

**DIN EN 13979-1**

ICS 45.040

Ersatz für  
DIN EN 13979-1:2011-06

**Bahnanwendungen –  
Radsätze und Drehgestelle –  
Vollräder – Technische Zulassungsverfahren –  
Teil 1: Geschmiedete und gewalzte Räder;  
Deutsche Fassung EN 13979-1:2020**

Railway applications –  
Wheelsets and bogies –  
Monobloc wheels – Technical approval procedure –  
Part 1: Forged and rolled wheels;  
German version EN 13979-1:2020

Applications ferroviaires –  
Essieux montés et bogies –  
Roues monobloc – Procédure d'homologation technique –  
Partie 1: Roues forgées et laminées;  
Version allemande EN 13979-1:2020

Gesamtumfang 66 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)  
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 13979-1:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 087-00-02 AA „Fahrwerke“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

Dieses Dokument beruht auf der Grundlage einer französischen Referenzfassung.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## **Änderungen**

Gegenüber DIN EN 13979-1:2011-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Die Norm wurde technisch und redaktionell überarbeitet;
- b) Abschnitt 3 „Begriffe“ neu aufgenommen;
- c) Abschnitt 10 „Technische Zulassungsunterlagen“ neu aufgenommen;
- d) Anhang E (informativ) „Dauerschwingbelastung für Schmalspurbahnen“ neu aufgenommen;
- e) Anhang F (informativ) „Dauerschwingbelastung für Neigezüge“ neu aufgenommen;
- f) Anhang J (informativ) „Ultraschallmessverfahren der Eigenspannungen im Radkranz“ neu aufgenommen.

## **Frühere Ausgaben**

DIN EN 13979-1: 2004-07, 2010-02, 2011-06

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —  
Radsätze und Drehgestelle — Vollräder —  
Technische Zulassungsverfahren —  
Teil 1: Geschmiedete und gewalzte Räder**

Railway applications —  
Wheelsets and bogies — Monobloc Wheels —  
Technical approval procedure —  
Part 1: Forged and rolled wheels

Applications ferroviaires —  
Essieux montés et bogies — Roues monobloc —  
Procédure d'homologation technique —  
Partie 1: Roues forgées et laminées

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. April 2019 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                                                              | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                                                                   | 5     |
| Einleitung .....                                                                                                             | 6     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                    | 7     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                               | 7     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                             | 7     |
| 4 Parameter für die Definition der Anwendung .....                                                                           | 8     |
| 4.1 Allgemeines .....                                                                                                        | 8     |
| 4.2 Parameter für die geometrische Austauschbarkeit .....                                                                    | 8     |
| 4.2.1 Allgemeines .....                                                                                                      | 8     |
| 4.2.2 Funktionsanforderungen .....                                                                                           | 8     |
| 4.2.3 Montageanforderungen .....                                                                                             | 9     |
| 4.2.4 Instandhaltungsanforderungen .....                                                                                     | 9     |
| 4.3 Parameter für die thermomechanische Bewertung von klotzgebremsten Rädern, die an<br>der Lauffläche gebremst werden ..... | 9     |
| 4.3.1 Dauerbremsung oder Haltebremsung .....                                                                                 | 9     |
| 4.3.2 Zufällige Dauerbremsung .....                                                                                          | 10    |
| 4.4 Parameter für die mechanische Bewertung .....                                                                            | 10    |
| 4.5 Parameter für die akustische Bewertung .....                                                                             | 11    |
| 5 Beschreibung des Rades, dessen Konstruktion bewertet werden muss .....                                                     | 11    |
| 6 Bewertung der geometrischen Austauschbarkeit .....                                                                         | 11    |
| 7 Bewertung des thermomechanischen Verhaltens .....                                                                          | 11    |
| 7.1 Allgemeines zum Verfahren .....                                                                                          | 11    |
| 7.2 Erster Schritt – Bremsversuch auf dem Prüfstand .....                                                                    | 12    |
| 7.2.1 Prüfverfahren .....                                                                                                    | 12    |
| 7.2.2 Entscheidungskriterien .....                                                                                           | 12    |
| 7.3 Zweiter Schritt – Bruchversuch auf dem Prüfstand .....                                                                   | 13    |
| 7.3.1 Allgemeines .....                                                                                                      | 13    |
| 7.3.2 Prüfverfahren .....                                                                                                    | 13    |
| 7.3.3 Entscheidungskriterien .....                                                                                           | 13    |
| 7.4 Dritter Schritt – Bremsversuch auf der Strecke .....                                                                     | 13    |
| 7.4.1 Allgemeines .....                                                                                                      | 13    |
| 7.4.2 Prüfverfahren .....                                                                                                    | 13    |
| 7.4.3 Entscheidungskriterien .....                                                                                           | 13    |
| 8 Bewertung des mechanischen Verhaltens .....                                                                                | 14    |
| 8.1 Allgemeines zum Verfahren .....                                                                                          | 14    |
| 8.2 Erster Schritt – Berechnung .....                                                                                        | 14    |
| 8.2.1 Anzuwendende Kräfte .....                                                                                              | 14    |
| 8.2.2 Berechnungsverfahren .....                                                                                             | 16    |
| 8.2.3 Entscheidungskriterien .....                                                                                           | 17    |
| 8.3 Zweiter Schritt - Bremsversuch auf dem Prüfstand .....                                                                   | 17    |
| 8.3.1 Allgemeines .....                                                                                                      | 17    |
| 8.3.2 Festlegung der Prüfstandsbelastung und des Prüfverfahrens .....                                                        | 17    |
| 8.3.3 Entscheidungskriterien .....                                                                                           | 17    |

|                                                                                                              |                                                                     |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 9                                                                                                            | Bewertung des akustischen Verhaltens.....                           | 18 |
| 10                                                                                                           | Technische Zulassungsunterlagen.....                                | 18 |
| Anhang A (informativ) Werte für die Dauerbremsung .....                                                      |                                                                     | 19 |
| A.1                                                                                                          | Güterwagen.....                                                     | 19 |
| A.2                                                                                                          | Andere Arten von Fahrzeugen und Sondergüterwagen.....               | 19 |
| Anhang B (normativ) Bewertung des thermomechanischen Verhaltens.....                                         |                                                                     | 20 |
| B.1                                                                                                          | Ablaufplan der Bewertung.....                                       | 20 |
| B.2                                                                                                          | Verfahren des Bremsversuchs auf dem Prüfstand.....                  | 20 |
| B.2.1                                                                                                        | Versuchsprinzip.....                                                | 20 |
| B.2.2                                                                                                        | Definition der Dauerbremsungen .....                                | 21 |
| B.2.3                                                                                                        | Verfahren zur Messung der Entscheidungskriterien.....               | 21 |
| B.2.4                                                                                                        | Versuche und Messungen.....                                         | 22 |
| B.2.5                                                                                                        | Abweichungen .....                                                  | 23 |
| B.3                                                                                                          | Verfahren des Bruchversuchs auf dem Prüfstand.....                  | 23 |
| B.3.1                                                                                                        | Versuchsprinzip.....                                                | 23 |
| B.3.2                                                                                                        | Erzeugung der Eigenspannungen im Radkranz .....                     | 23 |
| B.3.3                                                                                                        | Erzeugung des Anrisses im Radkranz.....                             | 24 |
| B.3.4                                                                                                        | Definition des Dauerbremsversuchs.....                              | 25 |
| B.3.5                                                                                                        | Parameter für den Bruchversuch auf dem Prüfstand.....               | 26 |
| B.3.6                                                                                                        | Versuche und Messungen.....                                         | 26 |
| B.3.7                                                                                                        | Abweichungen .....                                                  | 28 |
| B.4                                                                                                          | Verfahren des Bremsversuchs auf der Strecke .....                   | 28 |
| B.4.1                                                                                                        | Versuchsprinzip.....                                                | 28 |
| B.4.2                                                                                                        | Definition der Bremsungen .....                                     | 28 |
| B.4.3                                                                                                        | Verfahren zur Messung der Entscheidungskriterien.....               | 28 |
| B.4.4                                                                                                        | Beschreibung der Umläufe für den Versuch.....                       | 29 |
| B.4.5                                                                                                        | Versuche und Messungen.....                                         | 30 |
| B.4.6                                                                                                        | Abweichungen .....                                                  | 31 |
| Anhang C (normativ) Definition der Profildurchmesser eines Rads.....                                         |                                                                     | 32 |
| C.1                                                                                                          | Allgemeines .....                                                   | 32 |
| C.2                                                                                                          | Durchmesser nach der letzten Reprofilierung.....                    | 32 |
| C.3                                                                                                          | Abgenutzter Durchmesser .....                                       | 33 |
| Anhang D (normativ) Bewertung des mechanischen Verhaltens.....                                               |                                                                     | 34 |
| D.1                                                                                                          | Ablaufplan der Bewertung.....                                       | 34 |
| D.2                                                                                                          | Berechnungsverfahren für den außergewöhnlichen Belastungsfall ..... | 35 |
| D.2.1                                                                                                        | Kurzbeschreibung.....                                               | 35 |
| D.2.2                                                                                                        | Belastung.....                                                      | 35 |
| D.3                                                                                                          | Berechnungsverfahren für den Dauerschwingbelastungsfall .....       | 35 |
| D.3.1                                                                                                        | Grundsatz .....                                                     | 35 |
| D.3.2                                                                                                        | Belastung.....                                                      | 35 |
| D.3.3                                                                                                        | Berechnungsverfahren.....                                           | 36 |
| Anhang E (informativ) Dauerschwingbelastung für Schmalspurbahnen (metrisch oder<br>annähernd ein Meter)..... |                                                                     | 38 |
| Anhang F (informativ) Dauerschwingbelastung für Neigezüge .....                                              |                                                                     | 39 |
| Anhang G (normativ) Mechanisches Verhalten – Bewertung durch Finite-Elemente-Berechnung....                  |                                                                     | 40 |
| Anhang H (informativ) Mechanisches Verhalten – Prüfstandsbelastung und Prüfverfahren .....                   |                                                                     | 41 |
| H.1                                                                                                          | Prinzip der Prüfstandsbelastung und des Prüfverfahrens .....        | 41 |
| H.2                                                                                                          | Definition der Belastung.....                                       | 41 |
| H.2.1                                                                                                        | Allgemeines .....                                                   | 41 |
| H.2.2                                                                                                        | Messungen der Spannungen während der Streckenversuche.....          | 41 |
| H.3                                                                                                          | Dauerschwingversuch auf dem Prüfstand .....                         | 42 |

|                                                                                                                                                                                |                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| H.3.1                                                                                                                                                                          | Verfahren 1 – Regelloser Dauerschwingversuch.....                      | 42        |
| H.3.2                                                                                                                                                                          | Verfahren 2 – Einstufendauerschwingversuch.....                        | 43        |
| H.3.3                                                                                                                                                                          | Beispiele von Prüfständen .....                                        | 44        |
| <b>Anhang I (informativ) Bewertung des akustischen Verhaltens .....</b>                                                                                                        |                                                                        | <b>45</b> |
| I.1                                                                                                                                                                            | Allgemeines zum Verfahren .....                                        | 45        |
| I.2                                                                                                                                                                            | Bewertungsverfahren .....                                              | 45        |
| I.3                                                                                                                                                                            | Entscheidungskriterien.....                                            | 46        |
| I.4                                                                                                                                                                            | Entscheidungskriterien.....                                            | 46        |
| I.5                                                                                                                                                                            | Ablaufplan der Bewertung .....                                         | 47        |
| I.5.1                                                                                                                                                                          | Einleitende Anmerkungen .....                                          | 47        |
| I.5.2                                                                                                                                                                          | Berechnung der Modalbasis für das Rad .....                            | 48        |
| I.5.3                                                                                                                                                                          | Definition der Bezugsgeschwindigkeit.....                              | 48        |
| I.5.4                                                                                                                                                                          | Definition des kombinierten Rad-Schienen-Bezugsrauheitsspektrums ..... | 48        |
| I.5.5                                                                                                                                                                          | Definition des Bezugsstreckenmodells .....                             | 49        |
| I.5.6                                                                                                                                                                          | Definition der Berechnungsparameter .....                              | 50        |
| I.5.7                                                                                                                                                                          | Berechnung des Schallleistungspegels.....                              | 51        |
| I.5.8                                                                                                                                                                          | Einbringen des gewichteten Spektrums in die Schallleistung .....       | 51        |
| I.5.9                                                                                                                                                                          | Berechnung des Bewertungskriteriums .....                              | 52        |
| I.5.10                                                                                                                                                                         | Optionale Berechnungen .....                                           | 52        |
| I.6                                                                                                                                                                            | Verfahren der Betriebsmessungen .....                                  | 53        |
| I.6.1                                                                                                                                                                          | Allgemeines .....                                                      | 53        |
| I.6.2                                                                                                                                                                          | Umgebungsbedingungen .....                                             | 53        |
| I.6.3                                                                                                                                                                          | Gleisbedingungen .....                                                 | 53        |
| I.6.4                                                                                                                                                                          | Zugbedingungen.....                                                    | 53        |
| I.6.5                                                                                                                                                                          | Lage der Messpunkte.....                                               | 54        |
| I.6.6                                                                                                                                                                          | Gemessene Größen .....                                                 | 55        |
| I.6.7                                                                                                                                                                          | Messverfahren .....                                                    | 55        |
| I.6.8                                                                                                                                                                          | Datenverarbeitung.....                                                 | 56        |
| <b>Anhang J (informativ) Ultraschallmessverfahren der Eigenspannungen im Radkranz<br/>(zerstörungsfreies Verfahren).....</b>                                                   |                                                                        | <b>58</b> |
| J.1                                                                                                                                                                            | Verfahren.....                                                         | 58        |
| J.2                                                                                                                                                                            | Messgenauigkeit .....                                                  | 58        |
| J.3                                                                                                                                                                            | Kalibrierungen .....                                                   | 59        |
| J.4                                                                                                                                                                            | Prüfung der Messparameter .....                                        | 59        |
| <b>Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den<br/>betreffenden grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden Richtlinie 2008/57/EG.....</b> |                                                                        | <b>60</b> |
| <b>Literaturhinweise.....</b>                                                                                                                                                  |                                                                        | <b>64</b> |

N1)

---

N1) Nationale Fußnote: Die Unterabschnitte I.6.9 bis I.7.8 sind zwar im Inhaltsverzeichnis der Referenzfassung aufgeführt, jedoch nicht im Dokument enthalten. Diese Informationen wurden im Rahmen der Veröffentlichung in Unterabschnitt I.6.8 integriert.

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (EN 13979-1:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2021, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2021 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und/oder CENELEC ist/sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 13979-1:2003+A2:2011.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Normungsauftrages erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG.

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

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## **Einleitung**

Vor Inbetriebnahme eines Rades wird eine Bewertung der beiden nachfolgenden Aspekte ausgeführt:

- Konstruktionsbewertung, wie in dieser Norm vorgeschrieben;
- Bewertung der Produktqualität (EN 13262).

## 1 Anwendungsbereich

Gegenstand des vorliegenden Dokumentes ist die Bestimmung eines Verfahrens zur Konstruktionsprüfung eines aus Rollmaterial gewalzten und geschmiedeten Vollrades. Diese Bewertung wird vor der Inbetriebnahme vorgenommen. Das vorliegende Dokument beschreibt insbesondere die Bewertung, die auszuführen ist, um in einem europäischen Netz Räder nutzen zu können, deren Qualitätsanforderungen ebenfalls den in EN 13262 festgelegten entsprechen.

Diese Bewertung erfordert die Festlegung der Rad-Nutzungsbedingungen und die vorliegende Norm präzisiert, wie diese Bedingungen festzulegen sind.

Die technische Zulassungsbewertung umfasst vier Gesichtspunkte:

- geometrisch: um die Austauschbarkeit verschiedener Lösungen für den gleichen Anwendungsbereich zu ermöglichen;
- thermomechanisch: um die Verformungen des Rades zu beherrschen und sicherzustellen, dass Bremsungen nicht zum Radbruch führen;
- mechanisch: um sicherzustellen, dass kein Dauerschwingriss im Radsteg und keine dauerhafte Verformung im Falle einer außergewöhnlichen Belastung auftritt;
- akustisch: um sicherzustellen, dass die Lösung so gut wie ein Referenzrad ist.

Dieses Dokument behandelt weder die Bewertung der Nabe, noch die Bewertung des Kranzes.

Dieses Dokument wurde für Räder von Laufradsätzen, die an der Lauffläche gebremst werden, erstellt. Für Räder, an denen Bremsscheiben oder Antriebszahnräder montiert sind, oder für Räder mit Lärmschutzvorrichtungen können die Anforderungen geändert bzw. vervollständigt werden.

Für städtische Schienenbahnen können andere Normen oder Dokumente angewendet werden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13103-1, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Teil 1: Konstruktionsleitfaden für außen-gelagerte Radsatzwellen*

EN 13262:2004+A2:2011, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle — Räder — Produkt-anforderungen*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: <http://www.iso.org/obp>

### 3.1

#### **technische Spezifikation**

Dokument, welches die speziellen Parameter und/oder zusätzlich zu den Anforderungen dieser Norm geltenden Anforderungen zur Konstruktionsbewertung beschreibt

### 3.2

#### **Durchmesser nach der letzten Reprofilierung**

Nennwert mit einer Nennfase von 5 mm × 5 mm und einer Neigung des neuen Laufflächenprofils

Anmerkung 1 zum Begriff: Es können angepasste Werte festgelegt werden, z. B. im Wartungsplan oder in der technischen Spezifikation. Siehe Bild C.1.

### 3.3

#### **abgenutzter Durchmesser**

theoretischer Minstdurchmesser im Betrieb und zylindrisches Profil von der externen Fläche des Radkranzes bis auf  $D_0$ , ergänzt um das neue Originalprofil bis zur Innenfläche des Radkranzes

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild C.1.

## **4 Parameter für die Definition der Anwendung**

### **4.1 Allgemeines**

Die Anwendung, für die das Rad zu prüfen ist, muss durch die nachfolgend beschriebenen Parameter definiert werden.

Wenn für ein geprüfetes Rad die Anwendungsparameter geändert werden, muss die Bewertung nochmals geprüft werden.

### **4.2 Parameter für die geometrische Austauschbarkeit**

#### **4.2.1 Allgemeines**

Die Anwendung muss durch geometrische Parameter der Austauschbarkeit definiert werden, die in drei Kategorien unterteilt werden, je nachdem, ob sie sich auf Funktionsanforderungen, Montageanforderungen oder Instandhaltungsanforderungen beziehen.

ANMERKUNG Für die Räder von Eisenbahnfahrzeugen, für die die Richtlinie gilt, werden bestimmte geometrische Parameter in den betreffenden TSI angeführt.

#### **4.2.2 Funktionsanforderungen**

- Nenndurchmesser der Lauffläche der die Pufferhöhe und die Fahrzeugbegrenzungslinie beeinflusst;
- maximale Radkranzbreite die mit Weichen- und Schienenbremsen in Zusammenhang steht;
- Laufflächenprofil außerhalb des konischen Teils der Lauffläche;
- Lage des Radkranzes bezüglich des Radsitzes auf der Radsatzwelle;
- Konizität der Nabenbohrung;
- notwendiger Freiraum für Radbremsscheiben;
- notwendiger Freiraum für Drehgestellrahmen, Bremsausrüstung und Federung.

#### 4.2.3 Montageanforderungen

- Durchmesser der Nabenbohrung;
- Nabenlänge, um den Überhang der Radnabe über den Radsitz der Radsatzwelle sicherzustellen.

#### 4.2.4 Instandhaltungsanforderungen

- Durchmesser an der Verschleißgrenze oder Durchmesser der letzten Reprofilierung;
- Form der Grenzmaßrille, falls notwendig;
- Geometrie des Bereiches für das Spannen des Rades auf Radsatzdrehbänken;
- Lage und Ausführung der Ölabpressbohrung für die Demontage;
- allgemeine Form des Radkranzes, um die Ultraschallmessung der Eigenspannung bei Rädern, die an der Lauffläche gebremst werden, durchführen zu können.

### 4.3 Parameter für die thermomechanische Bewertung von klotzgebremsten Rädern, die an der Lauffläche gebremst werden

#### 4.3.1 Dauerbremsung oder Haltebremsung

##### 4.3.1.1 Allgemeines

Die Anwendung muss ausgehend von der maximalen Bremsenergie (Nennbremsleistung  $P_a$ , Anwendungsdauer (Prüfdauer)  $t_a$  und mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_a$ ), die durch die Reibung der Bremssohlen auf der Lauffläche erzeugt wird, sowie von der Art der am Rad angewandten Bremssohlen (Art – Gussbremssohle oder Verbundbremssohle –, Maße und Anzahl) bestimmt werden.

Der Bremsversuch mit Verbundbremssohlen deckt den Bremsversuch mit Gussbremssohlen ab. Der Bremsversuch mit zwei gegenüberliegenden Bremssohlen deckt den Bremsversuch mit einer einzelnen Gussbremssohle ab. Der Bremsversuch ist unabhängig vom Fabrikat der Bremssohlen.

##### 4.3.1.2 Fahrzeuge für den Güterverkehr

Wenn Vollräder unter die Wagen montiert werden, die vollständig klotzgebremst werden, ist eine Berücksichtigung der in Tabelle A.1 von Anhang A angegebenen Parameter erforderlich, sofern die technische Spezifikation keine andere Festlegung trifft.

ANMERKUNG Diese Tabelle entspricht der Tabelle in der TSI Güterwagen.

Wenn ein Wagen nicht vollständig auf der Lauffläche gebremst wird, muss die Nennleistung  $P_b$  so angepasst werden wie in der technischen Spezifikation festgelegt.

Für Sonderwagen oder Sonderverkehre können die Leistungswerte und/oder die Werte für die Anwendungsdauer und/oder die Werte für die Fahrgeschwindigkeit geändert werden, sodass sie dem thermomechanischen Verhalten dieser Räder im Rahmen der Anforderungen der technischen Spezifikation entsprechen und mit Tabelle A.2 von Anhang A übereinstimmen.

#### **4.3.1.3 Andere Arten von Fahrzeugen**

Das thermomechanische Verhalten muss für den ungünstigsten Bremsfall mit Hilfe von Dauerbremsungen bei Einhaltung der Parameter nach Tabelle A.2 von Anhang A oder ungünstigsten Haltebremsungen für die betrachtete Anwendung geprüft werden.

Diese Wahl kann unter Berücksichtigung der seitlichen Verformung sowie der mittels numerischer Simulation für jedes berücksichtigte Bremsszenario berechneten Eigenspannungen getroffen werden.

Der mittlere Steigungswert und/oder die Anwendungsdauer und/oder die mittlere Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Haltebremsungen und/oder die Energiewerte müssen in der technischen Spezifikation festgelegt werden. Tabelle A.2 von Anhang A enthält Wertbeispiele.

**ANMERKUNG** Die in der TSI Lokomotiven & Reisezugwagen 4.2.4.5.4 angegebenen Werte gelten für die Bewertung der Bremsung und nicht für das Rad.

#### **4.3.2 Zufällige Dauerbremsung**

##### **4.3.2.1 Allgemeines**

Das thermomechanische Verhalten muss ausgehend von der maximalen Bremsenergie (Bremsleistung  $P_a$ , Anwendungsdauer  $t_a$  (Prüfdauer) und mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_a$ ) definiert werden, die durch die Reibung der Bremssohlen auf der Lauffläche erzeugt wird, die das zu bewertende Rad bei einer zufälligen Dauerbremsung ableiten können muss.

##### **4.3.2.2 Vollständig an der Lauffläche gebremste Räder**

Für Güterwagen sind die Parameter für die zufällige Dauerbremsung identisch mit jenen, die für die Dauerbremsung festgelegt sind (siehe Tabelle A.1 von Anhang A).

Für andere Arten von Fahrzeugen sind die Parameter für die zufällige Dauerbremsung identisch mit jenen für die Dauerbremsung (siehe Tabelle A.2 von Anhang A), wenn die Bremsung vollständig an der Lauffläche stattfindet.

##### **4.3.2.3 Nicht vollständig an der Lauffläche gebremste Räder**

Für alle Arten von Fahrzeugen müssen die Parameter für die zufällige Dauerbremsung wie folgt sein:

- a) die Versuchsparameter für die zufällige Dauerbremsung für ein vollständig an der Lauffläche gebremstes Rad (siehe 4.3.2.2);
- b) oder die Versuchsparameter für den Bruchversuch auf dem Prüfstand (siehe 7.3).

#### **4.4 Parameter für die mechanische Bewertung**

Die Anwendung muss definiert werden durch:

- die maximale vertikale statische Radsatzlast (nach EN 13103-1);
- die Beschreibung der Umläufe der Fahrzeuge, die mit dem zu bewertenden Rad ausgerüstet werden:
  - 1) Beschreibung der Strecken: Qualität der Gleisgeometrie, Parameter der Bögen, Höchstgeschwindigkeit usw.;
  - 2) Fahrzeiten auf diesen Strecken;

— die geschätzte Lebensdauer des Rades, in Kilometern.

Für den Fall einer ausschließlich durch Berechnung vorgenommenen mechanischen Bewertung sind die Parameter von 8.2 zu berücksichtigen.

#### **4.5 Parameter für die akustische Bewertung**

Die Anwendung muss durch alle Parameter definiert werden, die die Geräuschemission des Rades beeinflussen und die nicht direkt die Konstruktion des zu bewertenden Rades betreffen, wie:

- 1) das Bezugsgleis, auf dem das Rad fahren muss;
- 2) das Bezugsrad, mit dem die Konstruktion verglichen wird;
- 3) das Bezugsfahrzeug und eine oder mehrere Bezugsgeschwindigkeiten;
- 4) ein Bezugsrauheitsspektrum, das für den Bereich der Betriebsbedingungen des geprüften Rades repräsentativ ist (Bremsung an der Lauffläche durch Gussbremssohle oder Verbundbremssohle oder Bremsung außerhalb der Lauffläche), das sowohl für das Bezugsrad als auch für das neue Rad zu nutzen ist.

### **5 Beschreibung des Rades, dessen Konstruktion bewertet werden muss**

Die Unterlagen der Konstruktionsbewertung für das Rad müssen bestehen aus:

- 1) Beschreibung des Herstellungsverfahrens (Schmieden, Walzen, Wärmebehandlung usw.);
- 2) geometrische Definition des Rades (Zeichnung);
- 3) nachfolgende Herstellungsparameter, wenn sie von denen in EN 13262 geforderten abweichen:
  - geometrische Toleranzen;
  - Oberflächenbearbeitung;
  - Stahlgüte;
- 4) Parameter für die Definition des Anwendungsbereiches, für den die Konstruktionsbewertung beantragt wird.

### **6 Bewertung der geometrischen Austauschbarkeit**

Die Zeichnung des Rades muss den Anforderungen von 4.2 entsprechen.

### **7 Bewertung des thermomechanischen Verhaltens**

#### **7.1 Allgemeines zum Verfahren**

Die Bewertung kann drei Schritte umfassen. Der Übergang von einem Schritt zum nächsten ist abhängig von den Ergebnissen des jeweils absolvierten Schritts.

Der Ablauf der Bewertung ist im normativen Anhang B dargestellt.

Für jeden der drei Schritte müssen Versuche mit einem Rad mit neuem Radkranz (Lauffläche mit Nenndurchmesser) und für den Durchmesser nach der letzten Reprofilierung (siehe Anhang C) durchgeführt werden.

## 7.2 Erster Schritt – Bremsversuch auf dem Prüfstand

### 7.2.1 Prüfverfahren

Das Prüfverfahren und die durchzuführenden Messungen sind im normativen Anhang B angegeben.

Für Güterwagen müssen die Anforderungen nach 4.3.1.2 angewandt werden. Für die anderen Fahrzeuge müssen die Leistungen, die während des Versuches anzuwenden sind, gleich  $1,2 P_a$  sein ( $P_a$  ist in 4.3 definiert). Die Zeitspanne jeder Dauerbremsung und die mittlere Zuggeschwindigkeit müssen den Festlegungen in 4.3 und in den Anhängen A und B entsprechen ( $t_a$  und  $V_a$ ).

### 7.2.2 Entscheidungskriterien

Drei Kriterien müssen vom Rad mit neuem Radkranz und vom Rad mit dem Durchmesser nach der letzten Reprofilierung gleichermaßen erfüllt werden.

a) Für das Rad mit neuem Radkranz:

- 1) maximale seitliche Verformung des Radkranzes im Warmzustand während der Bremsung:  $+3/-1$  mm;
- 2) Eigenspannungen im Radkranz nach Abkühlung:
  - i)  $\sigma_{rn} \leq + \Sigma_r N/mm^2$  für den Mittelwert der drei Messungen;
  - ii)  $\sigma_{in} \leq + (\Sigma_r + 50) N/mm^2$  für jede Einzelmessung;
- 3) maximale seitliche Verformung des Radkranzes bei Abkühlung des Radkranzes im Bereich von:  $+1,5/-0,5$  mm.

b) Rad mit Durchmesser nach der letzten Reprofilierung:

- 1) maximale seitliche Verformung des Radkranzes im Warmzustand während der Bremsung:  $+3/-1$  mm;  
  
Eigenspannungen im Radkranz nach Abkühlung:
  - i)  $\sigma_{rw} \leq + (\Sigma_r + 75) N/mm^2$  für den Mittelwert der drei Messungen;
  - ii)  $\sigma_{iw} \leq + (\Sigma_r + 100) N/mm^2$  für jede Einzelmessung;
- 2) maximale seitliche Verformung des Radkranzes bei Abkühlung des Radkranzes im Bereich von:  $+1,5/-0,5$  mm.

Der Wert von  $\Sigma_r$  muss entsprechend den Kriterien der Stahlgüte des Radkranzes festgelegt werden. Für die Güten ER6 und ER7 der EN 13262,  $\Sigma_r = 200 N/mm^2$ .

Die Verformung ist positiv, wenn sich der Abstand zwischen den Radkranzrückenflächen beider Räder eines Radsatzes vergrößert.

Für Fahrzeugräder, die nicht die Anforderungen der Richtlinie zur Interoperabilität erfüllen müssen, können andere Werte als die Verformungswerte in der technischen Spezifikation festgelegt werden, wenn die Toleranzen zur Gleisabweichung und die allgemeinen Toleranzen in Europa unterschiedlich sind.

## 7.3 Zweiter Schritt – Bruchversuch auf dem Prüfstand

### 7.3.1 Allgemeines

Dieser zweite Schritt ist nur dann durchzuführen, wenn die während des ersten Schritts gemessenen Eigenspannungen über den Entscheidungskriterien liegen, oder auch bei Anwendung von 4.3.2.3.

### 7.3.2 Prüfverfahren

Das Prüfverfahren ist im normativen Anhang B angegeben.

### 7.3.3 Entscheidungskriterien

Das geprüfte Rad darf nicht brechen.

## 7.4 Dritter Schritt – Bremsversuch auf der Strecke

### 7.4.1 Allgemeines

Dieser dritte Schritt ist nur durchzuführen, wenn ein Ergebnis des ersten Schritts über den Entscheidungskriterien liegt, und wenn das Rad nach dem zweiten Schritt nicht abgelehnt wird.

### 7.4.2 Prüfverfahren

Das Prüfverfahren und die aufzuzeichnenden Messungen sind im normativen Anhang B angegeben.

Die Leistung, die während des Versuches anzuwenden ist, ist gleich  $1,2 P_a$  ( $P_a$  ist in 4.3 definiert). Die Zeitspanne jeder Dauerbremsung und die mittlere Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs müssen den Festlegungen in 4.3 entsprechen ( $t_a$  und  $V_a$ ).

### 7.4.3 Entscheidungskriterien

Drei Kriterien müssen vom Rad mit neuem Radkranz und vom Rad mit dem Durchmesser nach der letzten Reprofilierung gleichermaßen erfüllt werden.

a) Für das Rad mit neuem Radkranz:

- 1) maximale seitliche Verformung des Radkranzes im Warmzustand während der Bremsung im Bereich von:  $+3/-1$  mm;

Eigenspannungen im Radkranz am Ende der Versuche und nach Abkühlung:

- i)  $\sigma_{rn} \leq + (\Sigma_r - 50) \text{ N/mm}^2$  für den Mittelwert der drei Messungen;
- ii)  $\sigma_{in} \leq + \Sigma_r \text{ N/mm}^2$  für jede Einzelmessung;
- 2) maximale seitliche Verformung des Radkranzes nach Abkühlung am Ende der Versuche im Bereich von:  $+1,5/-0,5$  mm.

b) Rad mit Durchmesser der letzten Reprofilierung:

- 1) maximale seitliche Verformung des Radkranzes im Warmzustand während der Bremsung im Bereich von:  $+3/-1$  mm;

Eigenspannungen im Radkranz am Ende der Versuche und nach Abkühlung:

- i)  $\sigma_{rw} \leq + \Sigma_r \text{ N/mm}^2$  für den Mittelwert der drei Messungen;
  - ii)  $\sigma_{iw} \leq + (\Sigma_r + 50) \text{ N/mm}^2$  für jede Einzelmessung;
- 2) maximale seitliche Verformung des Radkranzes nach Abkühlung am Ende der Versuche im Bereich von:  $+1,5/-0,5$  mm.

Der Wert von  $\Sigma_r$  muss entsprechend der Kriterien der Stahlgüte des Radkranzes festgelegt werden. Für die Güten ER6 und ER7 der EN 13262,  $\Sigma_r = 200 \text{ N/mm}^2$ .

Die Verformung ist positiv, wenn sich der Abstand zwischen den Radkranzrückenflächen beider Räder eines Radsatzes vergrößert.

Für Fahrzeugräder, die nicht die Anforderungen der Richtlinie zur Interoperabilität erfüllen müssen, können andere Werte als die Verformungswerte in der technischen Spezifikation festgelegt werden, wenn die Toleranzen zur Gleisabweichung und die allgemeinen Toleranzen in Europa unterschiedlich sind.

## **8 Bewertung des mechanischen Verhaltens**

### **8.1 Allgemeines zum Verfahren**

Die Bewertung darf zwei Schritte umfassen. Der zweite Schritt wird auf der Grundlage der Ergebnisse des ersten Schritts durchgeführt. Ziel dieser Bewertung ist der Nachweis, dass kein Dauerschwingriss, weder im Radsteg noch in den Übergängen zum Radkranz oder zur Nabe, während der gesamten Lebensdauer des Rades auftritt. Ein weiteres Ziel ist die Sicherstellung, dass keine dauerhafte Verformung im Falle einer außergewöhnlichen Belastung entsprechend 8.2.1.1 eintritt. Alle anderen Teile des Rades sind von dieser Bewertung ausgeschlossen (zum Beispiel die Ölabbpressbohrung).

Die Ölabbpressbohrung sollte in einem Bereich positioniert werden, in welchem nur geringe dynamische Beanspruchungen auftreten.

Für die Berechnung stellt die Geometrie eines abgenutzten Rades (nach C.3) den ungünstigsten Fall in Bezug auf das mechanische Verhalten dar. Für die Prüfungen muss der Raddurchmesser in der technischen Spezifikation angegeben sein.

Der Ablauf dieser Bewertung ist im normativen Anhang D dargestellt.

### **8.2 Erster Schritt – Berechnung**

#### **8.2.1 Anzuwendende Kräfte**

##### **8.2.1.1 Außergewöhnliche Belastung**

Vertikale Kraft (in kN)  $F_{z\lim} = 90 + P$ , begrenzt auf 200 kN.

Seitliche Kraft (in kN)  $F_{y\lim} = 10 + 2 P/3$ .

Lastfall 2 muss berücksichtigt werden:

- Fall 2<sub>lim</sub>: Gleisbogen (Spurkranz berührt die Schiene)

$$F_z = F_{z_{\text{lim}}}$$

$$F_{y2} = F_{y_{\text{lim}}}$$

### 8.2.1.2 Dauerschwingbelastung

Diese Belastungen werden ausgehend vom Belastungswert  $P$  berechnet. Die Belastung  $P$  ist in EN 13103-1 definiert. Dies entspricht der Hälfte der auf die Schiene wirkenden vertikalen Kraft je Radsatz.

Die für Schmalspurgleis geltenden Dauerschwingbelastungen sind in Anhang E definiert.

Die für Neigefahrzeuge geltenden Dauerschwingbelastungen sind in Anhang F definiert.

Wie in der technischen Spezifikation ausgeführt, sind zusätzliche Kräfte zu berücksichtigen, wenn in Folge der in 4.4 festgelegten, für die Bewertung notwendigen Parameter höhere Kräfte auftreten (z. B. Gleisbogenparameter usw.).

Drei Lastfälle sind zu berücksichtigen (siehe Bild 1):

- Fall 1: gerade Strecke (radsatzmittig im Gleis)

$$F_z = 1,25 P$$

$$F_{y1} = 0$$

- Fall 2: Gleisbogen (Spurkranz berührt die Schiene)

$$F_z = 1,25 P$$

$$F_{y2} = 0,6 P \text{ für nicht führende Radsätze}$$

$$F_{y2} = 0,7 P \text{ für führende Radsätze}$$

- Fall 3: Weichen und Kreuzungen (Spurkranzrückenfläche berührt Radlenker)

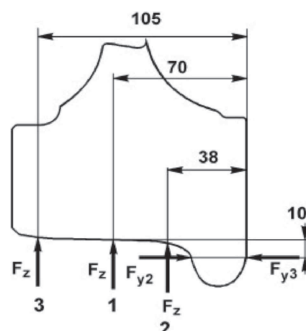
$$F_z = 1,25 P$$

$$F_{y3} = 0,6 F_{y2} = 0,36 P \text{ für nicht führende Radsätze}$$

$$F_{y3} = 0,6 F_{y2} = 0,42 P \text{ für führende Radsätze}$$

Bild 1 zeigt für den allgemeinen Fall die Einleitungspunkte der verschiedenen Kräfte.

Die Begriffe „führende Radsätze“ und „nicht führende Radsätze“ sind in EN 13103-1 definiert.



## Legende

- 1 Gerade Strecke
- 2 Gleisbogen
- 3 Weichen und Kreuzungen

$F_{Z1}$  vertikale Kraft auf gerader Strecke (radsatzmittig im Gleis)

$F_{Z2}$  vertikale Kraft im Gleisbogen (Spurkranz berührt die Schiene)

$F_{Z3}$  vertikale Kraft in Weichen und Kreuzungen (Spurkranzrückenfläche berührt Radlenker)

$F_{Y2}$  seitliche Kraft im Gleisbogen (Spurkranz berührt die Schiene)

$F_{Y3}$  seitliche Kraft in Weichen und Kreuzungen (Spurkranzrückenfläche berührt Radlenker)

**Bild 1 — Einleitungspunkte der verschiedenen Kräfte**

## 8.2.2 Berechnungsverfahren

### 8.2.2.1 Allgemeines

Um die Spannungen zu berechnen, ist ein Finite-Element-Programm zu verwenden.

Die Gültigkeit des Programms muss nachgewiesen sein und die Auswahl von Parametern, die sich kritisch auf die Ergebnisse auswirken, muss abgeglichen werden. Der normative Anhang G legt die Nachweismethode fest.

### 8.2.2.2 Für die außergewöhnliche Belastung

Die Spannungen müssen durch Bestimmung der Hauptspannungen an jedem Punkt des Netzes (Knoten) analysiert und behandelt werden, um die Mises-Vergleichsspannung zu bewerten.

### 8.2.2.3 Für die Dauerschwingbelastungen

Die Spannungen müssen folgendermaßen analysiert werden:

- Bestimmung der Hauptspannungen in allen Punkten des Netzes (Knoten) für jeden der drei Lastfälle;
- Auswertung der maximalen Hauptspannung für jeden Knoten für die drei Lastfälle ( $\sigma_{\max}$ ) und der Richtung dieser Hauptspannung;
- Auswertung der Projektion der kleinsten Spannung, die gleich der kleinsten Normalspannung in der Richtung von  $\sigma_{\max}$  für jeden Knoten für alle drei Lastfälle ist ( $\sigma_{\min}$ );
- Berechnung für jeden Knoten:

$$\text{Spannungsbereich } \Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

### 8.2.3 Entscheidungskriterien

#### 8.2.3.1 Bei außergewöhnlicher Belastung

Für jeden Knoten müssen die Mises-Vergleichsspannungen unter oder gleich der Elastizitätsgrenze  $R_e$  der Fahrzeuge bleiben.

ANMERKUNG Die  $R_e$ -Werte für derzeitig verwendeten Radstahl sind in EN 13262 angegeben.

Sollte die Elastizitätsgrenze an bestimmten Punkten überschritten werden (zum Beispiel im Bereich der Bohrung in der Radscheibe zur Befestigung der Bremsscheiben), kann eine elastoplastische Bewertung durchgeführt werden, und die berechneten Verformungen durch die Mises-Vergleichsspannung müssen auf eine zulässige Verformung von höchstens 5 % begrenzt bleiben.

#### 8.2.3.2 Für die Dauerschwingbelastungen

Die zu verwendenden Dauerschwingkriterien sind in Tabelle 1 angegeben.

**Tabelle 1 — Dauerschwingkriterien zur Berechnung**

|                                                                                                                                                                                                                                     |                  |                  |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Maximale Rauheit Ra</b><br>( $\mu\text{m}$ )                                                                                                                                                                                     | 3,2              | 6,3              | 12,5             |
| <b>Zulässiger Dauerschwingbereich (MPa), unabhängig von der durchschnittlichen Spannung</b>                                                                                                                                         | 360 <sup>a</sup> | 360 <sup>a</sup> | 290 <sup>a</sup> |
| <sup>a</sup> Ein höherer Wert der zulässigen Dauerschwingspannung kann genutzt werden, wenn er durch ein Dauerschwingversuchsprogramm bestätigt wird, welches entsprechend der Produktqualifizierung in EN 13262 durchgeführt wird. |                  |                  |                  |

## 8.3 Zweiter Schritt - Bremsversuch auf dem Prüfstand

### 8.3.1 Allgemeines

Dieser zweite Schritt ist durchzuführen, wenn ein Ergebnis des ersten Schritts über den Entscheidungskriterien liegt.

### 8.3.2 Festlegung der Prüfstandsbelastung und des Prüfverfahrens

Die Belastung und die Prüfdurchführung müssen in dem kritischsten Bereich der Radscheibe laut Berechnung die Spannungen (Richtung, Höhe und Anzahl der Zyklen) reproduzieren, die repräsentativ für diejenigen sind, die während der gesamten Lebensdauer des Rades auftreten werden.

Der informative Anhang H beschreibt eine Vorgehensweise.

### 8.3.3 Entscheidungskriterien

Vier Räder müssen geprüft werden.

Es darf kein Dauerschwingriss nach dem Versuch beobachtet werden. Ein Defekt gilt als Riss, wenn seine Länge größer oder gleich 1 mm ist.

## **9 Bewertung des akustischen Verhaltens**

Die Bewertung des akustischen Verhaltens muss unter Anwendung von Anhang I durchgeführt werden, falls dies in der technischen Spezifikation verlangt wird.

## **10 Technische Zulassungsunterlagen**

Die erforderlichen Unterlagen zur technischen Konstruktionsbewertung sind in der technischen Spezifikation festgelegt. Sie bestehen hauptsächlich aus folgenden Teilen:

- a) Identifizierung des Rades: Zeichnung, Werkstoff, usw.;
- b) Definition der Anwendung, für die das Rad zugelassen wird;
- c) Unterlagen des geometrischen Bewertungsdokuments;
- d) Unterlagen des thermomechanischen Bewertungsdokuments;
- e) Unterlagen des mechanischen Bewertungsdokuments;
- f) Unterlagen des akustischen Bewertungsdokuments.