen geschädigten Lauffläche darf als schwierig bezeichnet werden. Solche Ergebnisse sind mit Vorsicht zu genießen.

### 14.3.7 Planlauf G

Der Planlauf G eines Rades wird pro Radscheibe am Radrücken im gleichen Bereich wie das  $A_R$ -Mass gemessen und als Maximalwert in Millimeter angegeben (siehe Abbildung 6-32).

Der Planlauf G kann mit verschiedenen Messmitteln gemessen werden (siehe Abschnitt 14.4).

Der Planlauf ist ein Wert, der sich im Betrieb nur unwesentlich und wenn überhaupt durch besondere Ereignisse wie z.B. Entgleisungen ändert. Es ist deshalb ausreichend, den Planlauf anlässlich von Radsatzbearbeitungen zu messen.

Bei der Messung des Planlaufs sind die gleichen Ausführungen zur Messbasis wie beim Rundlauf zu beachten (Abbildung 14-15). Entgegen den Rundlaufmessungen sind aber bei der Planlaufmessung 4 bis 8 Messpunkte gleichmässig über den Umfang des Rades verteilt absolut ausreichend zur hinreichend genauen Erfassung des Planlaufs, da sich die Radscheibe in der Regel nicht verformt.

In besonderen Fällen, namentlich nach Entgleisungen, ist die Überprüfung des Planlaufs mit 3 um  $120^\circ$  versetzten Messpunkten angezeigt. Dabei wird über das  $A_R$ -Mass die Abweichung der Radrücken zueinander gemessen. Dies ist auf Grund der falschen Messbasis nicht als gültige Planlaufmessung einzustufen.

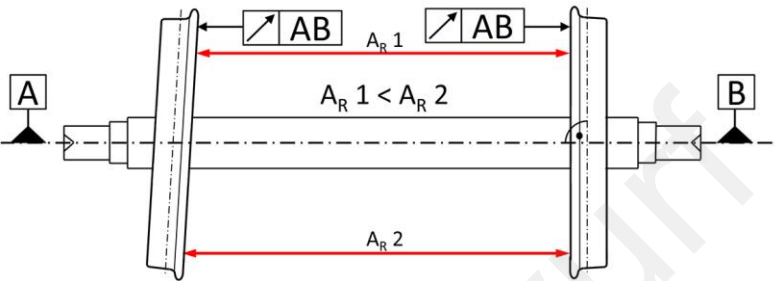
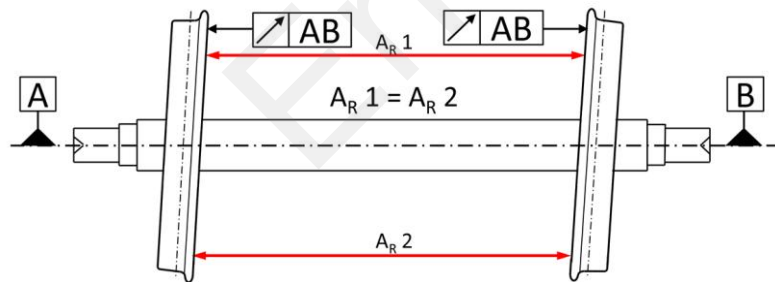
|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>Abweichung vom Planlauf über <math>A_R</math>-Messung möglich, sofern eine Radscheibe winklig zur Mittellinie Radsatzwelle ist.</p>                                                                                                                                              |
|  | <p>Abweichung vom Planlauf über <math>A_R</math>-Messung nicht möglich, da beide Radscheiben unbestimmt zur Mittellinie der Radsatzwelle stehen.</p> <p>Sonderfall: beide Radscheiben stehen gleich schräg, es gibt keine nennenswerten Differenzen beim <math>A_R</math>-Mass.</p> |

Abbildung 14-17: Messung von Planlauf über  $A_R$ -Mass

### 14.3.8 Unwucht U

Die Unwucht U eines Radsatzes wird am fertig montierten Radsatz gemessen und in gm (Gramm-Meter) angegeben. Einzelne Bauteile wie z.B. Vollräder und Wellenbremsscheiben werden bereits als Einzelteile ausgewuchtet. Das Messen der Unwucht erfordert den Einsatz spezieller Messvorrichtungen.

Wenn bei einem Rotationskörper (z.B. einer Radscheibe) der Schwerpunkt S mit der Masse m im Abstand e von der Drehachse ist, dann entsteht bei einer Drehbewegung  $\omega$  eine radial nach aussen gerichtete Fliehkraft F, die von der Lagerung aufgenommen werden muss.

$$F = m \cdot e \cdot \omega^2$$

Formel 14-6: Berechnung der Fliehkraft

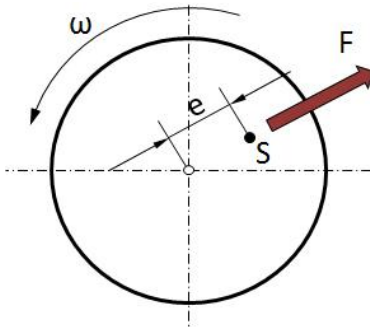


Abbildung 14-18: Unwucht

Die Unwucht  $U$  kann als Vektor definiert werden, der in der Richtung von  $F$  liegt und den Betrag  $m \cdot e$  hat. Somit gilt folgender Zusammenhang:

$$F = U \cdot \omega^2 \quad \text{wobei} \quad U = m \cdot e \text{ [gm]}$$

Formel 14-7: Berechnung der Unwucht

Zum Ausgleich der Unwucht  $U$  kann auf der gegenüberliegenden Seite eine Masse  $\Delta m$  hinzugefügt oder auf der gleichen Seite entfernt werden. Das Produkt der Masse  $\Delta m$  und dem Abstand von der Drehachse muss dabei gleich der Unwucht  $U$  sein.

Beim Auswuchten wird zwischen statischem und dynamischem Auswuchten unterschieden bzw. auswuchten in ein oder zwei Ebenen. Streng genommen können nur scheibenförmige Körper statisch ausgewuchtet werden. Nur dort ist die exakte axiale Lage der Unwuchtmasse bekannt.

Auch beim Auswuchten von Radsätzen kann zwischen statischem und dynamischem Auswuchten unterschieden werden. Beim statischen Fall zeigen die Vektoren  $U$  in die gleiche radiale Richtung und haben den gleichen Betrag. Bei der Rotation entstehen keine Momente um den Schwerpunkt des Radsatzes. Er läuft zwar unwuchtig, taumelt aber nicht.

Beim dynamischen Fall zeigen die Vektoren  $U$  in beliebige radiale Richtungen und haben unterschiedliche Beträge. Bei der Rotation entstehen auch Momente um den Schwerpunkt des Radsatzes, er läuft unwuchtig und taumelt. Der statische Fall ist damit ein Sonderfall der dynamischen Unwucht.

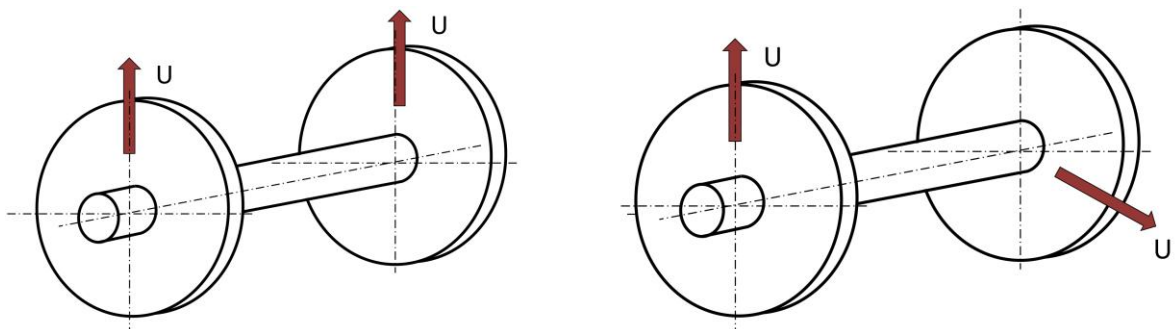


Abbildung 14-19: statische und dynamische Unwucht

Das Auswuchten von Radsätzen kann statisch und dynamisch vorgenommen werden. Dabei ist aber zu beachten, dass bei einer statischen Wuchtung der dynamische Effekt nicht kompensiert wird und im Einsatz zu einer höheren Unwucht führt. Dies führt zu niedrigeren zugelassenen statischen Unwuchtwerten. Radsätze für höhere Geschwindigkeiten sind daher immer dynamisch zu wuchten. Ein nicht dynamisch ausgewuchteter Radsatz erzeugt unerwünschte Schwingungen, welche negative Auswirkungen auf Radsatzlager und Fahrkomfort haben.

Die Unwucht wird nicht direkt gemessen, sondern deren Auswirkung auf die Lagerung durch die periodisch pro Umdrehung auftretenden Fliehkräfte  $F$ . Da die Kraftmessung zwischen Lagerung und Rotor nur mit entsprechendem Aufwand durch den Einbau von Kraftsensoren möglich ist bleibt diese Messmethode speziellen stationären Messmaschinen vorenthalten.

Moderne Auswuchtmaschinen arbeiten heute wesentlich genauer als es die Vorgaben für Radsätze verlangen. Bei den Messungen ist lediglich zu beachten, dass der Radsatz vollständig zusammengebaut ist und das Auswuchten gemäss den zugelassenen Methoden durch Materialabtrag oder Anbringen von Material an der richtigen Stelle erfolgt. Messtechnisch sind keine Probleme zu erwarten.

#### 14.3.9 Elektrischer Widerstand R

Der elektrische Widerstand  $R$  eines Radsatzes wird zwischen den zwei Laufflächen der Räder gemessen und in Ohm ( $\Omega$ ) angegeben. Die Messung muss mit einer Genauigkeit bis 0.01 Ohm möglich sein.

Gemessen wird der elektrische Widerstand mit einer Spannung von 1.8 bis 2.0 Volt. Die Kontaktfläche am Radsatz sollte ca. 350 mm<sup>2</sup> betragen. Diese Fläche repräsentiert etwa die Grösse der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene. Damit wird der Radsatz mit den realen Umgebungsbedingungen geprüft.

Der gemessene Widerstand errechnet sich nach:

$$R = \frac{U}{I}$$

Formel 14-8: Ohm'sches Gesetz

Wobei die Spannung  $U$  vorgegeben und der Messstrom  $I$  gemessen wird. Der Messstrom kann dabei entsprechend gross werden.

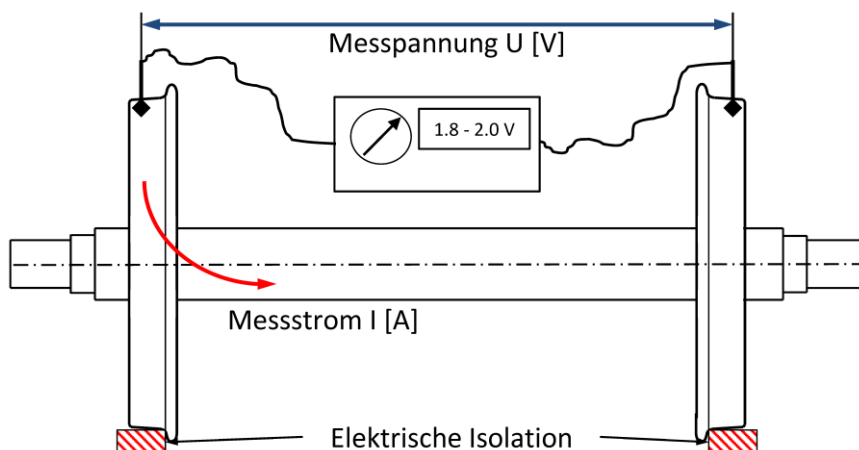


Abbildung 14-20: Messen des elektrischen Widerstands eines Radsatzes

Das Messen des Widerstands erfolgt elektronisch und mit hinreichender Messgenauigkeit. Zu beachten ist bei der Messung, dass die Kontaktflächen zwischen Radsatz und Messanschluss sauber sowie rost- und fettfrei sind und der Radsatz isoliert aufgestellt wird.

Werden diese Regeln beachtet sind bei der Messung keine Probleme zu erwarten.

#### **14.3.10 Gewicht m**

Das Gewicht  $m$  eines fertig montierten Radsatzes spielt in der Instandhaltung nur eine sehr untergeordnete Rolle. Sollte Bedarf an einer Messung bestehen muss der Anforderer der Messung die Messgenauigkeit spezifizieren, womit dann auch die Messmittel bestimmt werden können.

Das Gewicht eines Radsatzes kann nur in ausgebautem Zustand korrekt festgestellt werden.

### **14.4 Messgeräte und Einrichtungen für Messungen am Radsatz**

---

In diesem Kapitel werden allgemein und nicht abschliessend die gängigen Messgeräte zur Erfassung bestimmter Messgrössen am Radsatz vorgestellt. Die der Messung zugrunde liegenden Methoden und die dabei entstehenden Messungenauigkeiten sind in den vorhergehenden Kapiteln erläutert.

Es ist dem messenden Unternehmen weitgehend freigestellt, mit welcher Messmethode gemessen wird, solange die geforderte Messgenauigkeit eingehalten wird. Die verwendeten Messmittel sind dabei zwingend einer systematisch geführten Messmittelüberwachung zu unterwerfen.

Es ist zu beachten, dass die angebotenen Systeme unterschiedliche Voraussetzungen an den Platzbedarf und den zeitlichen Messaufwand stellen sowie unterschiedlich fehler-tolerant bei nicht korrekter Anwendung sind.

Die Abkürzungen der Messgrössen und die zeichnerische Darstellung der Messorte sind in Kapitel 3 und Abschnitt 6.3.2 beschrieben.

#### **14.4.1 Kombinierte elektronische Messung**

Die Auswahl der vorgestellten Messmittel in diesem Kapitel beschränkt sich auf die im regulären Einsatz in den Werkstätten stehenden Geräte und Anlagen. Auf grosse, kombinierte elektronische Einrichtungen, die in der Regel stationär installiert sind und diverse Masse beim Überrollen erfassen wird nicht weiter eingegangen. Diese Anlagen stellen einen Sonderfall dar, sind je nach Anforderung des Kunden nahezu beliebig ausbaubar und erfordern sehr grosse Investitionssummen.

##### **14.4.1.1 Messeinrichtungen stationär**

Stationäre Messeinrichtungen sind je nach Hersteller nahezu beliebig ausbaubar und können diverse Grössen, die auch nicht direkt den Radsatz betreffen, beim Überrollen erfassen. Die Investitionssummen sind hoch und jeder Anwender, der eine solche Anlage beschaffen möchte, ist angehalten, dies in einem separaten Projekt zu machen. An dieser Stelle können dazu keine detaillierten Hinweise gegeben werden. Das Durchlauf-Mess-Verfahren ist vor allem zeitlich effizient (Überfahrgeschwindigkeit ca. 10 – 15 km/h). Die Beurteilung der Laufflächenqualität ist aber trotzdem durch einen Facharbeiter vorzunehmen (Abschnitt 6.6.2.8).





Abbildung 14-21: Überfahr-Messeinrichtung für Messungen am Radprofil

#### 14.4.1.2 Unterflurdrehbank (UFD)

Bei der Radsatzbearbeitung auf UFD-Maschinen wird in der Regel eine Vielzahl von Messgrößen automatisch erfasst. Bei Messungen am reprofilierten Radsatz ist die Messgenauigkeit aufgrund der sauberen Flächen gut. Zu beachten sind aber die Einspannbedingungen des Radsatzes, was z.B. Abweichungen beim  $A_R$ -Mass bedeuten kann.

Hervorzuheben ist die gute und genaue Messung des Laufkreisdurchmessers mittels Abrollverfahren (siehe Abschnitt 14.3.3). Die Definition des Messbeginns resp. des Messendes erfolgt in der Regel optisch durch eine temporär platzierte Markierung (siehe Bildmitte weisser Punkt).



Abbildung 14-22: Markierung am Rad bei Durchmessermessung auf UFD

#### 14.4.1.3 Handmessgeräte

Als Handmessgeräte zur Messwerterfassung am Radprofil kommen verschiedene Methoden und Geräte zum Einsatz. Eine nicht abschliessende Auswahl der Geräte wird kurz vorgestellt.

##### **Optisches Lasermessgerät** (z.B. Calipri der Firma nextSENSE)

Der Handlaser (Sensor) kann von der Grube unter dem Fahrzeug aus gut angewendet werden und hat eine akustische Führung. Eine erfolgreiche oder fehlerhafte Messung wird akustisch signalisiert. Nach der Messung erscheint das gemessene Radprofil auf dem Bildschirm der Messeinrichtung (Datenschnittstelle). Der Analogie der Ampelfunktion entsprechend erscheint eine Auswertung der Messwerte in grüner, oranger oder



roter Farbe. Die Grenzwerte können verschleissorientiert im Gerät hinterlegt werden. Die Messgenauigkeit für die Masse des Radprofils liegt bei ca. 0.2 mm.



Abbildung 14-23: Handlaser (Sensor)



Abbildung 14-24: Datenschnittstelle zu Handlaser

Die Beurteilung der Lauffläche erfolgt durch das Fachpersonal (Abschnitt 6.6.2.8).

Bei der Messung ist auf ein sauberes Radprofil zu achten sowie die unterschiedlichen Lichteinflüsse zu berücksichtigen. Unter Umständen ist die Verwendung eines Kontrastmittels notwendig.

**Mechanisches Handabrollgerät** (z.B. MiniProf der Firma Greenwood Engineering)  
Das Gerät lässt sich am Radrücken mittels Magneten befestigen. Radial wird die Positionierung mit zwei am Spurkranz anliegenden Bolzen sichergestellt. Für die Aufnahme der Profilgeometrie wird mit dem beweglichen Messbügel manuell die Radprofilfläche abgefahren. Die Darstellung erfolgt auf dem Bildschirm der Messeinrichtung. Die Beurteilung der Lauffläche erfolgt durch das Fachpersonal (Abschnitt 6.6.2.8). Bei der Gerätehandhabung ist auf ein sauberes Radprofil und ein sorgfältiges Abrollen des Messbügels zu achten. Die Laufkreismessung basiert auf dem Sehnenmass und kann aufgrund des geometrischen Spurkranzzustandes mit Massabweichungen behaftet sein (siehe Abschnitt 14.3.3.4). Die Messgenauigkeit für die Masse des Radprofils liegt bei ca. 0.2 mm.



Abbildung 14-25:  
Mechanisches Abrollmessgerät MiniProf am Rad



Abbildung 14-26:  
Datenaufzeichnung und Schnittstelle zu mechanischem Abrollmessgerät

#### 14.4.2 Kombinierte mechanische Messung

Mit dieser Spurkranzmesslehre (zum Beispiel nach Zeichnung SBB WOI 999.30.001.6, siehe Anhang A2.1) ist die Messung der wichtigsten Werte für eine Beurteilung der

Radprofilgeometrie möglich ( $q_R$ ,  $Sh$ ,  $Sd$ ). Das Messen mit diesem Gerät bedarf einer gewissen Übung, um die gewünschte Messgenauigkeit zu erzielen. Bei einer korrekten Anwendung liegt die Messgenauigkeit im Bereich 0.3 bis 0.5 mm.

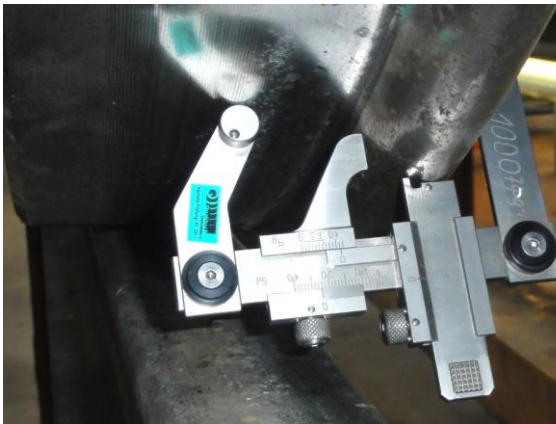


Abbildung 14-27:  
Spurkranzmesslehre gemäss SBB-Zeichnung



Abbildung 14-28:  
Spurkranzmesslehre System Talgo

### 14.4.3 Messung einzelner Masse und Grössen

Alle am Radprofil und am Radsatz relevanten Werte sind in der Regel separat erfassbar. Vielfach ist es ausreichend, diese Werte auch tatsächlich nur einzeln zu erfassen. Unter das Messen einzelner Masse und Grössen fällt die separate Erfassung folgender Werte:

- Spurkranzdicke  $Sd$  [mm]
- Spurkranzhöhe  $Sh$  [mm]
- Flankensteilheit  $q_R$  [-]
- Radkranzbreite  $B_R$  [mm]
- Auswalzung  $a$  [mm]
- Hohllauf  $h$  [mm]
- Radrückenabstand  $A_R$  [mm]
- Spurmass  $S_R$  [mm]
- Raddurchmesser  $D$  [mm]
- Radreifendicke  $b$  [mm] (bei Rädern mit Radreifen)
- Hohllauf bei Bremsscheiben [mm]
- Rundlauf  $H$  [mm]
- Planlauf  $G$  [mm]
- Unwucht  $U$  [gm]
- Elektrischer Widerstand  $R$  [Ohm]
- Masse  $m$  [kg]

Das Messen oder Lehren der Grössen Spurkranzdicke  $Sd$ , Spurkranzhöhe  $Sh$ , Flankensteilheit  $q_R$ , Radkranzbreite  $B_R$ , Auswalzung  $a$  und Hohllauf  $h$  wurde in den vorhergehenden Abschnitten ausführlich beschrieben. In der Regel werden für die Einzelwertaufassung die vorhandenen Kombigeräte verwendet, aber nur die relevante Grösse aufgezeichnet. Darauf soll hier nicht weiter eingegangen werden.

#### 14.4.3.1 Radrückenabstand $A_R$ [mm]

Das Messen des Radrückenabstands  $A_R$  erfolgt mittels eines Innenabstand-Messgerätes, das sowohl rein mechanisch als auch elektronisch unterstützt sein kann.

Mechanische Messgeräte werden entweder mit einem Federmechanismus zwischen die Räder gespannt und dann der kleinste Wert abgelesen oder in ihrer Länge soweit

verändert, bis sie leicht klemmen. Bei beiden Methoden sind Gefühl und eine aufmerksame Beobachtung des sich verändernden Messwertes beim Bediener gefragt.

Rein elektronisch-optische Geräte messen eine Referenzdistanz einer zwischen die Räder geklemmten Lehre. Auch dabei ist beim Anbringen der Lehre die richtige Position massgebend.

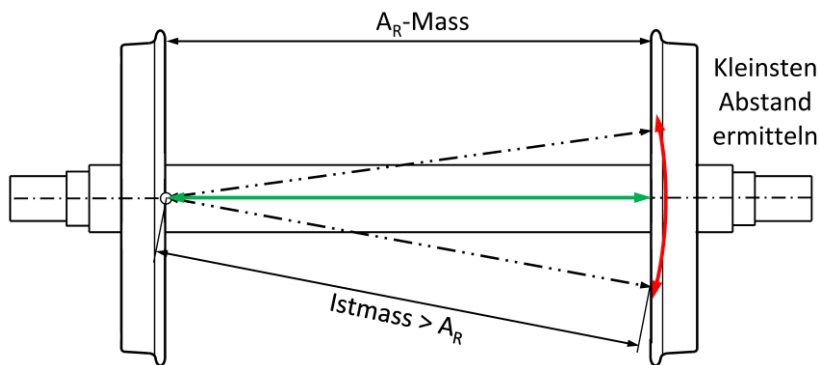


Abbildung 14-29: Messen des  $A_R$ -Masses mit mechanischen Messmitteln

Diese Messung ist notwendig nach R0 und bei neu gefügten Radsätzen. Dabei ist ein Messwert ausreichend. Nach Entgleisungen und thermischer Schädigung der Räder ist die Messung des  $A_R$ -Masses an 3 um  $120^\circ$  versetzten Punkten auszuführen (siehe auch Abschnitt 6.6.1.7).

Auch bei der Radprofilmessung ist eine Messung des  $A_R$ -Masses empfehlenswert, oder aber in Abhängigkeit der  $S_d$ -Messung durchführen. Das  $A_R$ -Mass bildet hierbei die Berechnungsgrundlage für das Spurmasse  $S_R$  (siehe auch Abschnitt 8.2.1.2).



Abbildung 14-30:  
Messen  $A_R$ -Mass am eingebauten Radsatz



Abbildung 14-31:  
Messen  $A_R$ -Mass am ausgebauten Radsatz



Abbildung 14-32:



Abbildung 14-33:



Messgerät mit direkter Ablesung des Radinnenabstandes  $A_R$ :  
Beweglicher Messkopf links.

Messgerät mit direkter Ablesung des Radinnenabstandes  $A_R$ :  
Fester Messkopf rechts.



Abbildung 14-34: Messgerät mit direkter Ablesung des Radinnenabstandes  $A_R$ : Messkopf links, Digitalanzeige

#### 14.4.3.2 Spurmass $S_R$ [mm]

Wie im Abschnitt 14.3.2 ausgeführt ist es nicht sehr empfehlenswert, das Spurmass  $S_R$  als Einzelmass zu messen. Hier bietet sich an, die Spurkranzdicken  $S_d$  und das  $A_R$ -Mass zu messen und damit das Spurmass  $S_R$  gemäss Abschnitt 14.3.2 zu berechnen.

#### 14.4.3.3 Raddurchmesser $D$ [mm]

Das Messen des Raddurchmessers ist wie bereits beschrieben (siehe Abschnitt 14.3.3) mit zahlreichen Problemen behaftet. Fast alle Methoden zur schnellen Erfassung des Raddurchmessers als Einzelmass bedienen sich dabei der Sehnenmessmethode. Die damit erzielbare Genauigkeit wurde hinreichend erläutert. Die Messung mittels Umschlingung darf als Exot gelten, die Abrollmethode wird zur Einzelmessung selten angewendet.

Marktübliche Radprofil-Messgeräte lassen sich mit Zusatzeinrichtungen ergänzen, um den Laufkreisdurchmesser messen zu können. Zur Verringerung der Messungenauigkeit werden die Zusatzeinrichtungen für verschiedene Durchmesserbereiche angeboten.



Abbildung 14-35:  
Messen des Raddurchmessers mit  
optischem Messgerät (Calipri Wheel)



Abbildung 14-36:  
Messen des Raddurchmessers mit  
Sehnenmessgerät

#### 14.4.3.4 Radreifendicke $b$ bei Rädern mit Radreifen

Die Messung der Radreifendicke mit mechanischen Messmitteln unter Zuhilfenahme von fragwürdigen Bezugsflächen (siehe Abschnitt 14.3.4) wird nicht empfohlen und hier nicht

weiter beschrieben. Die einzige korrekt anwendbare Messmethode ist mittels Ultraschalls (z.B. Messgeräte der Firma Krautkramer).

Mit solchen Messgeräten lässt sich von der Lauffläche her die Radreifendicke bestimmen. Um ein korrektes Ergebnis zu erzielen ist in Abhängigkeit der Materialqualität des Radreifens und des Messbereichs von ca. 30 bis 60 mm das Gerät vor und nach dem Messen zu kalibrieren.

Beim Messen ist folgendes Vorgehen zu beachten:

- Am Radreifen ist auf der Lauffläche die Messbasis auf ca. 200 mm Länge anzuzeichnen. Es wird in der Regel ein Abstand vom Radrücken von 80 mm angewendet. Dies entspricht dem Bereich mit dem erwarteten grössten Verschleiss und nicht der Messkreisebene.
- Im Abstand von ca. 50 bis 100 mm sind mindestens 2 Messpunkte zu bestimmen, an denen das Ankoppelmittel aufgetragen wird. Der Einsatz des korrekten Ankoppelmittels ist zwingend notwendig.
- Das Messgerät ist an einem für die Messaufgabe passenden Kalibrierstück zu kalibrieren.
- Der Messkopf wird mit leichtem Druck an den Stellen mit Ankoppelmittel angesetzt. Wenn das Gerät eine gute Schallübertragung signalisiert, kann das Messergebnis als gültig betrachtet und protokolliert werden.
- Werden bei zwei Messungen Differenzen kleiner  $\pm 0.2$  mm ermittelt, so ist die Messung gültig. Bei grösseren Abweichungen sind weitere Messungen durchzuführen.
- Es ist der kleinste aller gültigen gemessenen Werte massgebend.

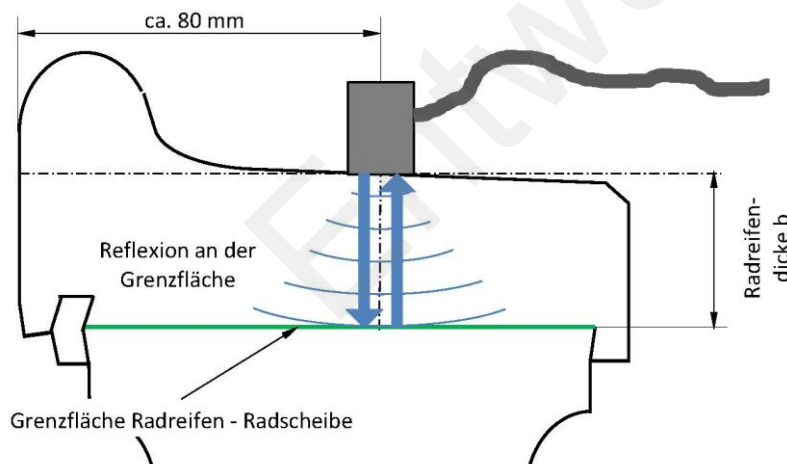
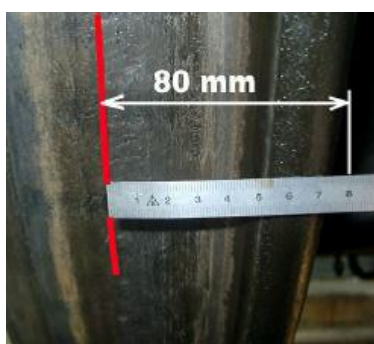


Abbildung 14-37: Messprinzip Radreifendickenmessung mit Ultraschall



Messbasis anzeichnen



Ankoppelmittel auftragen



Messen

Abbildung 14-38: Vorgehen bei der Messung der Radreifendicke

#### 14.4.3.5 Hohllauf und Restdicke bei Bremsscheiben [mm]

Die Hohllauf- und Restdickenmessung bei Bremsscheiben kann mechanisch und optisch durchgeführt werden. Dabei gelten die Vorgaben gemäss Abschnitt 14.3.5.

Als Beurteilungskriterium für die Restlaufleistung ist die minimale Restdicke der Reibflächen einer Bremsscheibe heranzuziehen, wobei der kleinste Wert der beiden Messwerte massgebend ist. Damit wird auch ein stark asymmetrischer Verschleiss der Bremsscheiben abgedeckt.

Erfolgt die Abnützung der Reibflächen annähernd symmetrisch kann als Beurteilungskriterium die Bremsscheibendicke herangezogen werden, die recht einfach mechanisch messbar ist.

Welches Beurteilungskriterium im Betrieb angewendet wird entscheidet der Fahrzeughalter bzw. ECM 1 auf Basis der Betriebserfahrung.

##### 14.4.3.5.1 Optische Messung (z.B. Calipri)

Mittels optischer Abtastung der Reibfläche lassen sich die Extremwerte von Hohllauf und Restdicke der Reibfläche an Rad- und Wellenbremsscheiben messen, wobei die Restdicke der Reibflächen indirekt über die Verschleissmarke unter Berücksichtigung des Hohllaufs ermittelt wird. Gleiches gilt für die Ermittlung der Bremsscheibendicke, die ebenfalls berechnet wird.



Abbildung 14-39: Optisches Messen des Hohllaufs an einer Wellenbremsscheibe

Das gemessene Bremsflächenprofil wird auf dem Bildschirm des Messsystems dargestellt. Der Analogie der Ampelfunktion entsprechend erscheint eine Auswertung der Messwerte in grüner, oranger oder roter Farbe. Die Grenzwerte können verschleissorientiert im Gerät hinterlegt werden. Die Messgenauigkeit liegt bei ca. 0.2 mm.

Bremsflächen mit polierter, hochglänzender Fläche können bei der Messung durch Reflexion Probleme bereiten. In diesem Fall muss der Messbereich mit einem Kontrastmittel behandelt werden.

##### 14.4.3.5.2 Mechanische Messung

Der Hohllauf kann mittels Richtstab und Fühlerlehre gemessen werden. Vorrichtungen mit aufgesetztem Tiefenmass sind ebenfalls im Einsatz. Hierbei bestimmt der vorhandene Platz die Dimension und Art des verwendeten Messmittels. Auch hier ist der gemessene Hohllauf in Zusammenhang mit der Verschleissmarke die Basis zur Berechnung der Restdicke der Reibflächen.

Unter der Voraussetzung, dass die Abnützung der beiden Reibflächen annähernd symmetrisch erfolgt, kann mittels spezieller Messschieber die Bremsscheiben-Restdicke



hinreichend genau gemessen und als Beurteilungskriterium für die Restlaufleistung verwendet werden.

Allen mechanischen Messmitteln eigen sind die bekannten Messfehler durch unsauberes Ansetzen und Verkanten sowie zum Teil die Benützung nicht ganz korrekter Bezugspunkte.



Abbildung 14-40:  
Messen der Bremsscheiben-Restdicke mit Spezial-Messschieber



Abbildung 14-41:  
Bestimmen des Hohlbaus mittels Richtstab und Fühlerlehre

#### 14.4.3.6 Rundlauf

Der Rundlauf wird in der Regel, sofern er nicht mit einer kombinierten Methode gemessen wird (z.B. auf UFD) mit Hilfe einer in der Messkreisebene angelegten Messuhr gemessen, wobei der Radsatz langsam gedreht wird. Als Messergebnis wird die Differenz zwischen dem grössten und kleinsten Messwert pro Rad genommen. Bei Messungen mit analogen Messuhren kann dabei eine tendenzielle Aussage über die Form der Unrundheit gemacht werden (z.B. singuläre Abplattung, Polygon niedriger Ordnung). Als Messwert ist jedoch nur ein Wert pro Rad zu protokollieren, der damit eine weitere Aussage liefert. Diese Messmethode eignet sich eher für frisch reprofilierte Radsätze, da dort mit Exzentrizitäten und nicht mit Polygonen oder anderen Rundlaufschäden zu rechnen ist.

Zu beachten ist bei der Messung die Situation des Radsatzes gemäss Abschnitt 14.3.6.

Rundlaufmessungen mit dem UFD beinhalten in der Regel nur wenige Messpunkte. Fallen diese zudem noch in den Bereich von Ausbröckelungen oder Flachstellen ist die Aussagekraft des Messwerts nur bedingt realistisch. Werden genauere Aufzeichnungen über die Form des Rundlaufs benötigt ist eine Messung an mehreren Punkten über den Umfang verteilt notwendig (siehe Abschnitt 14.3.6). Dies ist bis zu einer gewissen Anzahl ebenfalls mit Messuhren möglich, für genauere Aufzeichnungen aber zu ungenau und zu zeitintensiv.

Um Unrundheiten und Polygonbildungen im Betrieb erfassen zu können ist eine weitgehend kontinuierliche Abtastung über den Umfang notwendig. Dazu gibt es verschiedene Einrichtungen, die je nach Anwendungsfall eingesetzt werden.

Fest im Gleis installierte Anlagen erfassen die Unrundheit neben anderen Messwerten während dem Überrollen durch das Rad. Solche Anlagen sind kostenintensiv und dienen vorrangig der generellen Überwachung von Zügen im Betrieb. Solche Anlagen werden z.B. von der Firma Hegenscheidt vertrieben. Sie werden oft zusammen mit Systemen zur Radlastmessung kombiniert, um Fahrzeuge mit betriebskritischem Zustand zu erkennen und aus dem Betrieb nehmen zu können.

Die Messmethoden dieser Anlagen sind sehr unterschiedlich. Messungen durch mechanisches und optisches Abtasten sowie Berechnungen auf der Basis gemessener Beschleunigungen sind möglich. Über die Einsatzmethoden und die erzielten Genauigkeiten gibt der jeweilige Hersteller Auskunft.

Mobile Messeinrichtungen zum genauen Erfassen und Aufzeichnen der Radunrundheit sind zum Nachmessen für einzelne Radsätze im ein- oder ausgebauten Zustand konzipiert. Mit ihnen kann die Unrundheit und Polygonausformung mit grosser Präzision erfasst werden. Sie eignen sich in erster Linie zur Verfolgung von Unrundheitsentwicklungen und Polygonbildung und nicht zur generellen Messung an allen Fahrzeugen. Ein dafür entwickeltes Gerät älterer Bauart ist nachfolgend abgebildet. Es wird mindestens alle 5 mm am Umfang ein auswertbarer Messwert erfasst, die Auflösung im Radius liegt im Hundertstelbereich.

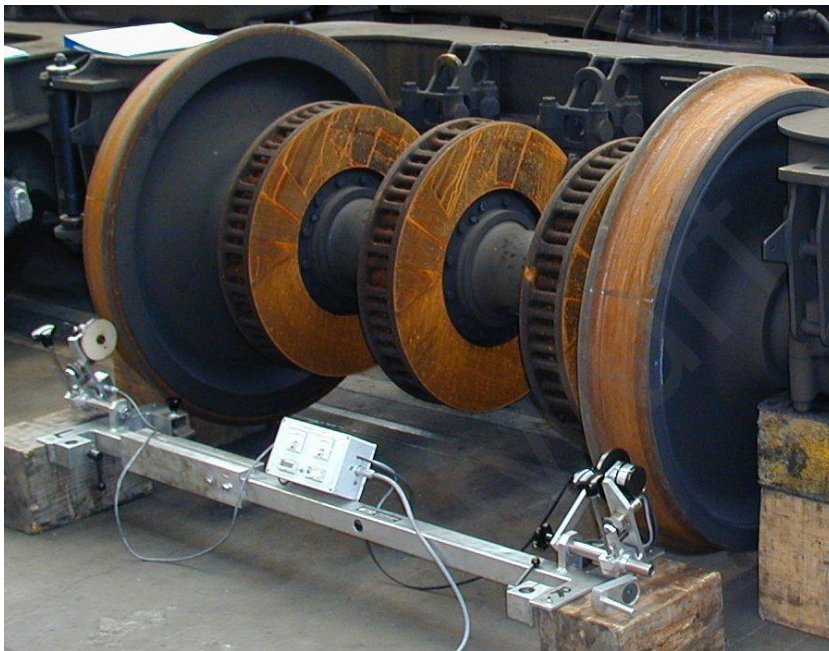


Abbildung 14-42: Messvorrichtung zur Messung von Radunrundheiten

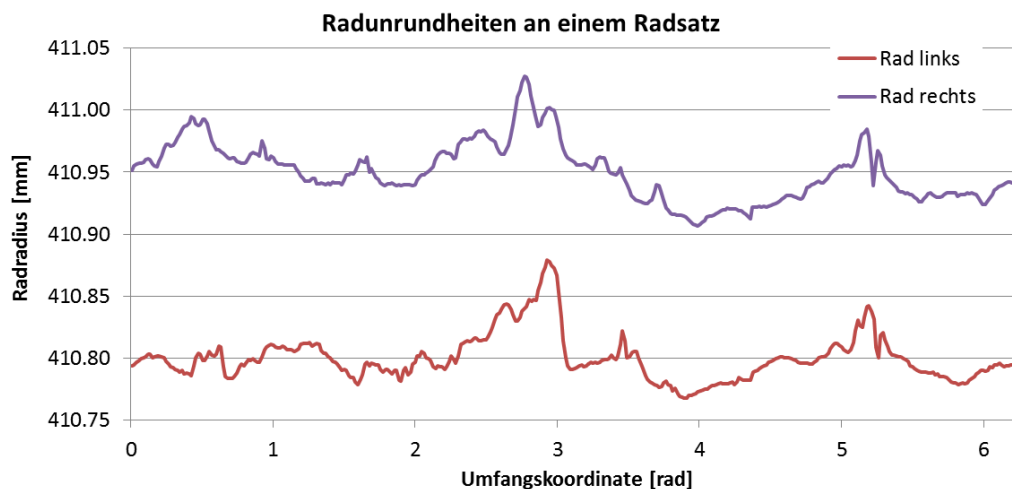


Abbildung 14-43: Messergebnis einer Unrundheitsmessung an einem Radsatz

#### 14.4.3.7 Planlauf

Die Messung des Planlaufs als Einzelmass wird in der Regel mit am Radrücken angelegter Messuhr mittels Durchdrehens des Radsatzes gemessen. Als Messergebnis wird die Differenz zwischen dem grössten und kleinsten Messwert pro Rad genommen. Bei Messungen mit analogen Messuhren kann dabei eine tendenzielle Aussage über die Form des Planlaufs gemacht werden.

Da der Planlauf von Rädern unabhängig vom Verschleiss ist und sich die Radscheiben in der Regel nicht verwerfen ist eine Aussage über den Planlauf mit der Angabe der Differenz zwischen dem grössten und kleinsten Messwert pro Radscheibe ausreichend. Eine Angabe mehrerer Messwerte verteilt am Radumfang ist nicht notwendig.

#### 14.4.3.8 Unwucht

Die Unwucht eines Radsatzes wird in der Regel nach dessen Bearbeitung anlässlich der schweren Instandhaltung oder Neufertigung gemessen. Dies ist nur im ausgebauten Zustand möglich und bedingt den Einsatz spezieller Messvorrichtungen. Im Betrieb wird keine Messung der Unwucht durchgeführt.

Zu den Theorien hinter der Unwucht gibt Abschnitt 14.3.8 Auskunft. Verschiedene Hersteller bieten entsprechend ausgerüstete Maschinen an, um diese Messungen seriös ausführen zu können.



Abbildung 14-44: Auswuchtmaschine für dynamisches Auswuchten

#### 14.4.3.9 Elektrischer Widerstand

Der elektrische Widerstand am Radsatz (siehe auch Abschnitt 14.3.9) muss nach dem Fügen von Radsätzen nachgewiesen werden, wenn folgende Bauteile neu montiert wurden:

- Vollrad auf Welle
- Radkörper auf Welle
- Radreifen auf Radkörper

Das Einhalten der vorgeschriebenen Widerstandswerte ist zwingend, um sicher zu stellen, dass die in der Sicherungstechnik verwendeten Gleisstromkreise zur Gleisfreimeldung korrekt ansprechen. Ein Radsatz, der die Vorgaben nicht erfüllt, darf nicht in den Betrieb gegeben werden.

Folgende Grenzwerte für den maximal zulässigen elektrischen Widerstand zwischen den Laufflächen eines Radsatzes gelten:

- 0.01 Ohm für neugefügte Einheiten

- 0.10 Ohm für Einheiten im Betriebseinsatz

Die Messung wird mit einem geeigneten Gerät ausgeführt, dass in der Lage ist, den Widerstand mit einer Gleichstrom-Speisespannung zu messen.

Die Kontaktelemente zur Ankoppelung an die Laufflächen sollten eine Kontaktfläche von mindestens 350 mm<sup>2</sup> aufweisen und zur einfacheren Ankoppelung magnetisch sein.

Der Radsatz muss für die Messung vollständig elektrisch isoliert aufgestellt werden.

Die Durchführung der Messung wird am Radsatz nicht gekennzeichnet.



Abbildung 14-45: Messaufbau zur Widerstandsmessung am Radsatz



## 15 Besonderheiten der Radsatzinstandhaltung

---

### 15.1 Aufpresskräfte und Arbeitsweise bei der Montage von Vollrädern und Radnaben

---

Das Fügen von Radsatzwelle und Radkörper ist ein komplexer Bearbeitungsvorgang mit hohen Ansprüchen an die Qualität des Endproduktes. Die Güte der Welle-Nabe Verbindung ist entscheidend für den betriebssicheren Zustand der Radsätze.

Massgeblich für Gestaltung und Montageverfahren sind die Norm SN EN 13260, sowie teilweise für ältere Radsätze das UIC-Merkblatt 813. Diese Dokumente legen die wichtigsten Anforderungen an Montagekräfte, Prüfkkräfte (Gegendruck) und Pressübermasse fest. Die wesentlichsten Punkte können aus diesen Dokumenten entnommen werden und gelangen hier nicht wiederholt zur Darstellung. Dagegen soll auf die Umsetzung in der Praxis, sowie auf einige abweichende schweizerische Besonderheiten hingewiesen werden.

Folgende Gestaltungstypen und Montageformen sind für die Welle-Nabe Verbindung verbreitet:

- Sitze mit konischen Passflächen (Konizität 1:300 bis 1:500)
- Sitze mit zylindrischen Passflächen
- Montage der Radkörper durch Aufpressen im kalten Zustand
- Montage der Radkörper durch Aufschumpfen vorgewärmter Radkörper
- Montage der Radkörper durch Klebschumpfen der vorgewärmten Radkörper
- Montage der Radkörper durch Ölweiteverfahren (Ölpressverband)

Neue Radsatztypen sind nur noch gemäss den Vorgaben der SN EN 13260 zu gestalten, bevorzugt mit konischen oder zylindrischen Passflächen, die sich für das Aufpressen der Radkörper im kalten Zustand eignen.

Radsatztypen der älteren Bestandesflotten sind gemäss den zugrundeliegenden Dokumenten oder Werkstückzeichnungen zu behandeln.

Es ist davon abzuraten, die Vorgaben bezüglich Montagekräften und Passübermassen der SN EN 13260 oder des UIC-Merkblattes 813 auf Radsätze anzuwenden, die nicht gemäss deren Gestaltungsgrundlagen ausgelegt worden sind. Auskunft dazu gibt die Montage- und Einzelteilzeichnung, welche auf die jeweils gültige Norm hinweist, oder aber einen Hinweis zu den Montagekräften oder Passübermassen gibt. Auch Instandhaltungsdokumente des Fahrzeug- oder Komponentenherstellers können dazu Angaben enthalten.

Für Fahrzeuge mit internationalem Einsatz ist oftmals die Einhaltung der SN EN 13260 bezüglich Passübermassen und Montagekräften notwendig. Wird diese Norm auf ältere Radsätze angewendet, muss geprüft werden, ob die Bauteile sich für die vorgeschriebenen Passübermassen und Montagekräfte eignen. Die diesbezüglichen Vorgaben der SN EN 13260 sind oftmals höher als in älteren Grundlagen, so dass die Spannungen in den Bauteilen zu hohe Werte erreichen können, wenn die Vorgaben der SN EN 13260 ungeprüft übernommen werden.



### 15.1.1 Aufpressen von Radkörpern und Vollrädern im kalten Zustand

Die Montage der Radkörper oder Vollräder durch Aufpressen im kalten Zustand ist eine handwerklich sehr anspruchsvolle Tätigkeit. Das zuverlässige Einhalten der geforderten minimalen und maximalen Montagekraft erfordert regelmässige Tätigkeit der entsprechenden Mitarbeiter in diesem Bereich, sowie erhöhte Sensibilität für die nicht normativ abgedeckten Parameter, welche den Prozess beeinflussen. Das Zusammenspiel aller Einflussgrössen ist nicht restlos erforscht, daher kommt der praxisnahen Beobachtung und Einflussnahme eine grosse Bedeutung zu, wenn der Montageprozess eine hohe Erfolgsquote aufweisen soll.

Folgende Einflussgrössen sind massgebend und beeinflussen den Prozess wie folgt:

- Oberflächenrauigkeit der Passflächen: möglichst konstante Werte führen zu besserer Prozesssicherheit
- Vorbereitung der Oberfläche von Passflächen: besonders bei Wiederverwendung von Radsatzwellen muss die Sitzfläche möglichst gleichmässig vorbereitet werden, Schleifpapier oder Schleifvlies mit maximaler Körnung P80 verwenden und systematische Kraft/Flächenpressung anstreben; systematische Anzahl Hiebe/Bewegungen, Ausrichtung Schliffbild und Anschliffmethoden dürfen keine Störung bei der MT-Prüfung verursachen, das muss durch praktische Versuche bestätigt werden
- Schmiermittelmenge: Möglichst konstante Schmiermittelmengen sind günstig
- Typ Schmiermittel: Möglichst immer gleiches Schmiermittel verwenden, bevorzugt sollte heute für alle Bauarten eine Montagepaste mit Molybdändisulfid ( $\text{MoS}_2$ ) verwendet werden, damit kann die Tribokorrosion zwischen den Fügeflächen wirksam verhindert werden, Talg, Leinöl und deren Mischungen verhindern dies nicht zuverlässig
- Schmiermittelauftrag: Das Schmiermittel sollte immer mit dem gleichen Werkzeug aufgetragen werden, mögliche Werkzeuge: Pinsel, Gummihandschuhe, Stofflappen, Lederlappen, Roller und Schwamm
- Passübermasse: Möglichst gleichmässige Passübermasse beeinflussen den Prozess günstig. Daher ist die Vorgabe für Messung und Dokumentation der Passübermasse und Sitzdurchmesser auch ein wichtiger Anhaltspunkt zur Steuerung des Montagevorgangs.
- Pressgeschwindigkeit: Eine variable Pressgeschwindigkeit erlaubt die Einflussnahme während des Aufpressprozesses, wenn der Kraftaufbau vermuten lässt, dass die angestrebten Montagekräfte nicht erreicht oder überschritten werden. Die Geschwindigkeit soll im Bereich 30 mm/min bis 300 mm/min liegen. Höhere Geschwindigkeiten ergeben niedrigere Endkräfte, niedrigere Geschwindigkeiten dagegen höhere Endkräfte.
- Die variable Pressgeschwindigkeit ist weder in der SN EN 13260 noch in der UIC 813 erwähnt, aber auch nicht explizit verboten und ist nicht nur eine schweizerische Spezialität.
- Unterschiedliche geometrische Gestaltungen der Nabenpartien führen zu unterschiedlichem Verhalten der Radkörper beim Aufpressen. Besonders für dünnwandige Nabenpartien moderner Konstruktion kann es unumgänglich sein, dass maximal erlaubte Passübermass zu beschränken, da sonst plastisch-elastische Deformationen der Nabe auftreten können (Paaren von kleinster Bohrung und grösster Welle vermeiden).
- Die konzentrische Ausrichtung der Bauteile: diese kann durch Zentrierbüchsen erfolgen. Bei konischen Passflächen ist oftmals die Ausrichtung über die Passflächen zu erreichen, da die Massverhältnisse ein kraftloses Aufschieben der Radkörper auf die Radsatzwelle auf einer gewissen Sitzlänge ermöglichen.

Für das Aufpressen von Radkörpern werden im Allgemeinen spezialisierte Radsatzpressen verwendet. Diese sind so konzipiert, dass die Einhaltung der geometrischen Montage toleranzen von der Maschine gesteuert wird. Sie bieten auch die notwendigen Aufzeichnungs- und Dokumentationsmöglichkeiten für den Verlauf des Montageprozesses.



Abbildung 15-1: Radsatzpresse

Die geometrischen Montagepositionen der aufzupressenden Bauteile können auch durch die Verwendung von Anschlagbüchsen erreicht werden. Voraussetzung dafür ist jedoch eine genügend genaue Tolerierung der axialen Längenmasse an der Radsatzwelle und dem Radkörper. Fehlt auf der Bauteilzeichnung die Toleranz für das  $A_R$ -Mass so können die Werte aus Abschnitt 6.6.1.7 verwendet werden.



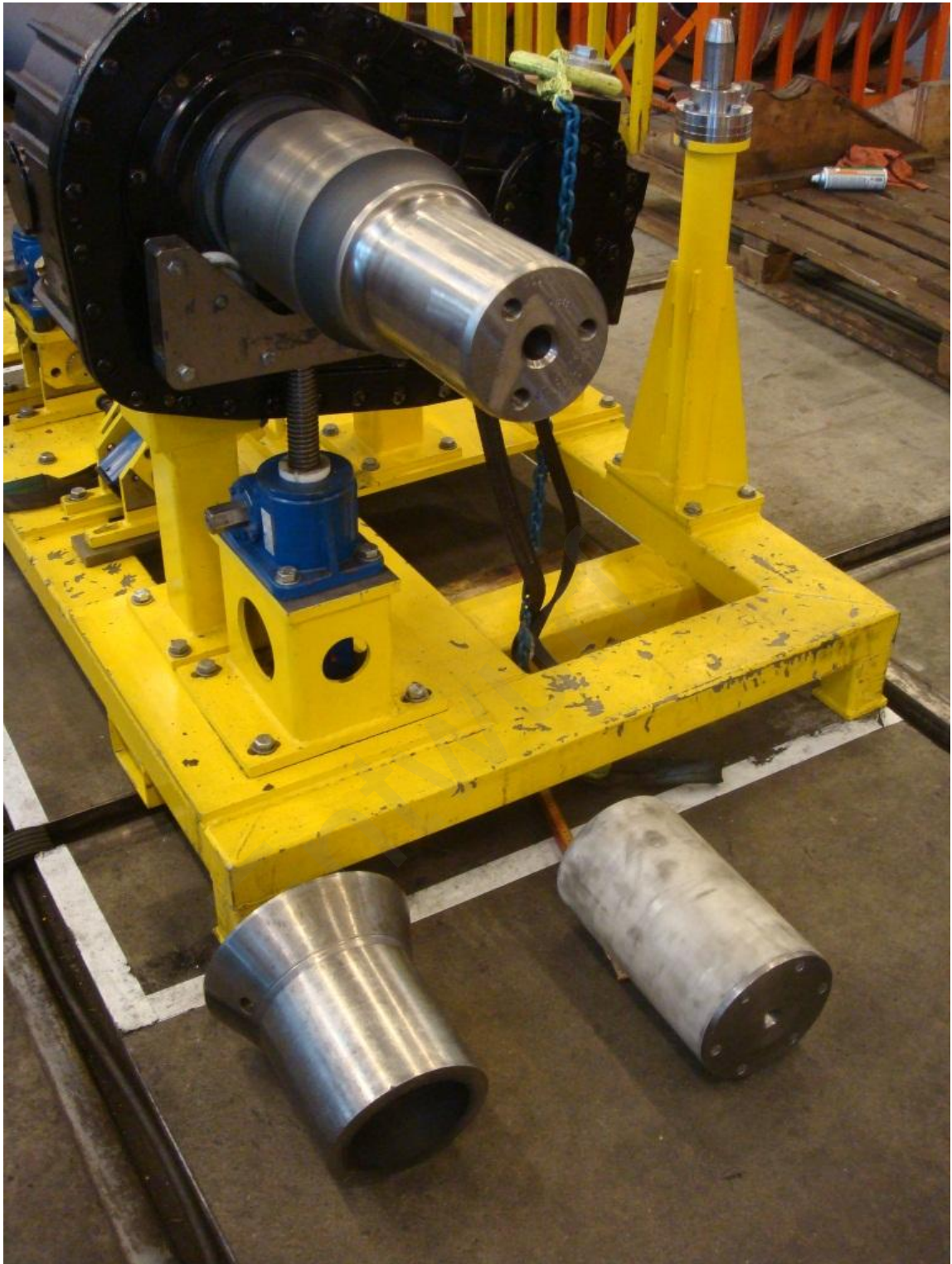


Abbildung 15-2: Montagebüchsen

In jedem Fall muss darauf geachtet werden, dass die Naben der Radkörper über das Sitzende der Welle gegen den Wellenschaft leicht überstehen, mindestens aber bündig sind. Bei zurückstehender Nabe kann eine Rissinitiierung in der Radsatzwelle die Folge sein, da örtlich erhöhte Spannungen auftreten und damit der vorteilhafte Einfluss des Übergangsradius auf die Spannungsverteilung verloren geht. Dieses Detail ist besonders bei älteren Radsatztypen zu beachten, wobei nötigenfalls die Naben- und Wellenmasse so anzupassen sind, dass ein Nabenüberstand zu Stande kommt.

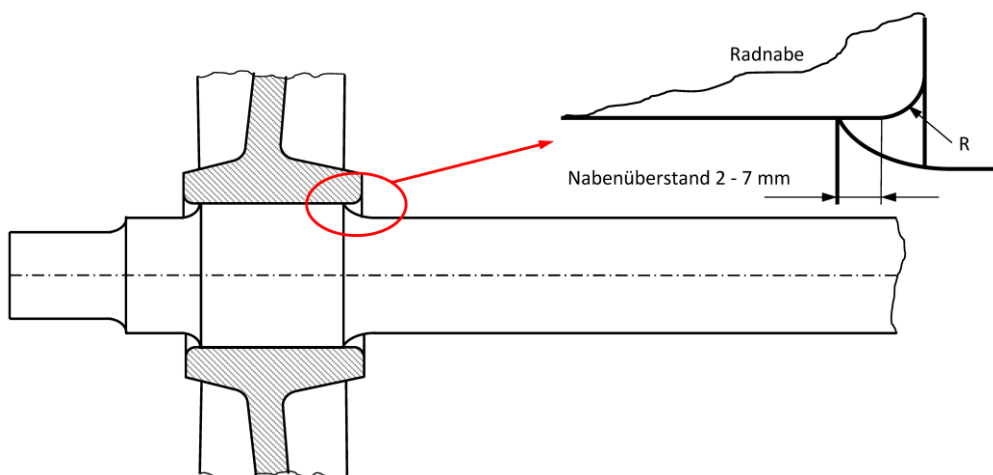


Abbildung 15-3: Definition Nabenüberstand gemäss SN EN 13103-1

### 15.1.2 Qualitätsprüfung der kalt montierten Radkörper und Vollräder

Die Güte der Wellen-Naben Verbindung wird anhand der Endaufpresskraft und dem Kraftverlauf während des Fügevorgangs beurteilt. Das Prüfergebnis kann sein:

- Endaufpresskraft und Druckverlauf sind entsprechend den Vorgaben:  
→ Radsatz in Ordnung
- Druckverlauf in Ordnung aber Endaufpresskraft maximal 10 % abweichend von Minimal- oder Maximalwert:  
→ Radsatz in Ordnung mit bestandener Gegendruckprüfung
- Endaufpresskraft oder Druckverlauf nicht konform:  
→ Demontage des Radkörpers

Die Gegendruckprüfung von Radsätzen mit einer bis zu 10 % gegen unten abweichenden Endaufpresskraft ist eine langjährig bewährte schweizerische Besonderheit, die weder in der UIC 813 noch der SN EN 13260 explizit vorgesehen ist.

Folgende Beispiele bezüglich Druckverlauf und Montagekraft werden als Kriterien für die Qualitätsprüfung angewendet. Die darin vorkommenden Abkürzungen bedeuten:

|                    |                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------|
| $P_F$ [kN]         | Montagekraft allgemein                                       |
| $P_{F_{max}}$ [kN] | Maximale Montagekraft, die während der Montage erreicht wird |
| $P_{F_e}$ [kN]     | Montagekraft am Ende des Montageverlaufs                     |
| $F_{max}$ [kN]     | Maximal zulässige Montagekraft gemäss Bauteilzeichnung       |
| $F_{min}$ [kN]     | Minimal zulässige Montagekraft gemäss Bauteilzeichnung       |
| $S$ [mm]           | Aufpressweg                                                  |

Nachstehend als «nicht konform» bezeichnete Kraftverläufe des Aufpressvorgangs ziehen die Demontage des Radkörpers nach sich.

### 15.1.2.1 Abfall der Montagekraft $P_F$

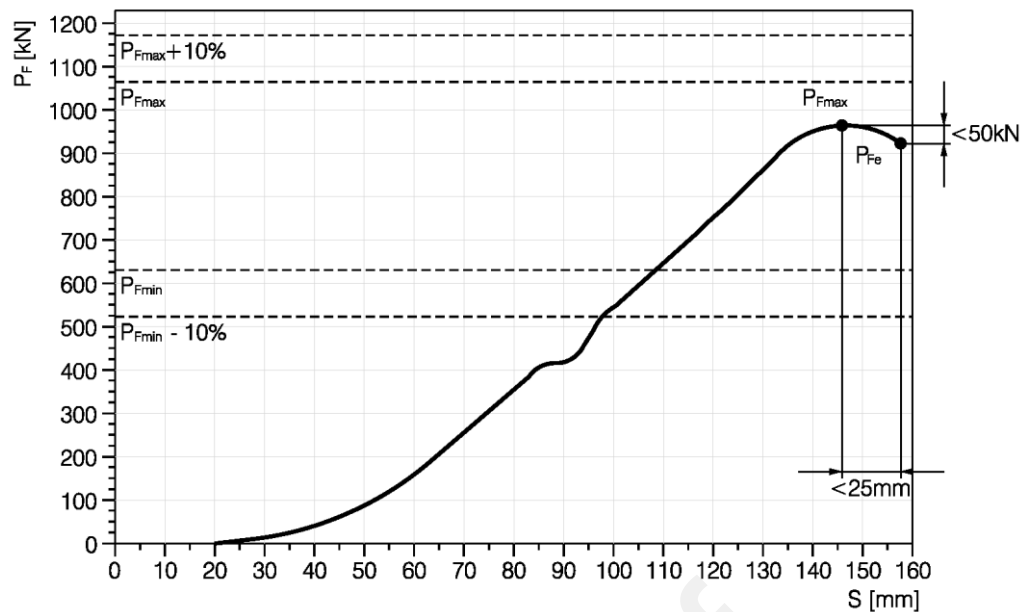


Abbildung 15-4: Abfall der Montagekraft

Der Abfall der Montagekraft  $P_F$  am Ende des Aufpressweges ist konform, wenn der Kraftabfall auf maximal 25 mm Länge auftritt und der Kraftabfall kleiner als 50 kN ist.

Der Abfall der Montagekraft  $P_F$  auf maximal 10 % Länge des Aufpressweges ist an der Stelle zulässig, an der sich die Öleinspritznut des Radkörpers befindet.

### 15.1.2.2 Verhältnis Montagekraft $P_{Fmax}/P_{Fe}$ zu den Kraftgrenzen $F_{max}/F_{min}$

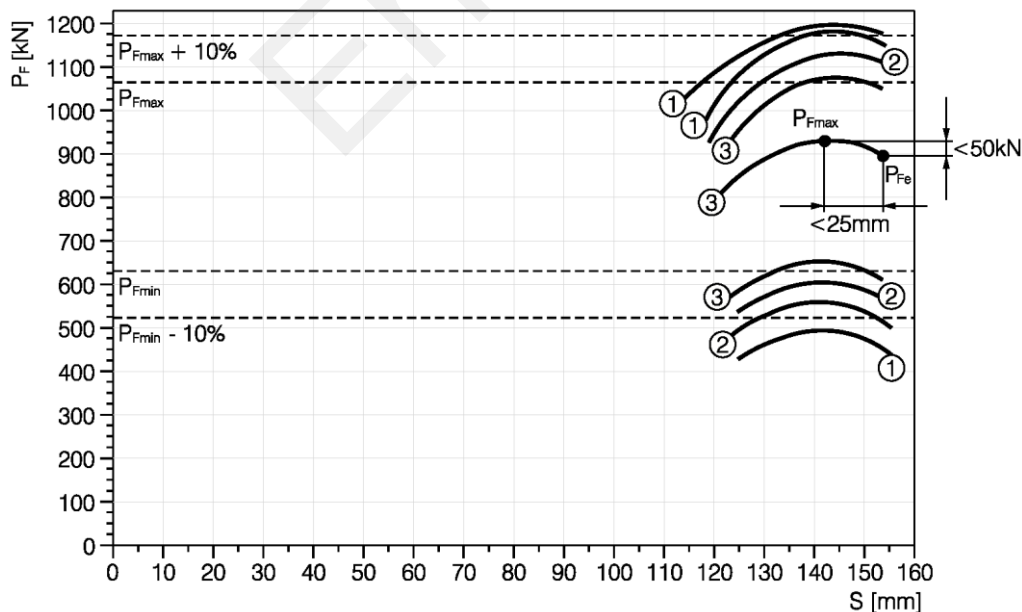


Abbildung 15-5: Verhältnis der Montagekraft zu den Kraftgrenzen

Legende zu Abbildung 15-5:

Beurteilung der Kurven mit Druckabfall nach  $P_{Fmin}$  und  $P_{Fe}$ :

- ① nicht konform      ② konform mit bestandener Gegendruckprüfung      ③ konform



### 15.1.2.3 Verlauf der Montagekraft $P_F$ bei Slip-Stick Effekt (Rattern)

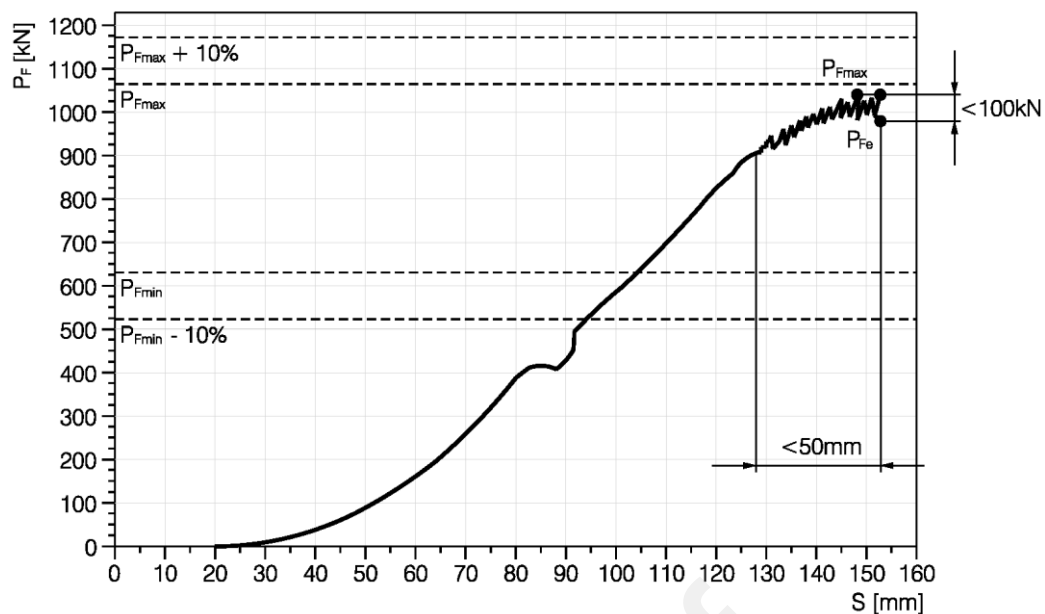


Abbildung 15-6: Montagekraft mit Rattern

Tritt während des Montagevorganges ein Slip-Stick Effekt auf (Rattern), gilt dies ohne Gegendruckprüfung als zulässig, wenn die Kraftschwankungen 100 kN nicht übersteigen und der Effekt auf weniger als 50 mm Aufpressweg auftritt. Übersteigen die Kraftschwankungen 100 kN oder sind diese auf mehr als 50 mm Aufpressweg vorhanden, ist der Aufpressvorgang nicht konform.

### 15.1.2.4 Starker Anstieg der Montagekraft $P_F$ / Verdacht auf Anfressen

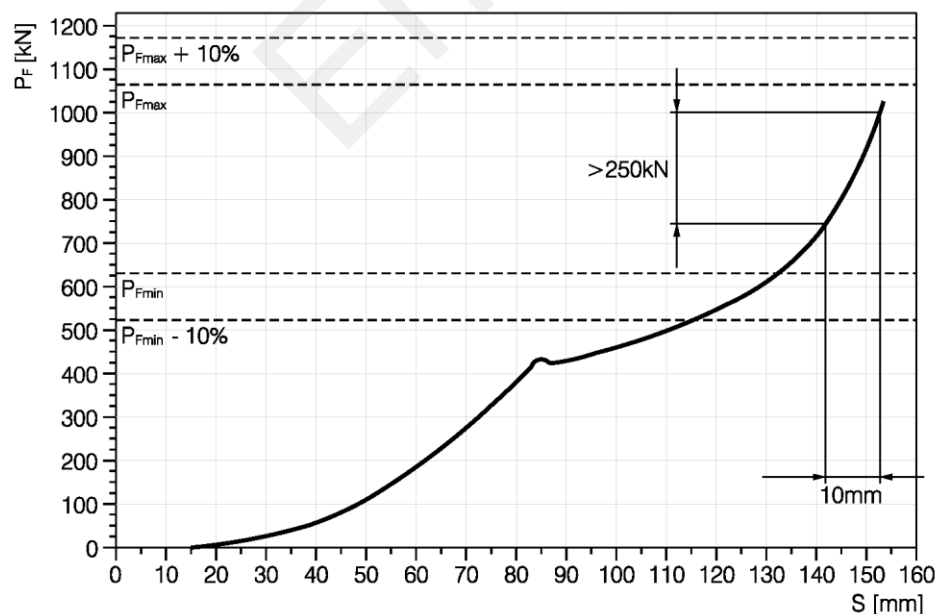


Abbildung 15-7: Starker Anstieg der Montagekraft

Steigt die Montagekraft  $P_F$  stärker an als 250 kN pro 10 mm Aufpressweg, ist davon auszugehen, dass der Pressverband angefressen hat. Solche Kraftverläufe sind nicht konform.

### 15.1.2.5 Unstetige Zunahme der Montagekraft $P_F$

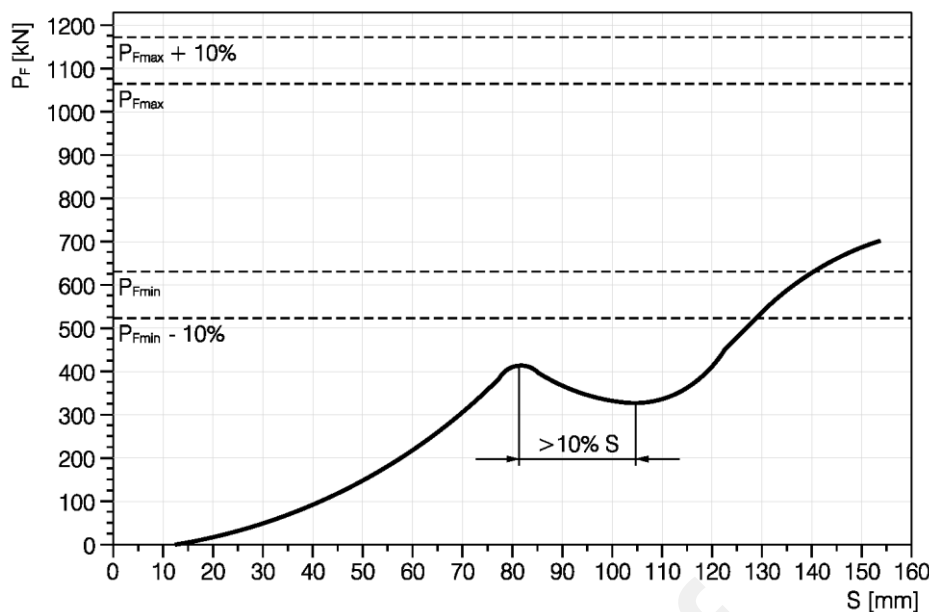


Abbildung 15-8: Unstetige Zunahme der Montagekraft

Steigt die Montagekraft  $P_F$  während mehr als 10 % des Aufpressweges nicht an oder fällt diese gar ab, ist von einer plastischen Deformation der Komponenten auszugehen. Dieser Kraftverlauf ist nicht konform. Eine Ausnahme ist der Kraftabfall am Ende des Montagevorganges (siehe Abschnitt 15.1.2.1).

### 15.1.3 Nacharbeit der Radnabensitze an Radsatzwellen

Nach der Demontage von alten Radkörpern wird die Mantelfläche der Radnabensitze an der Radsatzwelle oftmals leichte Riefen aufweisen oder aber nach mehrmaligem Demonstrieren von Radkörpern auch im Durchmesser aus der Toleranz fallen.

Daher ist oftmals eine Möglichkeit zum Nachbearbeiten des Radnabensitzes auf ein Reparaturmass wünschenswert.

Neue Radsatzwellenkonstruktionen können so dimensioniert werden, dass die Festigkeitsreserven ausreichend sind, die Nabensitzdurchmesser bis auf ein minimal zulässiges Nacharbeitungsmass abzdrehen.

Bei älteren Radsatzwellenkonstruktionen ist der dazu notwendige Festigkeitsnachweis gemäss SN EN 13103-1 / SN EN 13103-2 oftmals nicht erfolgreich, da die Wellen grundsätzlich einer Überprüfung gemäss den Kriterien der SN EN 13103-1 / SN EN 13103-2 nicht standhalten können und nur im Rahmen der Bestandschutzes weiterbetrieben werden dürfen. Hier gibt es nur die Möglichkeit, neue Ersatzwellen mit etwas grösserem Nabensitzdurchmesser zu beschaffen.

Ältere Radsatzwellen, bei denen die Nabensitze nachweislich und ohne negative Betriebserfahrung abgedreht worden sind, können auch nach diesem Verfahren im Rahmen des Bestandschutzes so weiterbehandelt werden.

Ein besonderes Augenmerk muss auf die Tribokorrosion am Nabensitz der Radsatzwelle gerichtet werden. Dies kann auf der Innenseite (dem Wellenschaft zugewandten Seite des Sitzes) zu einer lokalen Durchmesserreduktion führen. Eine Möglichkeit zum Prüfen dieses Merkmals wird im Folgenden wiedergegeben.

Radsatzwellen und Radkörperbohrungen mit den im Bild gezeigten typischen Anrostungen (Tribokorrosion) sollten mit einer verbesserten Masskontrolle auf Wiederverwendbarkeit überprüft werden. So kann wirksam vermieden werden, dass Bauteile mit grösseren Formabweichungen und lokal zu kleinem Übermass erneut zusammengebaut werden.

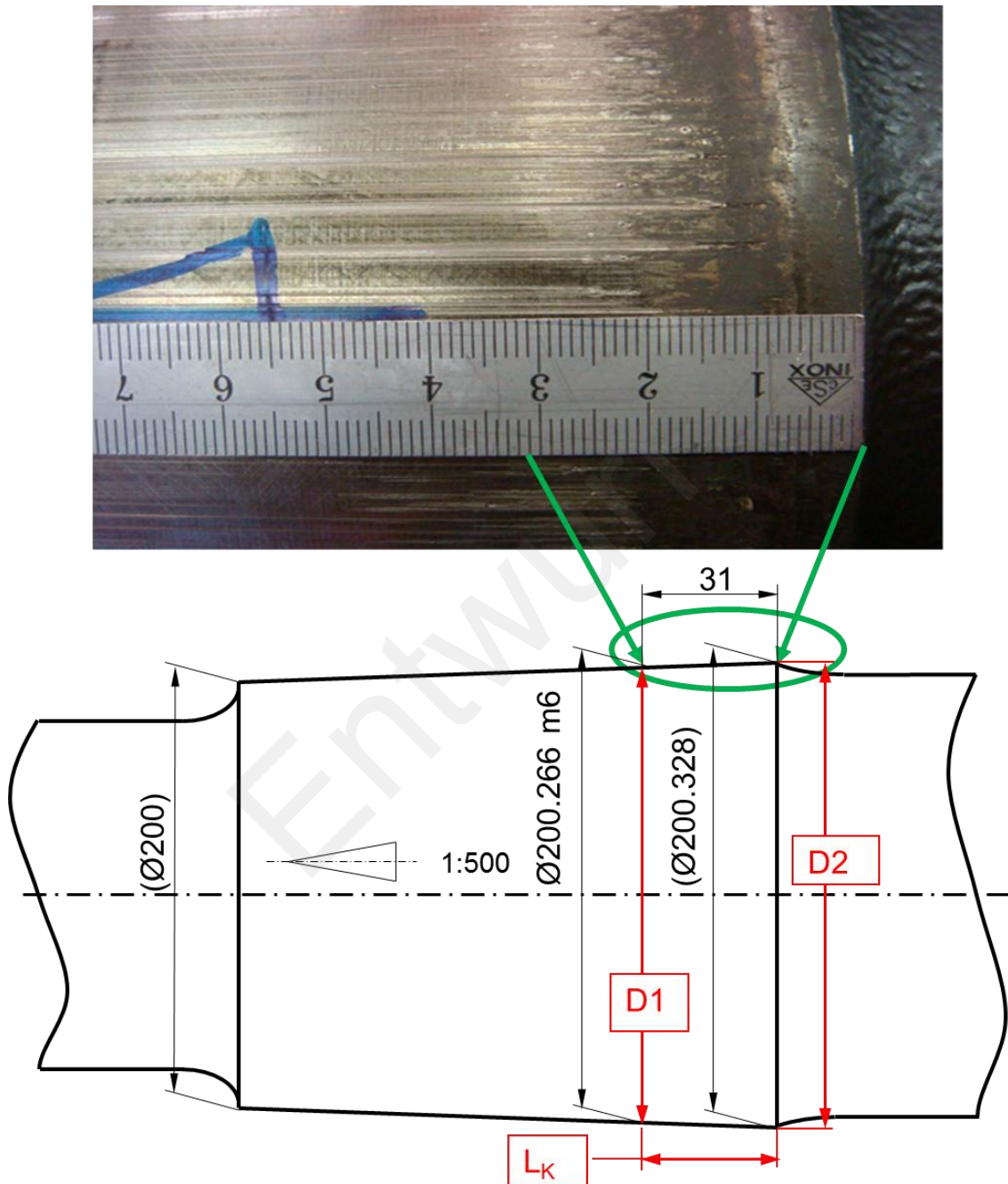


Abbildung 15-9: Skizze zu Messmethode; Beispiel mit Radsatzwelle und symbolisiertem Ausschnitt aus zugehöriger Zeichnung

Für diese Kontrolle wird ein Vorgehen gemäss nachfolgender Tabelle vorgeschlagen. Die maximale Abweichung der bestehenden Konusmasse zu den Nominalmassen sollte nicht mehr als  $\pm 0.03$  mm betragen.

Die Berechnung erfolgt gemäss:

$$D2_{\min} = D1 + \frac{L_K}{K} - 0.03$$

Formel 15-1: Berechnung  $D2_{\min}$  zur Entscheidung gemäss Tabelle 15-1

$$D2_{\max} = D1 + \frac{L_K}{K} + 0.03$$

Formel 15-2: Berechnung  $D2_{\max}$  zur Entscheidung gemäss Tabelle 15-1

$$D2_{\min} \leq D2 \leq D2_{\max}$$

Formel 15-3: Grenzen für D2 zur Entscheidung gemäss Tabelle 15-1

wobei:

D1, D2: Durchmesser Radnabensitz an definierter Stelle in Millimeter.

$L_K$ : Abstand Mass D1 vom inneren Ende des Radnabensitzes (Mass D2) in Millimeter

K: Nennwert des Konus Radnabensitz (z.B. 500 bei Wert 1:500)

| Arbeitsschritt | Bezeichnung                                                                   | Beispiel                                                                                           |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | Messpunkt für D1 bestimmen, dieser muss ausserhalb der korrodierten Zone sein | $L_K = 31$ mm ab Radiuskante, muss aber nicht unbedingt dem Messpunkt gemäss Zeichnung entsprechen |
| 2              | D1 Ist-Mass messen.                                                           | 200.300 mm                                                                                         |
| 3              | Konizität K aus Zeichnung bestimmen.                                          | K = 500 (Konus 1:500)                                                                              |
| 4              | Zunahme Durchmesser von D1 nach D2 berechnen.                                 | $31/500 = 0.062$ mm                                                                                |
| 5              | Soll-Mass D2 bestimmen.                                                       | $200.300 + 0.062 = 200.362$ mm                                                                     |
| 6              | Toleranz für D2 Ist-Mass = D2. Soll $\pm 0.03$ mm.                            | $200.362 \pm 0.03$ mm:<br>D2 Minimum 200.332 mm<br>D2 Maximum 200.392 mm                           |
| 7              | Ist-Mass D2 messen.                                                           | D2 = 200.310                                                                                       |
| 8              | Bestimmen, ob Stück weiterverwendet werden kann                               | 200.310 ist kleiner, als das oben berechnete Minimum, die Welle ist Ausschuss                      |

Tabelle 15-1: Entscheid zur Nacharbeit an Radnabensitzen

## 15.2 Eigenspannung am Radkranz von Vollrädern

Vollräder von Fahrzeugen mit Klotzbremseinrichtungen können durch Bremsstörungen thermisch überlastet und dabei beschädigt werden. Es spielt dabei keine Rolle, ob das Fahrzeug über eine normale Klotzbremse, eine Feststellbremse in Form einer Klotzbremse oder nur einen Putzklotz verfügt.

Dieser Abschnitt gibt Hinweise auf folgende Punkte:

- Entstehung und Auswirkung von Radkranzeigenspannungen
- Behandlung von Radsätzen mit thermischen Schäden in der schweren Instandhaltung
- Grenzwerte für die Eigenspannungsmessung an Vollrädern

Das Erkennen und die Behandlung der Radsätze mit Farbabbbrand in der leichten Instandhaltung und im Betrieb sind in Abschnitt 6.6.2.12 beschrieben.

Begriffsdefinition:

**Thermisch geschädigtes Vollrad** Als thermisch geschädigt gilt ein Vollrad, wenn es Farbabbbrand aufweist oder ausgeprägte Anlauffarben an den blanken Stellen am Radkranz zeigt.

**ZKE-Meldung** Meldungen bezüglich Festbremsen oder Bremsstörung, übermittelt vom Interventionszentrum der Zugkontrolleinrichtungen (IZ-ZKE)

**HFO-Meldung** Meldung einer Heissläuferortungsanlage

### 15.2.1 Auswirkung der thermischen Belastung auf Vollräder

Vollräder, die durch Klotzbremsen abgebremst werden, erfahren im Radkranz durch die Einwirkung von Reibungswärme auf das Material allmählich einen Aufbau von Zugeigenspannungen. Bis zu einem gewissen Mass ist dies ein natürlicher Vorgang, den die Vollräder ohne Schädigung ertragen können. Die aufgebaute Zugeigenspannung im Radkranz ist nicht nur von der Grösse des Wärmeeintrages abhängig, sondern auch von der Form des Radscheibensteges. Je weniger der Radscheibensteg gewölbt ist, desto eher baut sich eine Zugeigenspannung im Radkranz auf, da ein nicht gewölbter Radscheibensteg wenig elastisch reagieren kann.

Die Zugeigenspannungen im Radkranz sind aus folgenden Gründen unerwünscht:

- Das Initiieren von Rissen durch Kerbstellen am Radkranz wird durch erhöhte Zugeigenspannungen begünstigt.
- Bereits vorhandene axial orientierte Risse am Radkranz wachsen durch Zugeigenspannungen schneller an.
- Zugeigenspannungen können bei wenig gewölbten oder geraden Radscheibenstegen zur Deformation des Radkörpers führen und damit eine unzulässige Veränderung des AR-Masses zur Folge haben («Verwerfen» des Vollrades).



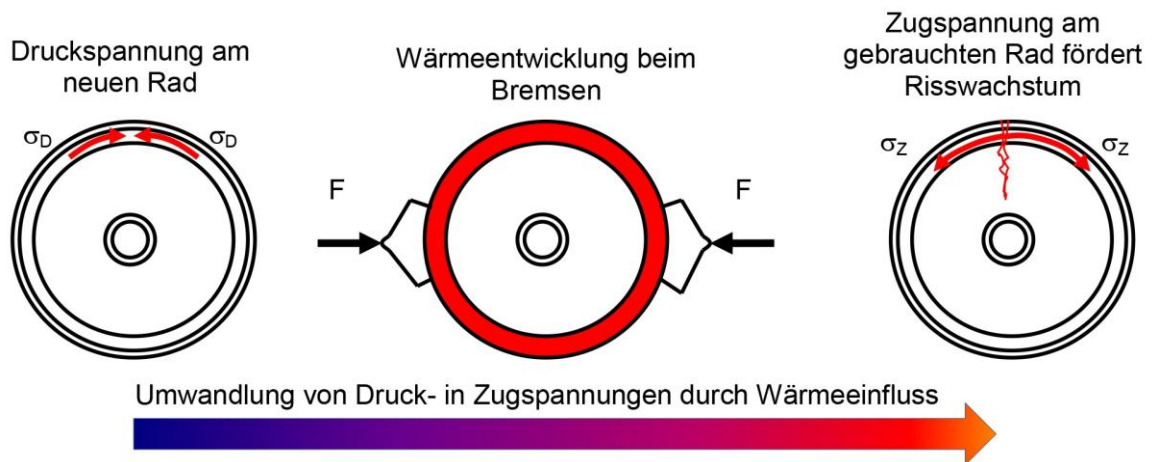


Abbildung 15-10: Schädigungsmechanismus des Vollrades bei thermischer Überbelastung

Abbildung 15-11: Verwerfen eines Vollrades mit geradem Steg; Veränderung des  $A_R$ -Masses

Das Entstehen von Zugeigenspannungen und deren negative Effekte sind durch konstruktive Umgestaltung der Radscheibenformen in den letzten Jahren stark abgeschwächt worden. Dies gilt besonders für die sogenannten «spannungsarmen Radscheiben» (sa), wie sie in klotzgebremsten Reisezugwagen heute nahezu ausschliesslich verwendet werden.

Der Einsatz von Radsätzen mit sa-Radscheiben in klotzgebremsten Güterwagen wird insbesondere im Zusammenhang mit der Verwendung von K- oder LL-Bremssohlen empfohlen.

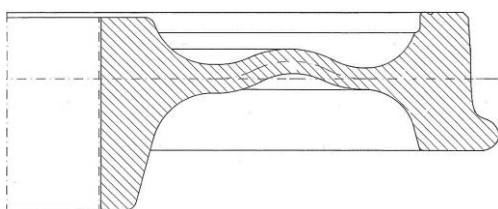


Abbildung 15-12: Vollrad früherer Bauform mit schwach gewölbtem Steg

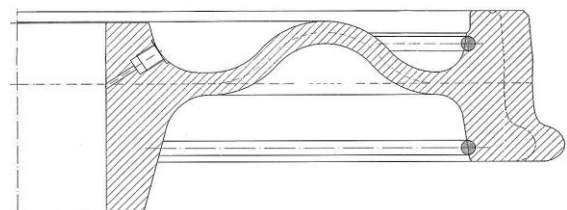


Abbildung 15-13: Vollrad heutiger spannungsarmer Bauform (sa oder Glockenrad)

### 15.2.2 Behandlung thermisch geschädigter Vollräder in der schweren Instandhaltung und Grenzwerte für die Eigenspannungsmessung.

Radsätze mit thermisch geschädigten Vollrädern sind zu tauschen. Beim Ausbau aus dem Fahrzeug sind diese mit einem Meldezettel zu beschriften, so dass bei der Bearbeitung in der Werkstätte klar erkennbar ist, dass es sich um Räder mit thermischen Schäden handelt.

Radsätze mit thermisch geschädigten Vollrädern durchlaufen die üblichen, für die entsprechenden Radsatzbauarten vorgesehenen Aufarbeitungsschritte. Als thermisch geschädigt gelten neben der unter Abschnitt 15.2 genannten eindeutigen Definition auch sämtliche Vollräder, bei denen ein Verdacht auf thermische Schädigung besteht. Solche Verdachtsmomente können sein:

- Umlaufende Aufschieferungen auf der Lauffläche
- Über das übliche Mass hinausgehende Korrosion im äusseren Bereich des Radkranzes

Zusätzlich zur normalen Aufarbeitung ist eine Eigenspannungsprüfung vorzunehmen. Diese kann vor oder nach der Reprofilierung erfolgen. Dafür sind entsprechende Prüfgeräte zu verwenden, mit denen sich die Eigenspannung zerstörungsfrei messen lässt.

Grenzwerte für die zulässige Eigenspannung im Radkranz gemäss nachfolgender Tabelle:

| Stahlsorte | Radbauart, Kategorie gemäss VPI 04, Anhang 1, Kapitel 1                   | Zulässige Werte [MPa] | Quelle      |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
| ER6        | Vollräder mit unbekannter Bruchzähigkeit des Radkranzes                   | max 300               | SN EN 15313 |
|            | Vollräder, deren Bruchzähigkeit des Radkranzes der SN EN 13262 entspricht | max 400               | SN EN 15313 |
|            | Kategorie 1 (d1)                                                          | -300 bis +400         | VPI 09-4.1  |
| ER7        | Normale Vollräder mit schwach gewölbtem Steg                              | max 300               | –           |
|            | Vollräder mit unbekannter Bruchzähigkeit des Radkranzes                   | max 300               | SN EN 15313 |
|            | Kategorie 1 (d1)                                                          | -300 bis +400         | VPI 09-4.1  |
|            | Kategorie 3 (d3)                                                          | -350 bis +300         | VPI 09-4.1  |
|            | Kategorie 2 (d2)                                                          | -350 bis +300         | VPI 09-4.1  |
|            | Vollräder, deren Bruchzähigkeit des Radkranzes der SN EN 13262 entspricht | max 400               | SN EN 15313 |
| ER8, ER9   | Kategorie 3 (d3)                                                          | -350 bis +250         | VPI 09-4.1  |

| Stahlsorte                | Radbauart, Kategorie gemäss VPI 04, Anhang 1, Kapitel 1 | Zulässige Werte [MPa] | Quelle     |
|---------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|------------|
| R1, R6, R7                | Kategorie 1 (d1)                                        | -300 bis +400         | VPI 09-4.1 |
| R1, R7, BV1               | Kategorie 2                                             | -350 bis +300         | VPI 09-4.1 |
| R2, R3, R8, R9, BV2, BV2N | Kategorie 3 (d3)                                        | -350 bis +250         | VPI 09-4.1 |
| R7                        | Kategorie 3 (d3)                                        | -350 bis +300         | VPI 09-4.1 |

Tabelle 15-2: Grenzwerte für die zulässige Eigenspannung im Radkranz

Stähle mit der Bezeichnung ER sind gemäss SN EN 13262 produziert worden, deren Bruchzähigkeit ist bekannt. Solche mit der Bezeichnung R entsprechen den Vorgaben des Merkblattes UIC 812-3 mit nicht ausgewiesener Bruchzähigkeit des Materials.

Die Stahlsorte kann an der Vollradnabe innenseitig aus der Herstellerstempelung abgelesen werden.

Die Messung ist für alle Werkstoffe mit einer akustoelastischen Konstante von  $k = 150$  (materialspezifische Konstante) durchzuführen. Teilweise werden in begründeten Fällen auch niedrigere  $k$ -Werte für einzelne Werkstoffsorten verwendet. Da jedoch die sichere Erkennung der Werkstoffsorten trotz Kennzeichnung am Rad nicht immer einfach ist, wird empfohlen, auf tiefere  $k$ -Werte zu verzichten. Tiefere  $k$ -Werte führen zu kleineren Spannungswerten und damit weniger sensibler Beurteilung der Räder.

Die Verfahrensweisen für die Messung von Eigenspannungen am Radkranz sind in der SN EN 13979-1 festgelegt.

Vollräder mit gewölbtem Radsteg, die die Grenzwerte für die Eigenspannung einhalten, können ohne besondere Einschränkungen dem Betrieb übergeben werden. Dazu ist vorgängig der Farbanstrich auszubessern.

Vollräder, die die Grenzwerte für die Eigenspannung überschreiten, werden in der Regel verschrottet. Es gibt allerdings die Möglichkeit zum Regenerieren der Vollräder, welche aber nur bei grösseren Stückzahlen wirtschaftlich sein kann, da Einrichtung und Know-how sehr spezifisch sind.

Bei thermisch geschädigten Vollrädern mit geradem Radsteg wird die Verschrottung empfohlen, sobald tendenziell eine Vergrösserung des  $A_R$ -Masses oder steigende Eigenspannungswerte festgestellt werden.

### 15.3 Wuchtungsgerechte Paarung von Vollrädern und Wellenbremsscheiben

Unwuchten bei Radsätzen führen zu verschiedenen unerwünschten Effekten und wirken sich negativ auf den Fahrkomfort, die Polygonbildung bei Rädern und Belastung der Bauteile am Radsatz aus. Aus diesem Grund sind die Grenzwerte gemäss Abschnitt 6.6.2.4. einzuhalten oder zu unterschreiten.

Beim Fügen von Radsätzen mit Wellenbremsscheiben sind neben den Radscheiben noch weitere Komponenten mit einer Unwucht vorhanden.

Das wuchtungsgerechte Paaren von Triebradsätzen mit je nach der Bauart stark unterschiedlichen Komponenten ist gemäss den Angaben des Herstellers oder des Halters auszuführen.

### 15.3.1 Paarung von Radsätzen mit Vollrädern

Radsätze mit Vollrädern können in mehreren Konfigurationen gepaart werden:

- a) Unwucht der Radscheiben gleichsinnig.
- b) Unwucht der Radscheiben um 180° phasenverschoben.
- c) Unwucht der Radscheiben in beliebiger Lage zueinander.

Die bevorzugt angewendete bzw. bei Güterwagen-Radsätzen vorgeschriebene Methode ist das gleichsinnige Ausrichten der Unwuchten nach a). Dabei darf die Lage der zulässigen Restunwuchten der beiden Radscheiben um maximal 15° zueinander abweichen.

Mit um 180° phasenverschobenen Unwuchten kann es zwar sein, dass die statische Unwucht beseitigt ist aber der Radsatz durch die bleibende dynamische Unwucht im Betriebseinsatz eher zur Polygonbildung neigt.

Eine Montage der Radscheiben mit beliebiger Unwuchtlage zueinander sollte nicht ausgeführt werden.



Abbildung 15-14: Kennzeichnung der Unwucht und ihrer Lage an der Radscheibe bei der Radnabe

### 15.3.2 Paarung von Radsätzen mit Vollrädern und 2 oder 3 Wellenbremsscheiben

Das wuchtungsgerechte Paaren von Vollrädern und Wellenbremsscheiben wird gemäss nachfolgender Beschreibung empfohlen:

- a) Zwei Wellenbremsscheiben: Montage der Wellenbremsscheiben mit gleich ausgerichteten Unwuchten. Die Radscheiben werden mit ihrer Unwucht um 180° versetzt zur Unwucht der Wellenbremsscheiben montiert. In der Regel ist dann ein dynamisches Auswuchten nicht notwendig, wird aber empfohlen.
- b) Drei Wellenbremsscheiben: Montage der Wellenbremsscheiben mit jeweils um 120° versetzter Unwucht. Die Radscheiben werden mit ihrer Unwucht beliebig dazu montiert aber untereinander gleichgerichtet gemäss Abschnitt 15.3.1 a).

Andere Paarungsmethoden können vom Radsatzhersteller vorgeschrieben werden, insbesondere bei Radsätzen für Geschwindigkeiten grösser 200 km/h und Radsätzen mit Wellenbremsscheiben und Getriebe.

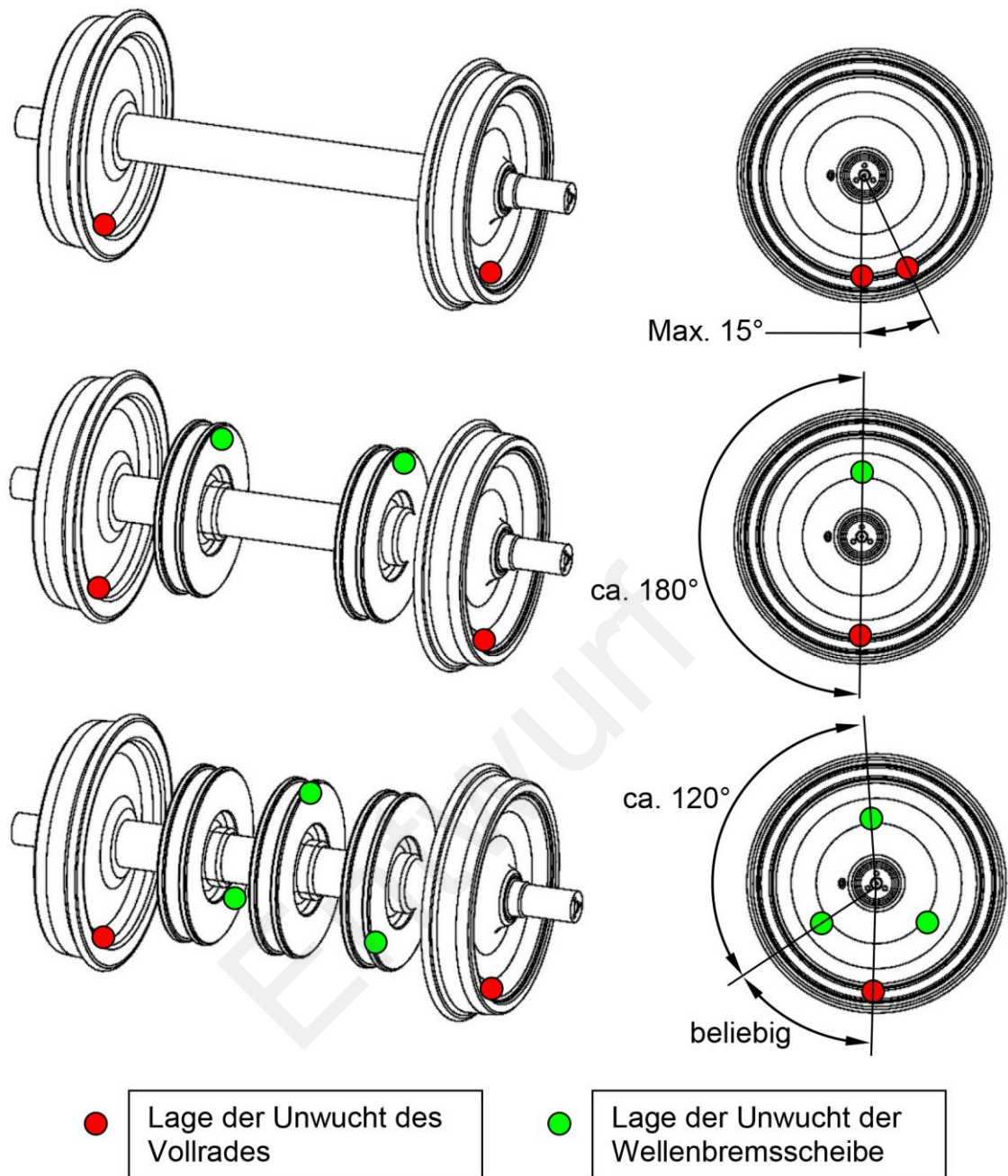


Abbildung 15-15: Wuchtungsgerechte Paarung von Vollrädern und Wellenbremsscheiben



## 16 Literatur

---

Informationen und Textauszüge, zum Teil auch in abgewandelter Form wurden aus nachfolgenden Literaturquellen entnommen:

### 16.1 Literaturquellen

---

Grundsätzlich alle in Kapitel 2 aufgeführten Normen und Regelwerke.

Weitere Literaturquellen:

- Bargel/Schulze: Werkstoffkunde, VDI-Verlag, 1994
- B. Kämpfer u. a: Verschleiss- und Schädigungserscheinungen an Schienenfahrzeugrädern. ZEV/Rail Glasers Annalen 132 (2008) 3
- Weichert, N.: Messtechnik und Messdatenerfassung, Oldenbourg Verlag, 2000
- Wolf, F.: Einsatz von Messsystemen für die Radsatzgeometrie in Fertigung und Instandhaltung, DB Systemtechnik GmbH, 2013
- Diverse Herstellerpublikationen

### 16.2 Weiterführende Literatur

---

Neben den in Kapitel 2 aufgeführten Normen und Regelwerken bieten sich nachfolgend genannte Schriftwerke zur einer Wissensvertiefung im Bereich Radsatz an:

- Railway technical Handbook, SKF Group, 2010
- Wheels for freight cars, Lucchini RS, 2010
- Reliability and Safety in Railway Products, Lucchini RS, 2008
- Structural reliability assessment of railway axles, Lucchini RS, 2011
- Elektrische Triebfahrzeuge Band 1, K. Sachs, Springer-Verlag, 1973
- Laufwerke, Hanneforth/Fischer, Transpress-Verlag, 1986
- Lauf der Schienenfahrzeuge im Gleis, Hans-Ludwig Krugman, Oldenbourg Verlag, 1982
- Deuce, R.: Schäden an Radlaufflächen - Ein Leitfaden, Bombardier 2007

## 16.3 Abbildungsnachweis

---

Alle Bilder, Zeichnungen und Skizzen, sofern nicht nachfolgend erwähnt, sind durch die Mitglieder der Arbeitsgruppe R RTE 41000 erstellt worden.

|                 |                                                                         |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Abbildung 6-1:  | Auszug aus Zeichnung DB Fwg665.0.02.001.001                             |
| Abbildung 6-2:  | Auszug aus Zeichnung BV 1RW8491.201-C                                   |
| Abbildung 6-3:  | Auszug aus Zeichnung BV 1RW9385.303-A                                   |
| Abbildung 6-4:  | Auszug aus Zeichnung SWS 1-602 021                                      |
| Abbildung 6-5:  | Auszug aus Zeichnung BLS Bö 22778                                       |
| Abbildung 6-6:  | Auszug aus Zeichnung BLS MI 13344                                       |
| Abbildung 6-7:  | Auszug aus Zeichnung BV 2RW 8491.405                                    |
| Abbildung 6-8:  | Auszug aus Zeichnung SBB ZfW 411.00.455.2                               |
| Abbildung 6-9:  | Auszug aus Zeichnung VSG 2RW 7375.406.03                                |
| Abbildung 6-10: | Auszug aus Zeichnung STAG 11.0.182.0                                    |
| Abbildung 6-11: | Auszug aus Zeichnung BV 2RW 7226.401.03                                 |
| Abbildung 6-12: | Aus Sachs: Elektrische Triebfahrzeuge<br>(Zeichnung VSG 1RW7439.101.02) |
| Abbildung 6-13: | Aus Sachs: Elektrische Triebfahrzeuge                                   |
| Abbildung 6-15: | Auszug aus Zeichnung FAG Z-578693                                       |
| Abbildung 6-16: | Auszug aus Zeichnung SKF 1-040-381                                      |
| Abbildung 6-17: | Auszug aus Zeichnung SIG 602 234                                        |
| Abbildung 6-18: | Auszug aus historischer SBB-Zeichnung                                   |
| Abbildung 6-19: | Auszug aus Zeichnung Knorr 1C64306/1                                    |
| Abbildung 6-20: | Auszug aus Zeichnung Knorr C60060-1                                     |
| Abbildung 6-21: | Auszug aus Zeichnung KoviS 1-05-07-00                                   |
| Abbildung 6-22: | Auszug aus Zeichnung BV 2RW 7922.407                                    |
| Abbildung 6-23: | Auszug aus Zeichnung STAG BU_1235633                                    |
| Abbildung 6-24: | Auszug aus Zeichnung SWS 7-602 005                                      |
| Abbildung 6-25: | Auszug aus Zeichnung SLM 0-802.022.756                                  |
| Abbildung 6-26: | Auszug aus Zeichnung SLM 10-102895                                      |
| Abbildung 6-27: | Auszug aus Zeichnung ADtranz 3EGK 483 111 A 0100                        |
| Abbildung 6-28: | Auszug aus Zeichnung SWS 602 132                                        |
| Abbildung 6-29: | Auszug aus Zeichnung Tibram 1-11-0100 Typ EB-5                          |

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| Abbildung 6-30:    | Auszug aus Zeichnung SBB ZfW 411-10-283-1            |
| Abschnitt 6.6.2.9: | div. Abb.: aus EVIC-Prüfanweisung                    |
| Abbildung 7-3:     | Aus Bargel/Schulze: Werkstoffkunde                   |
| Abbildung 9-2:     | Aus Sachs: Elektrische Triebfahrzeuge Abschnitt 3.13 |
| Abbildung 12-5:    | Auszug aus VPI 04 (VPI-Leitfaden)                    |
| Abbildung 14-21:   | Herstellerpublikation                                |
| Abbildung 14-23:   | z.T. Herstellerpublikation                           |
| Abbildung 14-24:   | z.T. Herstellerpublikation                           |
| Abbildung 14-25:   | z.T. Herstellerpublikation                           |
| Abbildung 14-30:   | Herstellerpublikation                                |
| Abbildung 14-35:   | Herstellerpublikation                                |
| Abbildung 14-42:   | Alstom Schienenfahrzeuge AG, Neuhausen am Rheinfall  |
| Abbildung 14-43:   | Alstom Schienenfahrzeuge AG, Neuhausen am Rheinfall  |
| Abbildung 14-44:   | Herstellerpublikation                                |
| Abbildung 15-12:   | Auszug aus Zeichnung SBB ZfW 411.00.455.2            |
| Abbildung 15-13:   | Auszug aus Zeichnung VSG 2RW 7375.406.03             |
| Abbildung A1-11:   | Auszug aus Zeichnung DB 3Fwg 000.02.002.003          |
| Abbildung A1-12:   | Auszug aus Zeichnung Matisa MR 10443.0               |
| Abbildung A1-13:   | Auszug aus Zeichnung Plasser UD 00.1035              |
| Abbildung A3-1:    | Auszug aus Publikation von Bombardier                |

## Anhang A1 – A3 (Allgemein)

### A1 Zeichnungen von Radprofilen

---

#### Übersicht der Zeichnungen von Radprofilen:

---

**A1.1** Radprofil SBB 28-2

---

**A1.2** Radprofil SBB 28-2 Reduktion I

---

**A1.3** Radprofil SBB 28-2 Reduktion II

---

**A1.4** Radprofil SBB 28-2 Reduktion III

---

**A1.5** Radprofil SBB 28-2 Reduktion IV

---

**A1.6** Radprofil SBB 28-3

---

**A1.7** Radprofil SBB 30-2

---

**A1.8** Radprofil SBB 30-3

---

**A1.9** Radprofil SBB 32-3

---

**A1.10** Radprofil VSG RN 02.058

---

**A1.11** Radprofil DB 60°/4020

---

**A1.12** Radprofil Matisa MR 10443.0

---

**A1.13** Radprofil Plasser UD00.1035

---

### A1.1 Radprofil SBB 28-2

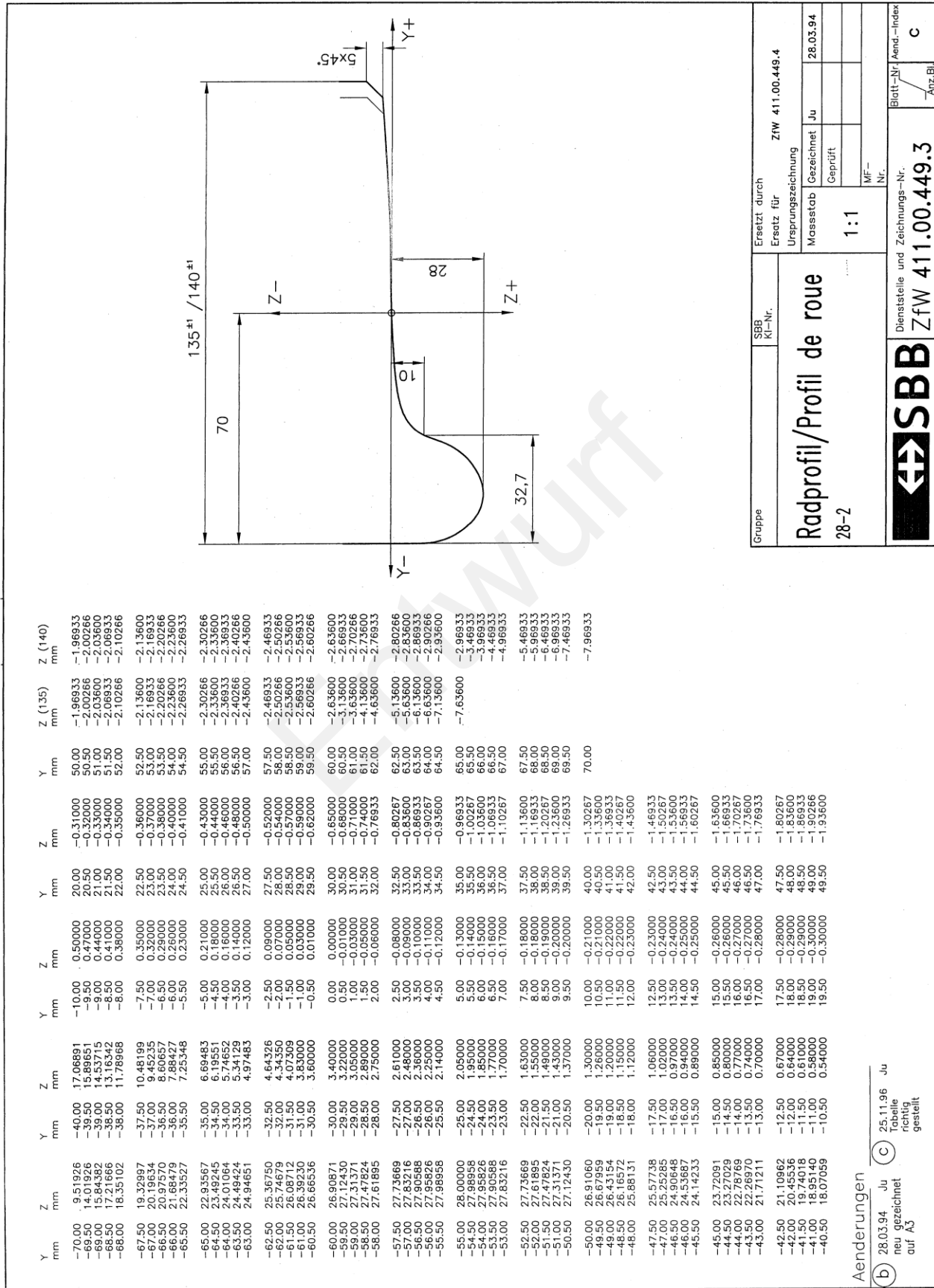


Abbildung A1-1: Radprofil SBB 28-2



## A1.2 Radprofil SBB 28-2 Reduktion I

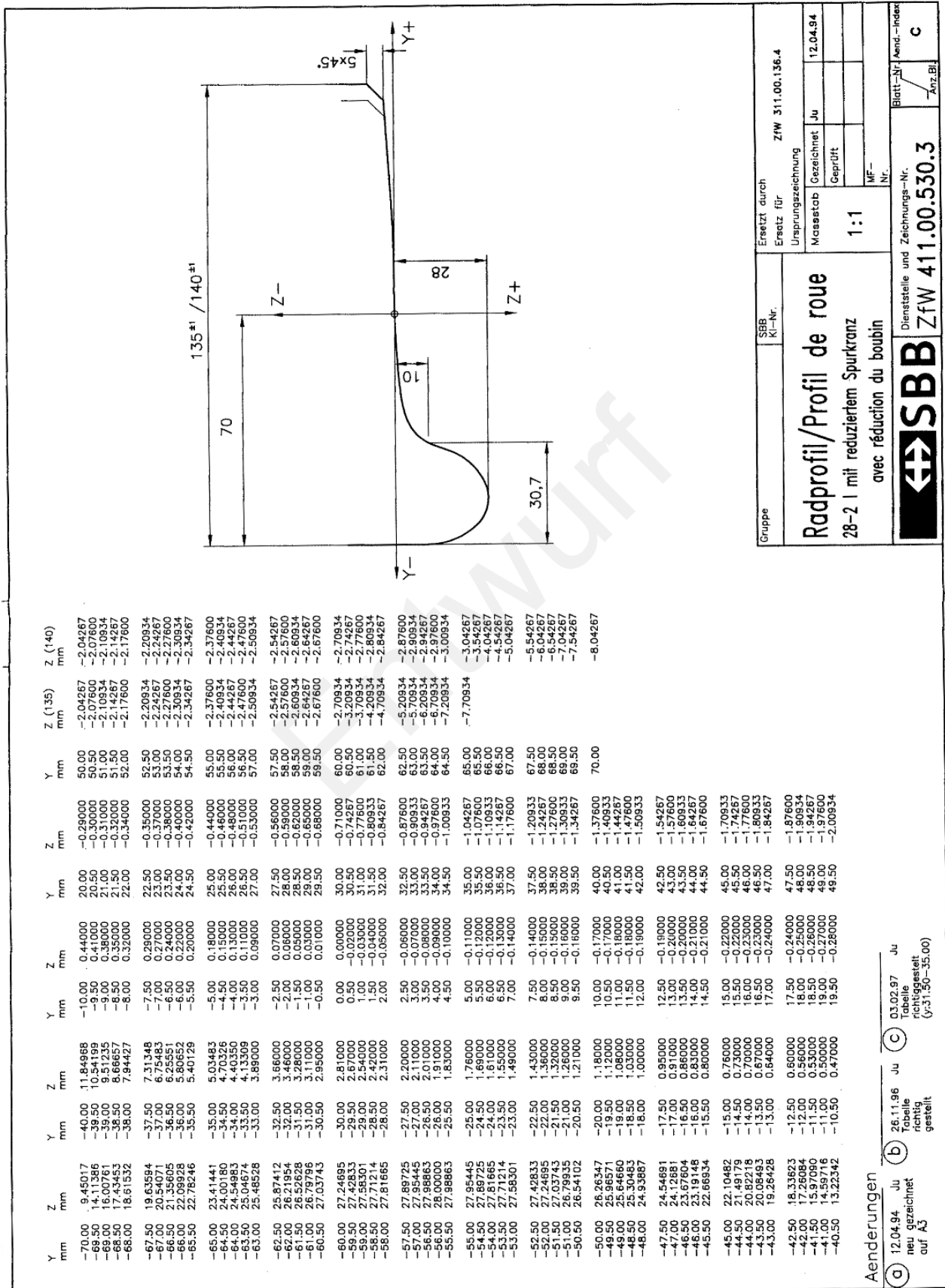


Abbildung A1-2: Radprofil SBB 28-2 Reduktion I

### A1.3 Radprofil SBB 28-2 Reduktion II

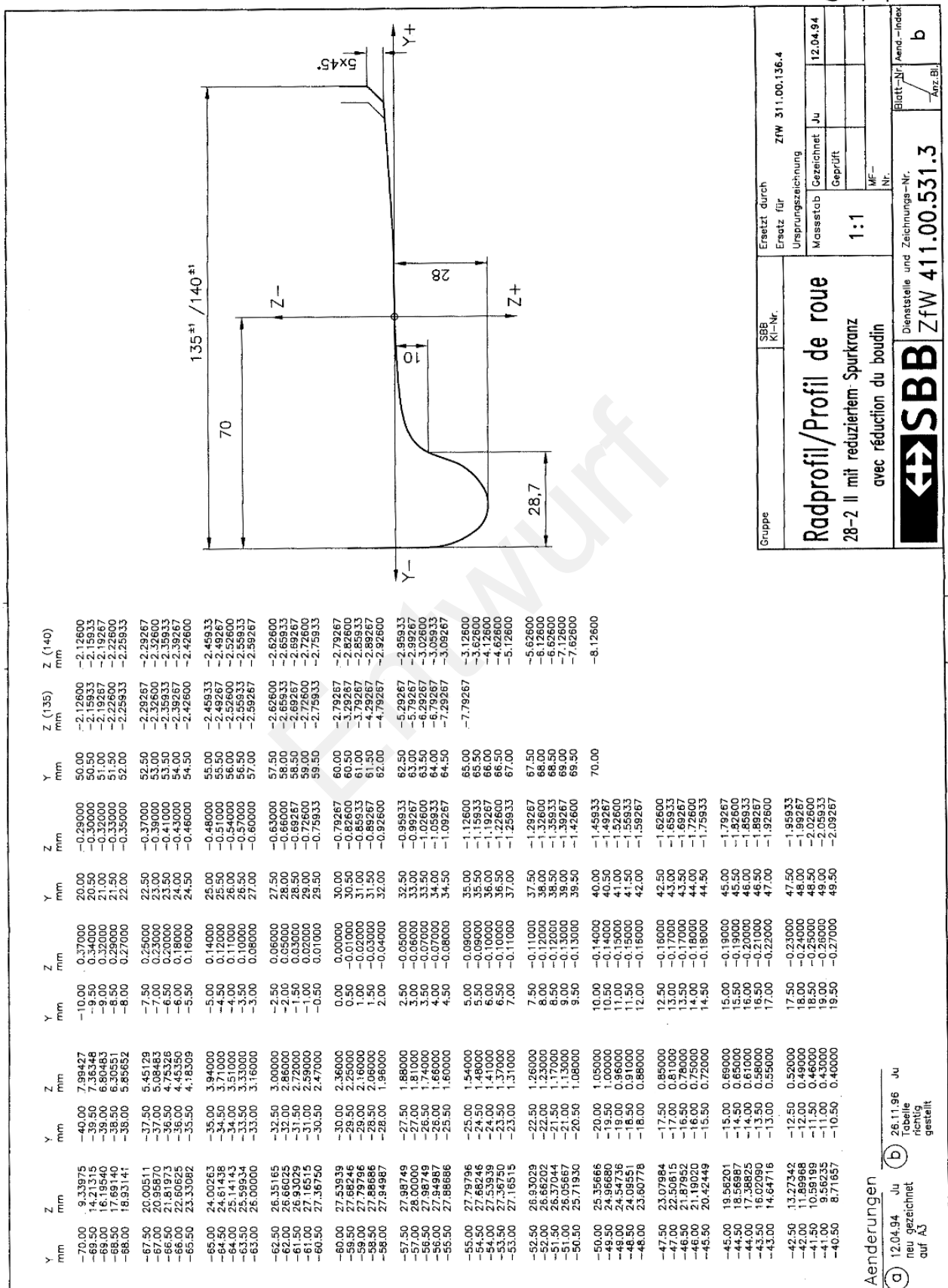


Abbildung A1-3: Radprofil SBB 28-2 Reduktion II

### A1.4 Radprofil SBB 28-2 Reduktion III

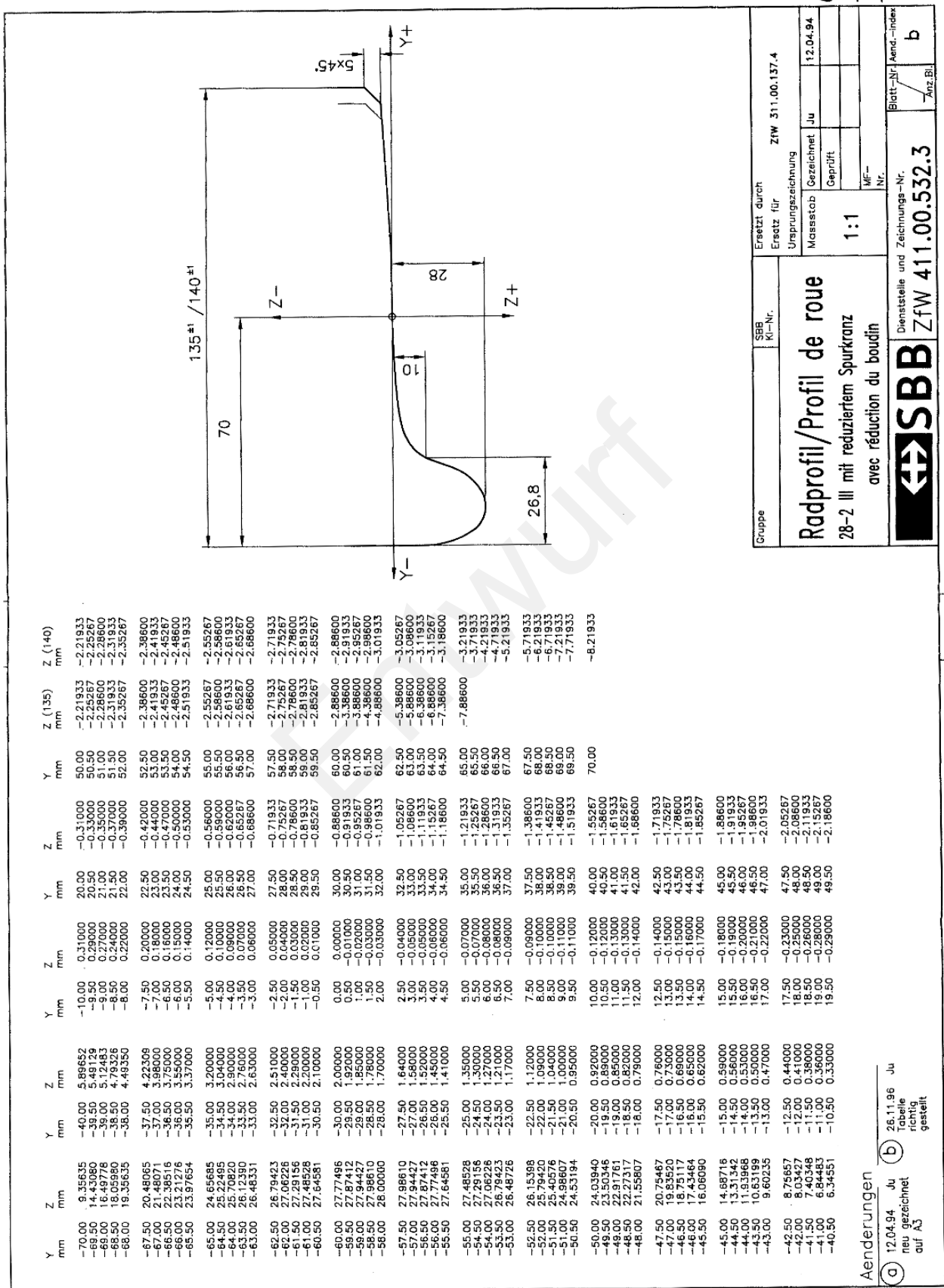


Abbildung A1-4: Radprofil SBB 28-2 Reduktion III



### A1.5 Radprofil SBB 28-2 Reduktion IV

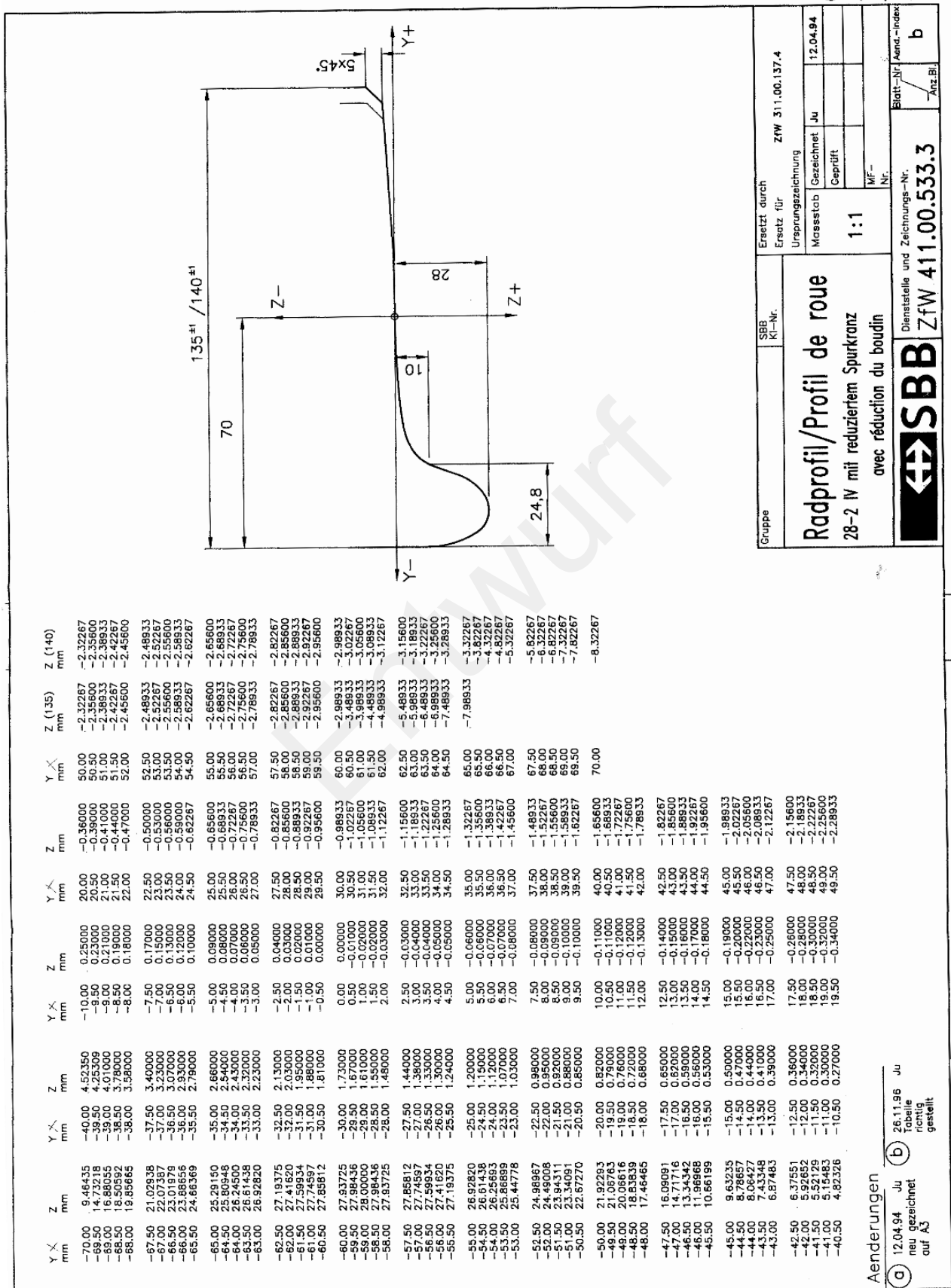


Abbildung A1-5: Radprofil SBB 28-2 Reduktion IV

Abbildung A1-6: Radprofil SBB 28-3

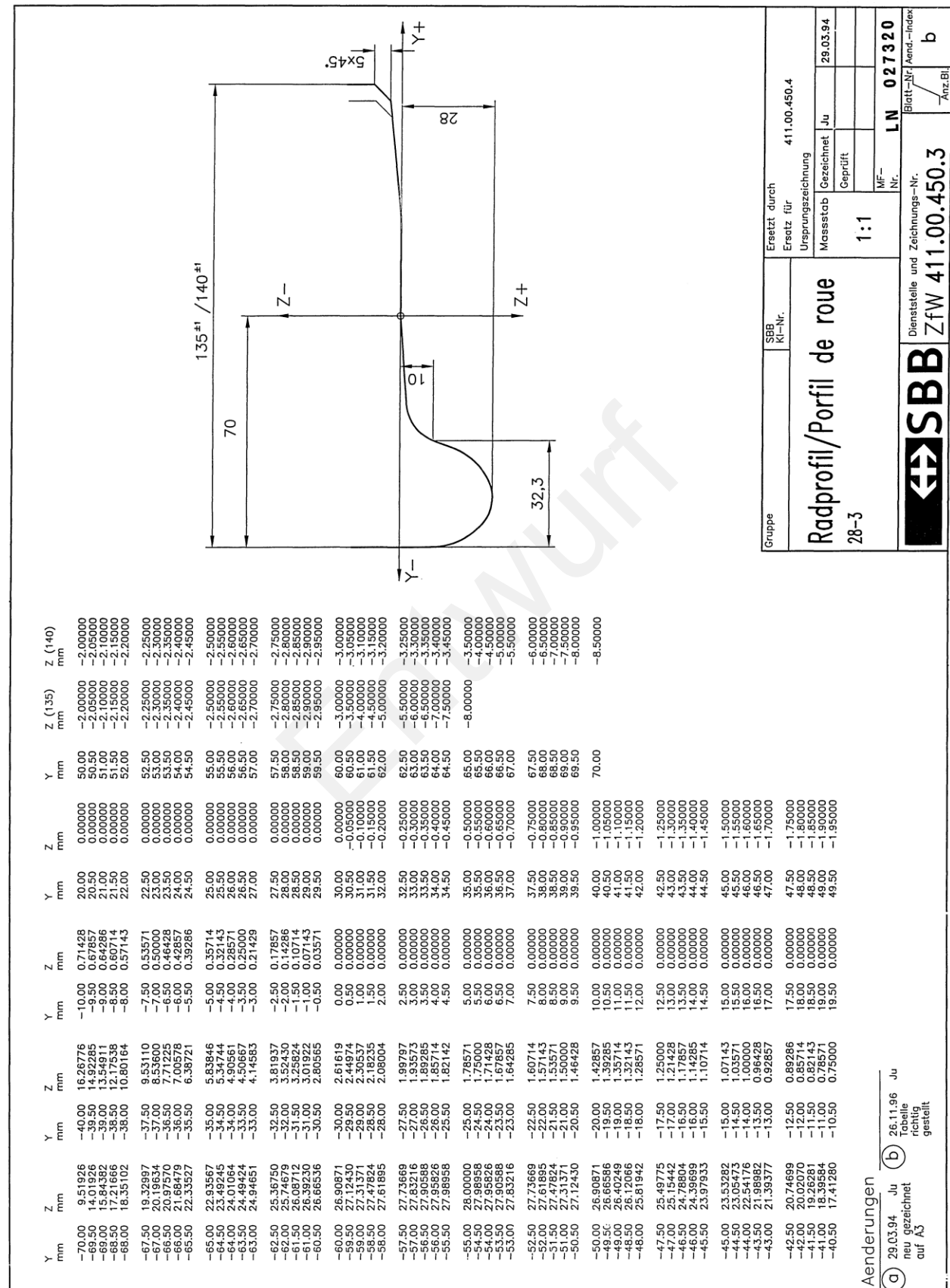


Abbildung A1-6: Radprofil SBB 28-3



## A1.7 Radprofil SBB 30-2

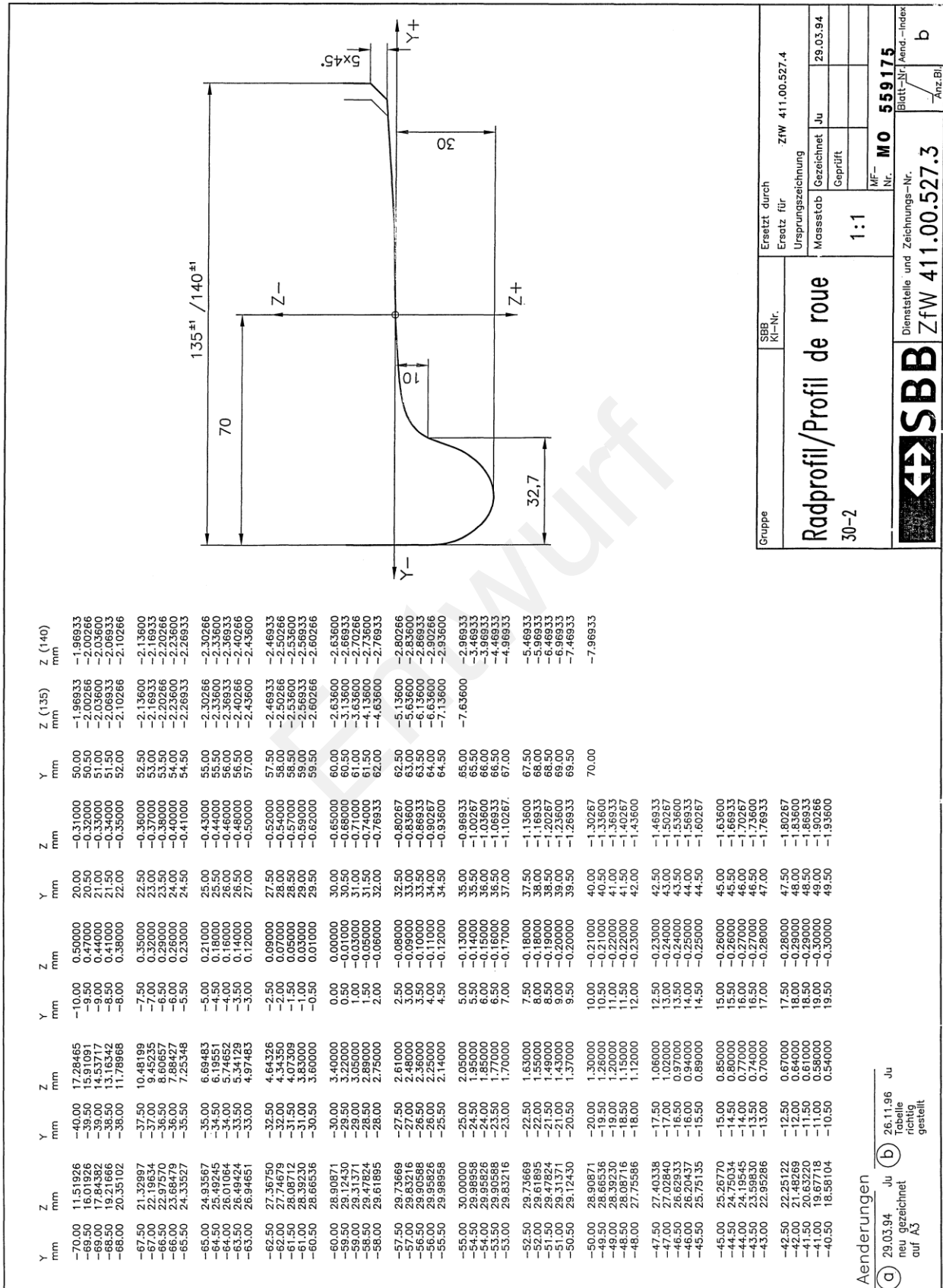


Abbildung A1-7: Radprofil SBB 30-2

## A1.8 Radprofil SBB 30-3

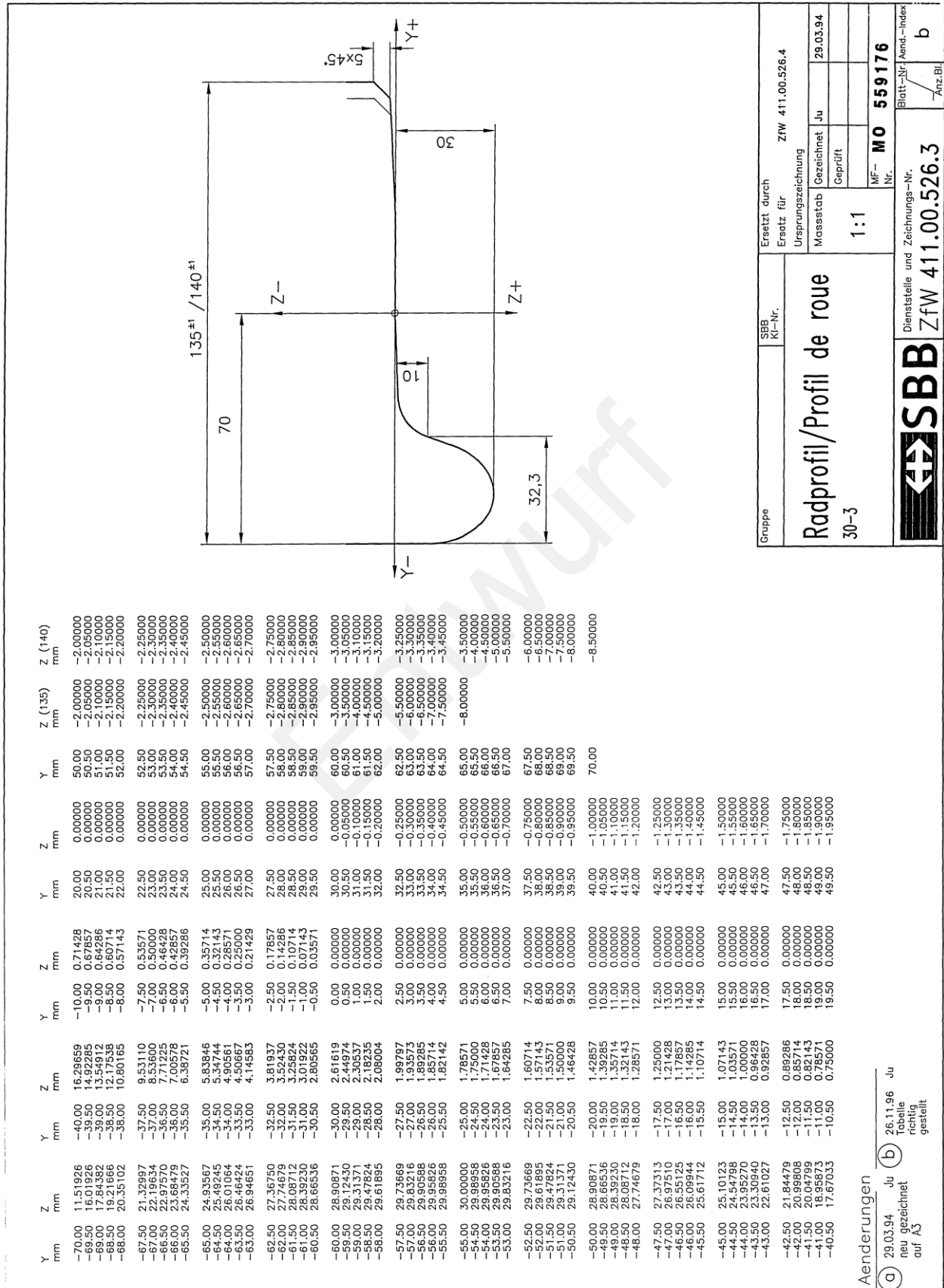


Abbildung A1-8: Radprofil SBB 30-3





### A1.10 Radprofil VSG RN02.058

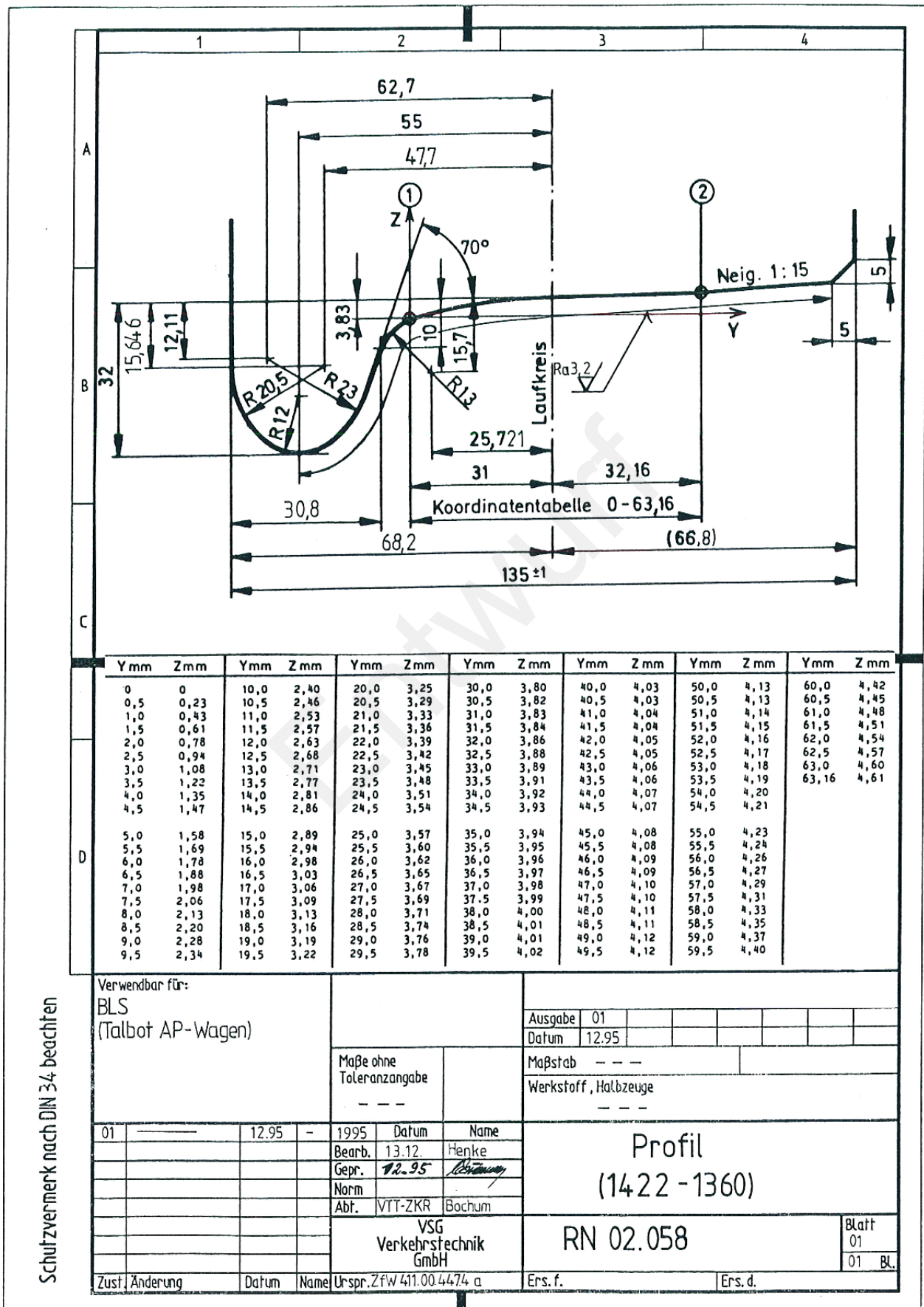


Abbildung A1-10: Radprofil VSG RN02.058

### **A1.11 Radprofil DB 60°/4020**

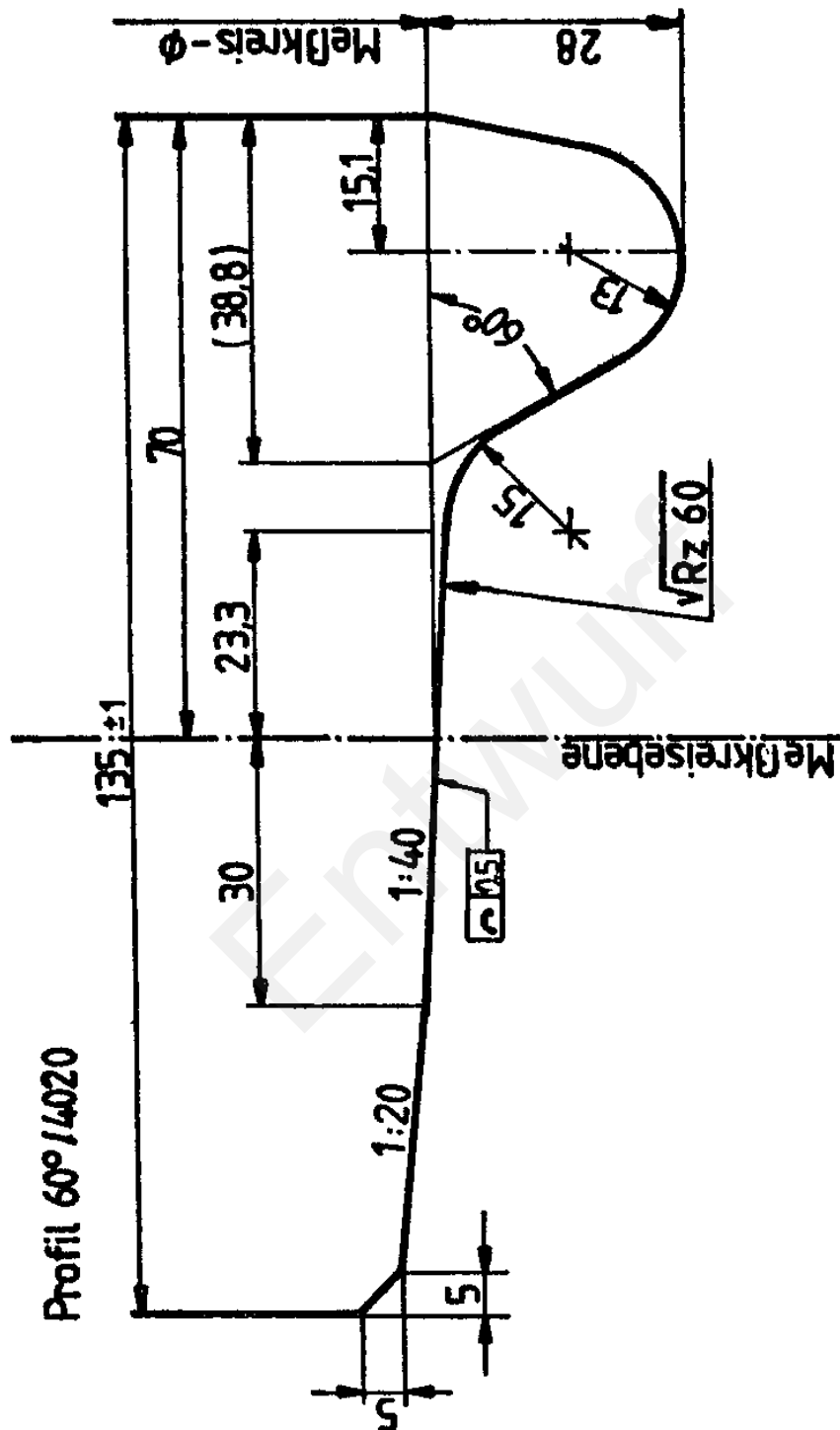


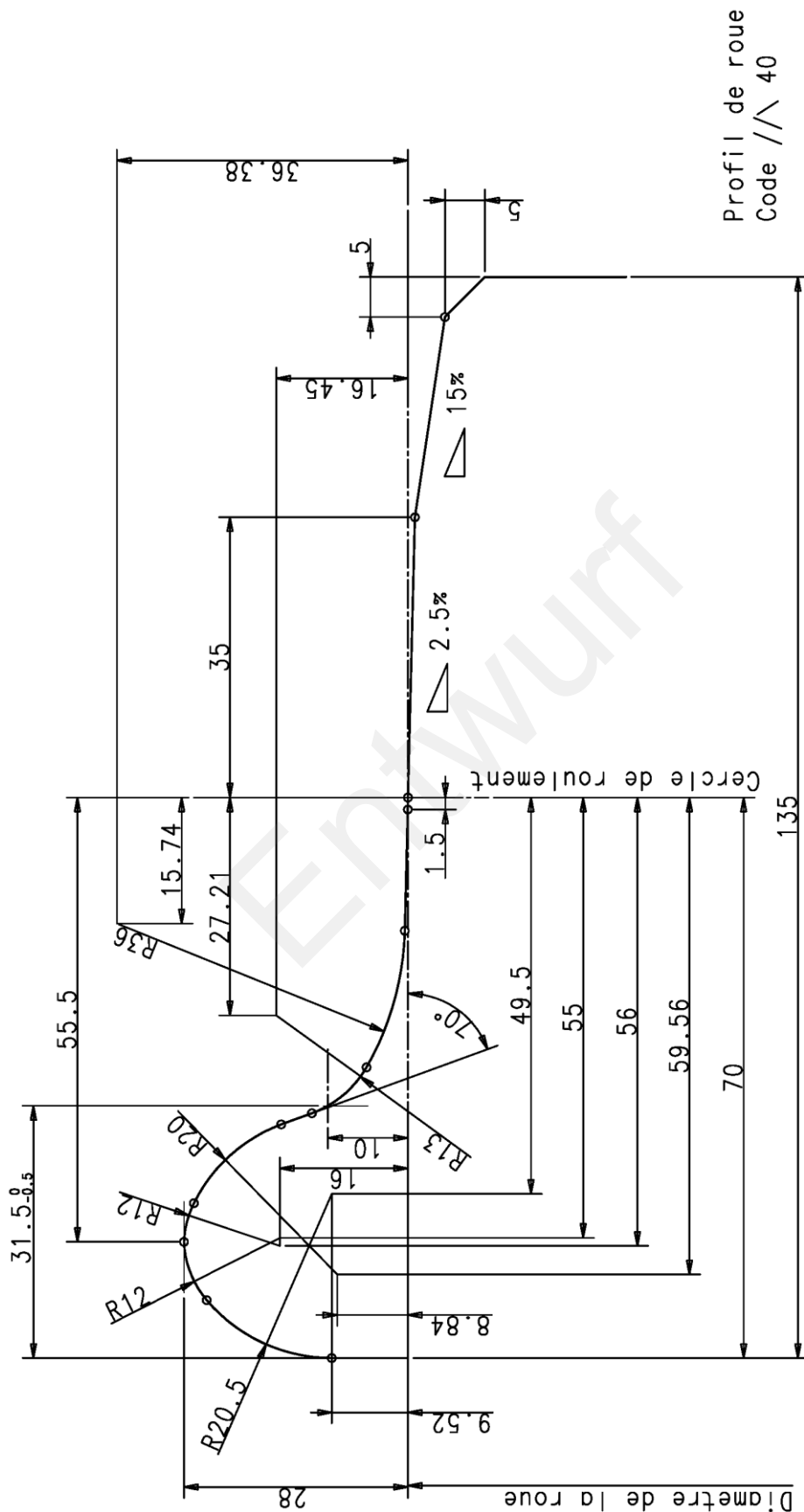
Abbildung A1-11: Radprofil DB 60°/4020

Legende zu Abbildung A1-11:

| Profil-Form | Lfd. Nr. | Verwendungszweck der Radsätze für                                                                                                           |
|-------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 60°/4020    | 5        | Reisezugwagen mit Drehgestell BA MD 36 ohne Schlingerdämpfer für $v > 160$ km/h und Reisezugwagen mit Drehgestell BAGörlitz $v > 120$ km/h. |



## A1.12 Radprofil Matisa MR 10443.0



Profil dérivé du profil 1/40 de référence, conforme à la norme EN 13715, avec un boudin d'épaisseur 31.5 et d'une contre pente de 15%

Abbildung A1-12: Radprofil Matisa MR 10443.0, SN EN 13715 - 1/40 / 31.5 / 15%; Raddurchmesser > 760 mm

## A1.13 Radprofil Plasser UD00.1035

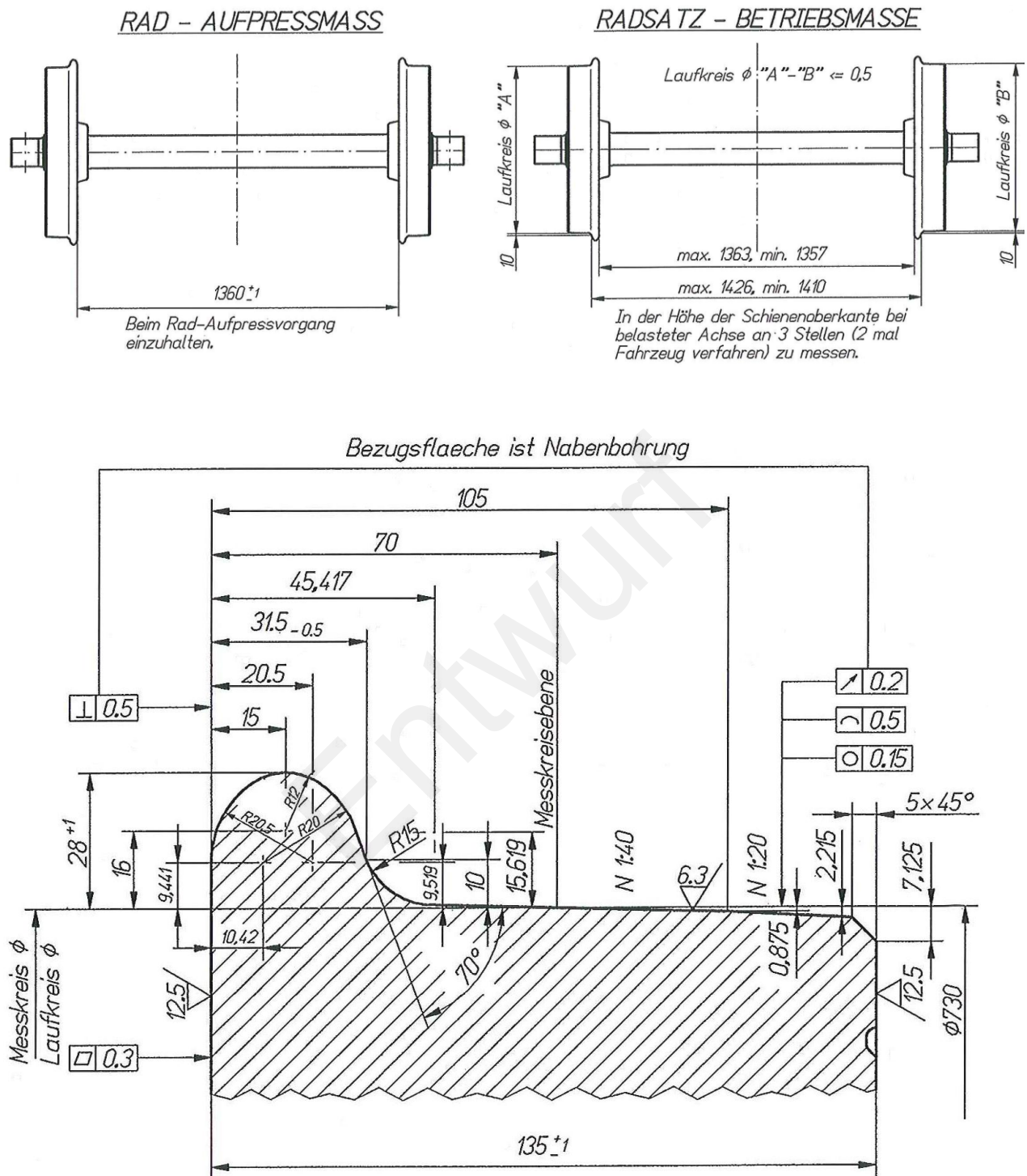


Abbildung A1-13: Radreifenprofil Plasser, Raddurchmesser > 840 mm

Legende zu Abbildung A1-13:

|                                            |                        |
|--------------------------------------------|------------------------|
| Statische Unwucht                          | Rad: $\leq 50$ gm      |
|                                            | Radsatz: $\leq 125$ gm |
| Nur wenn von Bahnverwaltung vorgeschrieben |                        |

## **A2 Zeichnungen von mechanischen Messgeräten**

---

### **Übersicht der Zeichnungen von mechanischen Messgeräten:**

---

**A2.1** Spurkranzmesslehre

---

**A2.2**  $q_R$ -Mass-Lehre

---

**A2.3** Hohllauflehre

---

**A2.4** Lehre Radkranzbreite

---

Entwurf

## A2.1 Spurkranzmesslehre

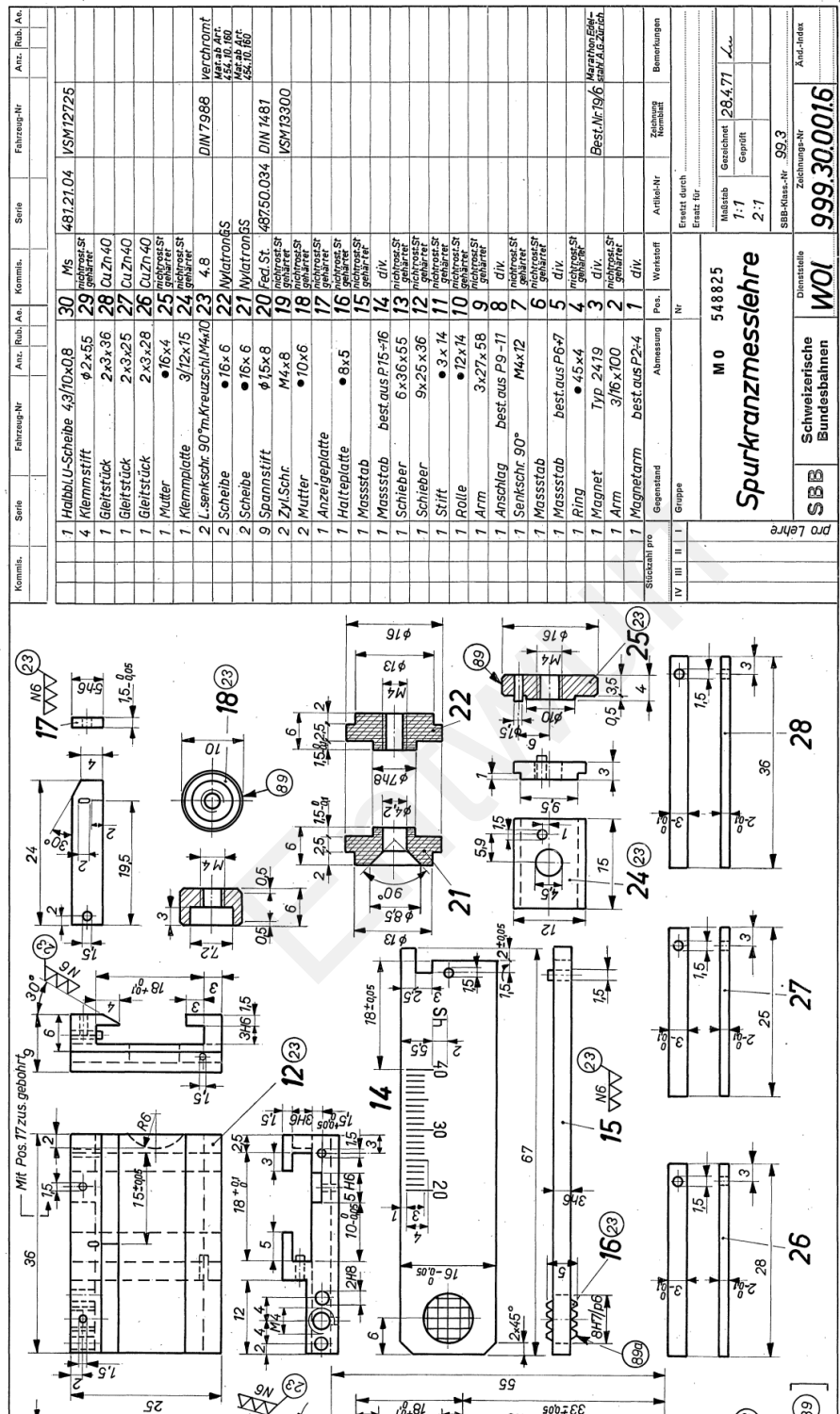


Abbildung A2-1: Spurkranzmesslehre, Teil 1

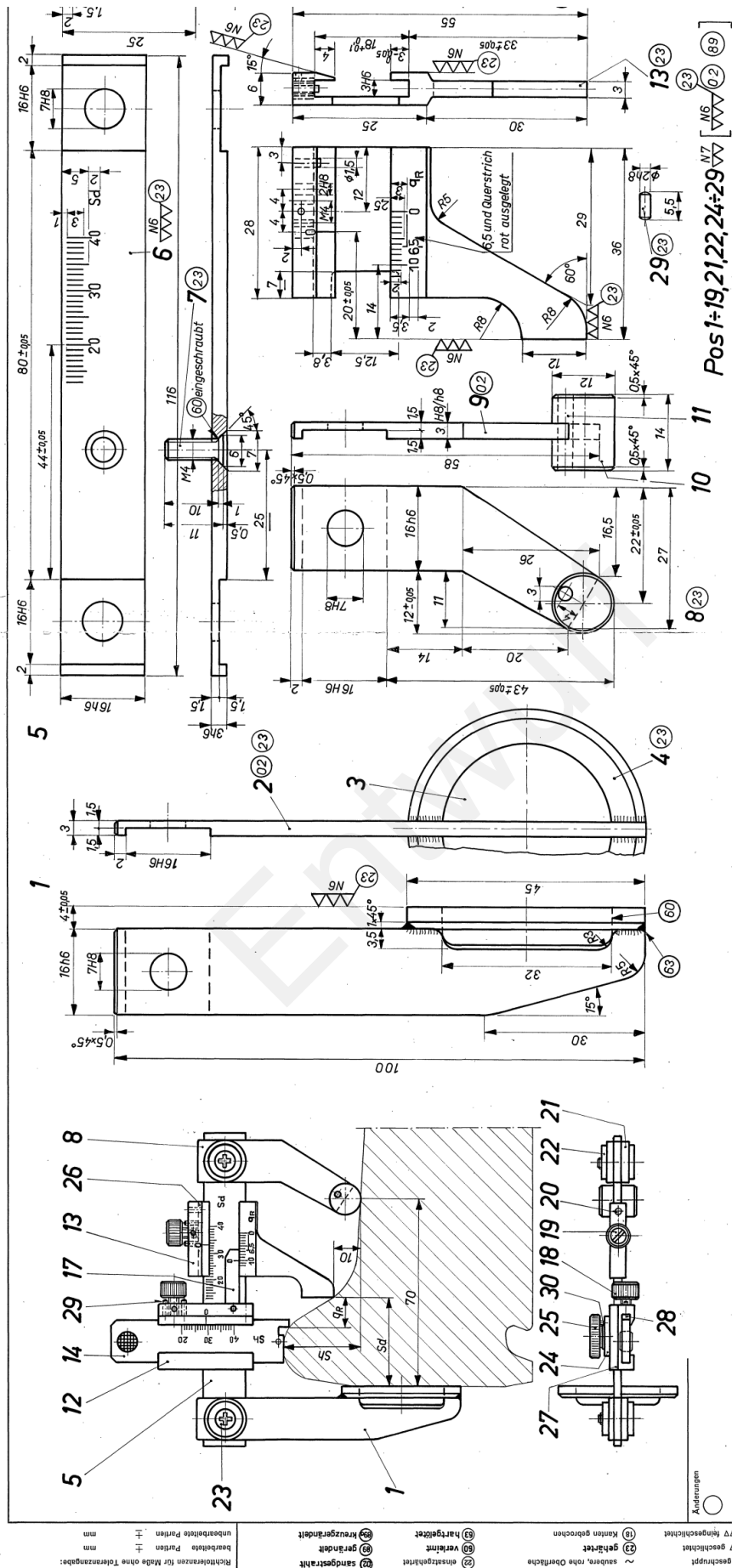


Abbildung A2-2: Spurkranzmesslehre, Teil 2



## A2.2 q<sub>R</sub>-Mass-Lehre

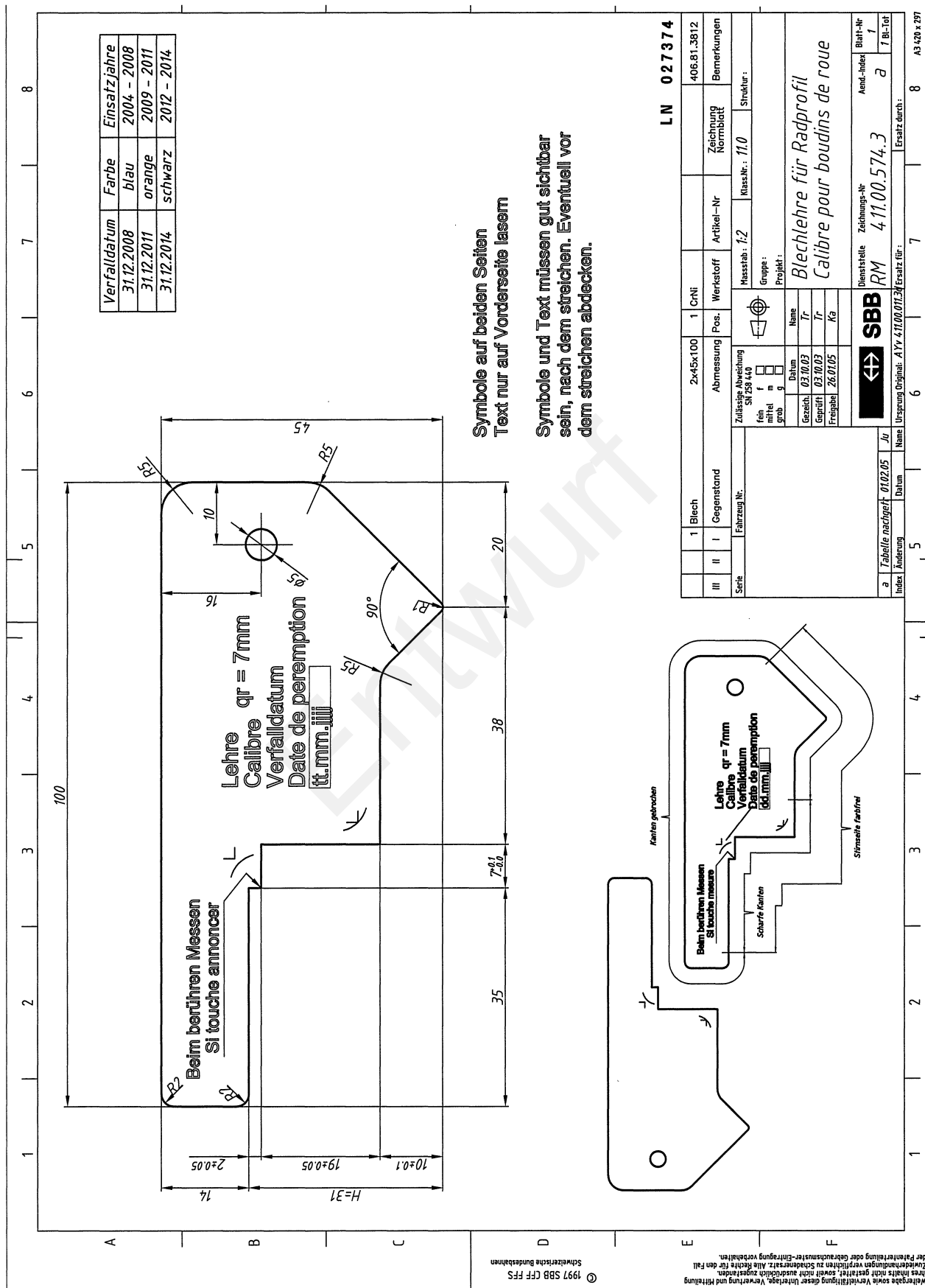
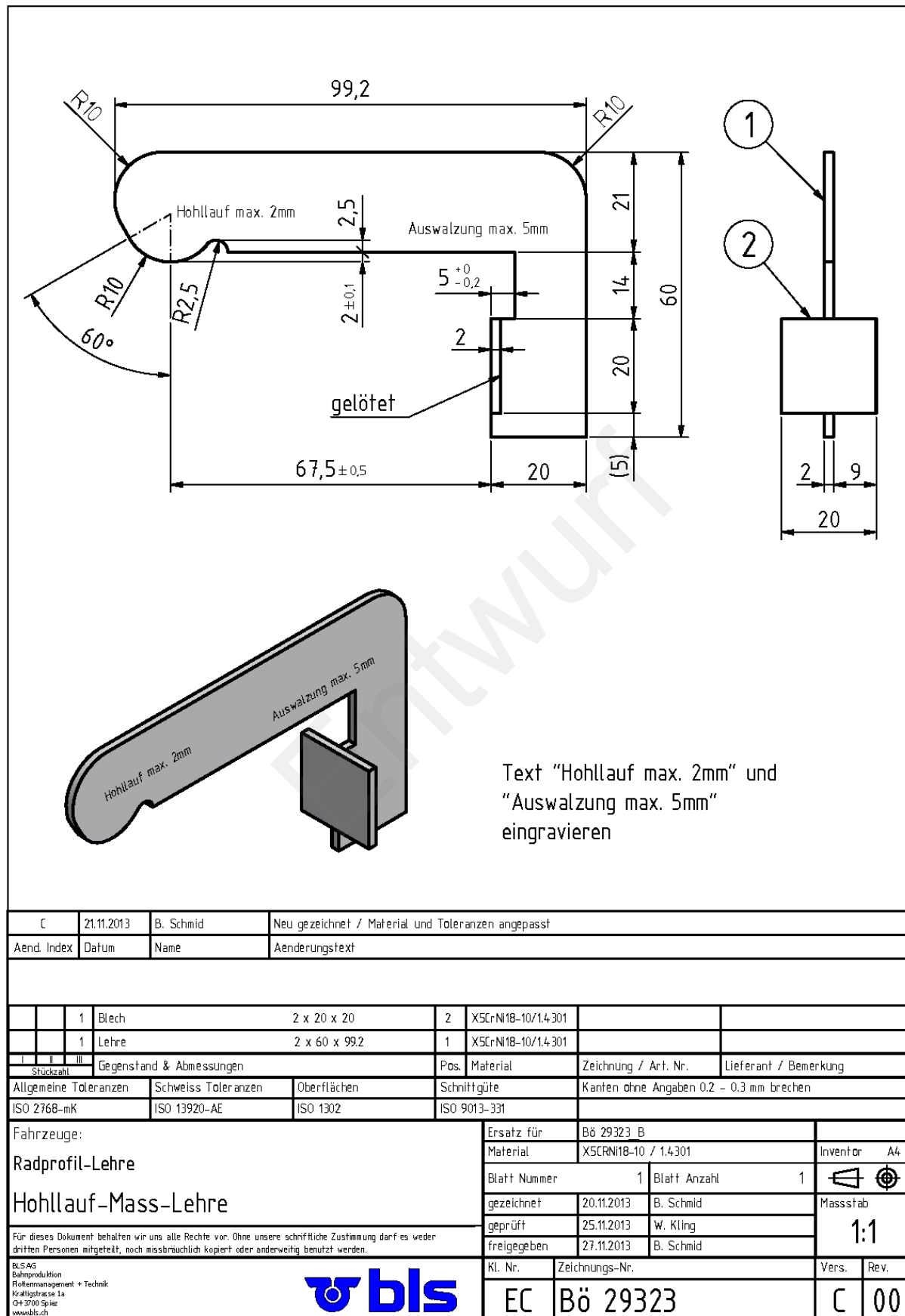


Abbildung A2-3: q<sub>R</sub>-Mass-Lehre

### A2.3 Hohlauflehre



### Abbildung A2-4: Hohllauflehre



## A3 Ursachenkatalog Profildrehen

Das Aufdrehen eines Radprofils auf Radsätze erfolgt aus verschiedenen Gründen. Die Angabe des oder der Gründe, warum das Profil neu aufgedreht werden musste kann oft helfen, Schadensmechanismen zu erkennen und Massnahmen dagegen einzuleiten.

Eine Auflistung der möglichen Ursachen ist nachfolgend angegeben. Diese werden vorzugsweise codiert (numerisch oder alphanumerisch) auf den Bearbeitungsrapporten angegeben. Damit ist eine statistische Auswertung der Ursachen möglich.

Zur besseren Übersicht wird in fünf Grundursachen unterteilt:

- **Lauffläche:** Unter diesem Bereich laufen alle Schäden auf der Lauffläche, insbesondere Materialschädigungen
- **Radprofil:** Dieser Block beinhaltet alle Überschreitungen geometrischer Grenzwerte am Radprofil
- **Raddurchmesser:** Hier werden als Ursachen die Abweichung vom geforderten Raddurchmesser und der Rundheitsform aufgeführt
- **Produktion:** Beinhaltet alle bei der Radsatzproduktion notwendigen Gründe zur Reprofilierung
- **Besonderheiten:** Unter diesen Bereich fallen alle sonstigen Gründe wie z.B. das Aufdrehen von Versuchsprofilen

Um bei den Laufflächenschäden eine gute Übersicht zu erhalten soll der Ort des Auftretens bei RCF-Rissen und Ausbröckelungen angegeben werden. Dazu wird die Lauffläche in vier Zonen gemäss Abbildung A3-1 eingeteilt. Die Angabe der Zone ist notwendig, um die Entstehung der Fehler besser deuten zu können.

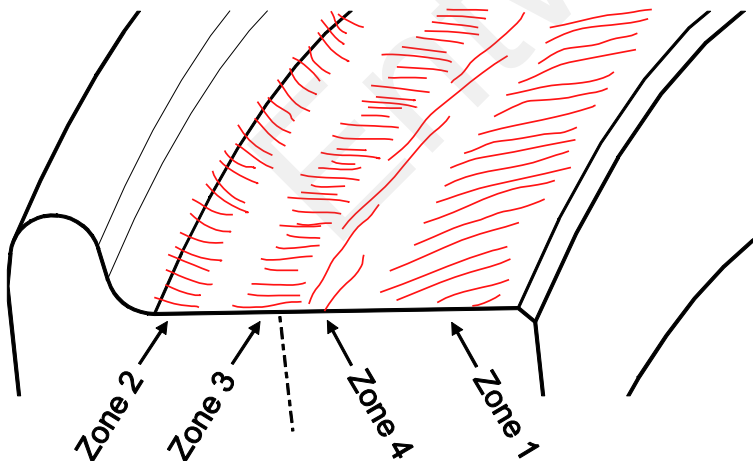


Abbildung A3-1: Schädigungszonen auf der Lauffläche bei Rollkontaktermüdung (RCF)

Die den Grundursachen zugeordneten Einzelgründe werden mit einer Bezeichnung benannt, gefolgt von einem dreistelligen numerischen Code (Zahlen) und einem zwei- bis vierstelligen alphanumerischen Code (Buchstaben) sowie einem Verweis auf das entsprechende Kapitel, in dem der Fehler näher beschrieben wird.

Bei der Verwendung des Codes ist der Anwender frei in der Wahl der Codearten (Zahl oder Buchstaben).

Bei Systemen, die nur einen Bearbeitungsgrund erfassen können ist stets die dominante Ursache anzugeben.

| 1. Lauffläche                             |    |      |           |
|-------------------------------------------|----|------|-----------|
| Bezeichnung                               |    | Code | Abschnitt |
| Flachstellen/verschliffen                 | 10 | FST  | 6.6.2.5   |
| Materialauftragung                        | 11 | MATA | 6.6.2.5   |
| Umlaufende Rillen auf der Lauffläche      | 12 | RLF  | 6.6.2.8.4 |
| Schlupfband/Gleitstellen                  | 13 | SLP  | 6.6.2.8.2 |
| Krötenhaut                                | 14 | KTN  | 6.6.2.8.1 |
| Risse (RCF) Zone 1                        | 15 | RCF1 | 6.6.2.8.1 |
| Risse (RCF) Zone 2                        | 16 | RCF2 | 6.6.2.8.1 |
| Risse (RCF) Zone 3                        | 17 | RCF3 | 6.6.2.8.1 |
| Risse (RCF) Zone 4                        | 18 | RCF4 | 6.6.2.8.1 |
| Ausbröckelungen umlaufend Zone 1          | 19 | ABR1 | 6.6.2.6   |
| Ausbröckelungen umlaufend Zone 2          | 20 | ABR2 | 6.6.2.6   |
| Ausbröckelungen umlaufend Zone 3          | 21 | ABR3 | 6.6.2.6   |
| Ausbröckelungen umlaufend Zone 4          | 22 | ABR4 | 6.6.2.6   |
| Ausbröckelungen lokal                     | 23 | ABRL | 6.6.2.6   |
| Eindrücke/Einprägungen auf der Lauffläche | 24 | ELF  | 6.6.2.8.2 |

Abbildung A3-2: Ursachenkatalog; 1. Lauffläche



| 2. Radprofil                     |    |      |           |
|----------------------------------|----|------|-----------|
| Bezeichnung                      |    | Code | Abschnitt |
| Spurkranzhöhe <b>Sh</b>          | 30 | SH   | 6.6.1.1   |
| Spurkranzdicke <b>Sd</b>         | 31 | SD   | 6.6.1.2   |
| <b>q<sub>R</sub></b> -Mass       | 32 | QR   | 6.6.1.3   |
| Spurmass <b>S<sub>R</sub></b>    | 33 | SR   | 6.6.1.6   |
| <b>Auswalzung</b>                | 34 | AW   | 6.6.1.4   |
| <b>Hohllauf</b>                  | 35 | HL   | 6.6.1.5   |
| <b>Spurkranz mit Gratbildung</b> | 36 | SG   | 6.6.2.7   |

Abbildung A3-3: Ursachenkatalog; 2. Radprofil

| 3. Raddurchmesser                                                      |    |      |           |
|------------------------------------------------------------------------|----|------|-----------|
| Bezeichnung                                                            |    | Code | Abschnitt |
| <b>Angleich Raddurchmesser an anderen Radsatz im Fahrwerk/Fahrzeug</b> | 40 | ARDF | 6.6.2.3   |
| <b>Durchmesserdiffereenz Rechts - Links</b>                            | 41 | DDRL | 6.6.2.3   |
| <b>Polygonbildung</b>                                                  | 42 | POLY | 6.6.2.1   |
| <b>Unrundheit</b>                                                      | 43 | UNRD | 6.6.2.1   |
| <b>Singuläre Abplattung</b>                                            | 44 | SIAB | 6.6.2.8.5 |

Abbildung A3-4: Ursachenkatalog; 3. Raddurchmesser

| 4. Produktion                         |    |      |           |
|---------------------------------------|----|------|-----------|
| Bezeichnung                           |    | Code | Abschnitt |
| Neue <b>Voll</b> räder                | 50 | NVR  | –         |
| Neue <b>Rad</b> reifen                | 51 | NRD  | –         |
| <b>Wellenzentrum</b> nachgedreht      | 52 | WZN  | –         |
| <b>Gebrauchte Voll</b> räder montiert | 53 | GVRM | –         |

Abbildung A3-5: Ursachenkatalog; 4. Produktion

| 5. Besonderheiten                                         |    |      |           |
|-----------------------------------------------------------|----|------|-----------|
| Bezeichnung                                               |    | Code | Abschnitt |
| <b>Präventives Repro</b> filieren                         | 60 | PRAR | –         |
| <b>Laufleistungsabhängiges Repro</b> filieren             | 61 | LLR  | –         |
| Aufdrehen von <b>Versuchs</b> profil                      | 62 | VPR  | –         |
| Material <b>ab</b> trag zur <b>Durchmesser</b> bestimmung | 63 | ADM  | –         |
| <b>Ä</b> nderung des <b>Rad</b> profils                   | 64 | AERP | –         |
| <b>UT</b> -Anzeige                                        | 65 | UTA  | –         |
| Material <b>ab</b> tragung zur <b>UT</b> -Prüfung         | 66 | MAUT | –         |
| <b>Fremdeinflüsse</b> (Schotterflug, etc.)                | 67 | FEF  | –         |

Abbildung A3-6: Ursachenkatalog; 5. Besonderheiten