
Vorgestellt werden die vorläufigen Ergebnisse einer Diskussionsrunde einer Gruppe von Bahnindustrie- und DB AG - Eisenbahningenieuren.

1. Einführung und Erläuterung des dreistufigen Sicherheitskonzeptes
2. Auslegungsregeln
3. Fertigung, Produktqualifikation und Überwachung des Produktionsprozesses
4. Instandhaltung und Überwachung der Bauteile während des Betriebs
5. Fazit und Ausblick

Warum wird das Thema „Sicherheit von Eisenbahn-radsätzen“ in der Öffentlichkeit so stark beachtet ?

Die Privatisierung der Eisenbahn wird von der Öffentlichkeit kritisch verfolgt.

Spektakuläre Unfälle wie der Radsatzwellenbruch eines ICE3 in Köln und das Unglück in Viareggio vermitteln den Eindruck zunehmender „Unsicherheit“ bei der Eisenbahn.

Die Gesellschaft erwartet technische Höchstleistungen ohne jegliches Risiko („Vollkasko-Gesellschaft“)

Eine Darstellung des Unfallgeschehens bzw. der Entwicklung der Sicherheit bei den deutschen Eisenbahnen findet nicht statt.

ICE 3
09.07.2008 in Köln



Quelle: DB AG

Güterwagenwelle Typ A (20 t)
29.06.2009 in Viareggio



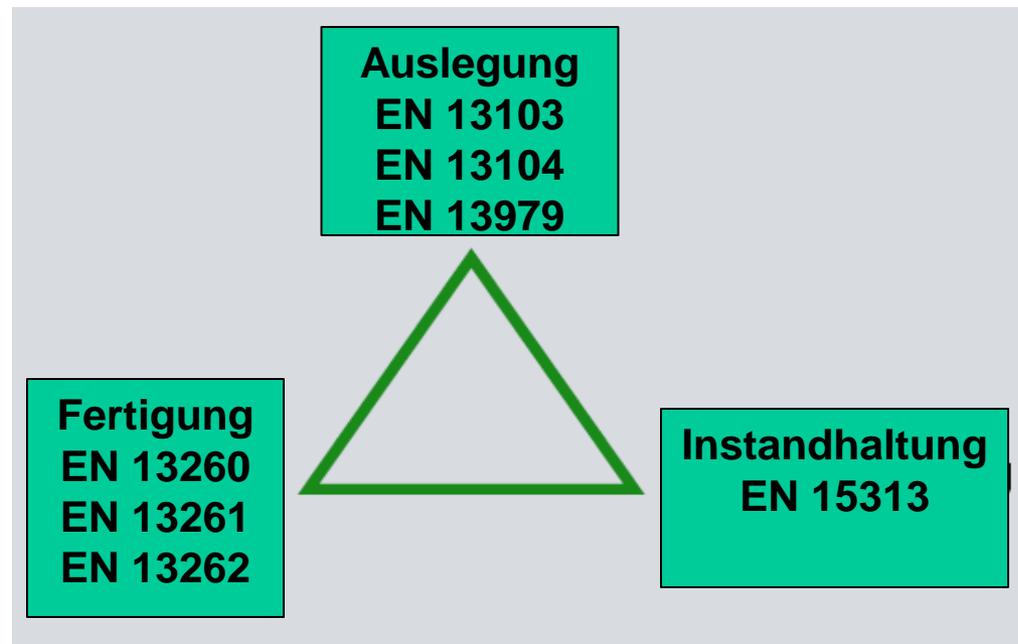
Quelle: JSG

Das Sicherheitskonzept für Radsätze stützt sich auf drei Handlungsfelder ab.

Für jedes dieser Handlungsfelder sind in Normen die Mindestanforderungen definiert.

Dieses Regelwerk ist historisch gewachsen und basiert auf einer Vielzahl von Messungen im Betrieb, Prüfstandsversuchen und einer 175-jährigen Erfahrung.

Das Regelwerk wird kontinuierlich weiterentwickelt.

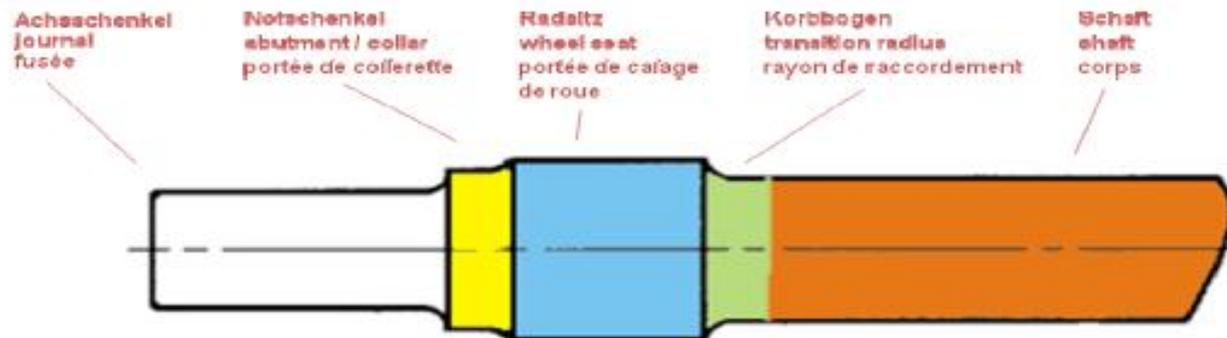


Auslegung: Dauerfestigkeit oder Betriebsfestigkeit ?

- Die „Dauerfestigkeit“ im Sinne des normalen Sprachgebrauchs gibt es nicht !
- August Wöhler hat diesen Begriff eingeführt für eine Radsatzauslegung, bei der das Bauteil ausreichend häufig die im Betrieb auftretenden Belastungen ohne Schaden übersteht.
- Für Räder liegen Betriebserfahrungen mit Laufleistungen von 2,5 Mio. km, für Radsatzwellen von 10 Mio. km ohne Rißbefunde vor. Damit erreichen diese Bauteile Lastwechselzahlen von ca. $9 \cdot 10^8$ bzw. $4 \cdot 10^9$, wie sie auch bei Kurbel- und Generatorwellen auftreten.
- Eine Häufung von Schäden bei Radsätzen mit hohen Laufleistungen konnte bislang nicht festgestellt werden.
- Die überwiegende Anzahl der Schadfälle mit „Schwingbrüchen“ ist auf Korrosion zurück zu führen.
- Güterwagenradsätze sind mit ca. 85% der Fälle sehr stark betroffen.
- Durch äußere Einflüsse verschlechtert sich die Beanspruchbarkeit. Daher müssen Radsätze im Betrieb überwacht werden.

Übersicht: Ausgewertete Güterwagenwellenbrüche in Europa seit 1996

Übersicht: 29 ausgewertete Güterwagenwellenbrüche in Europa seit 1996

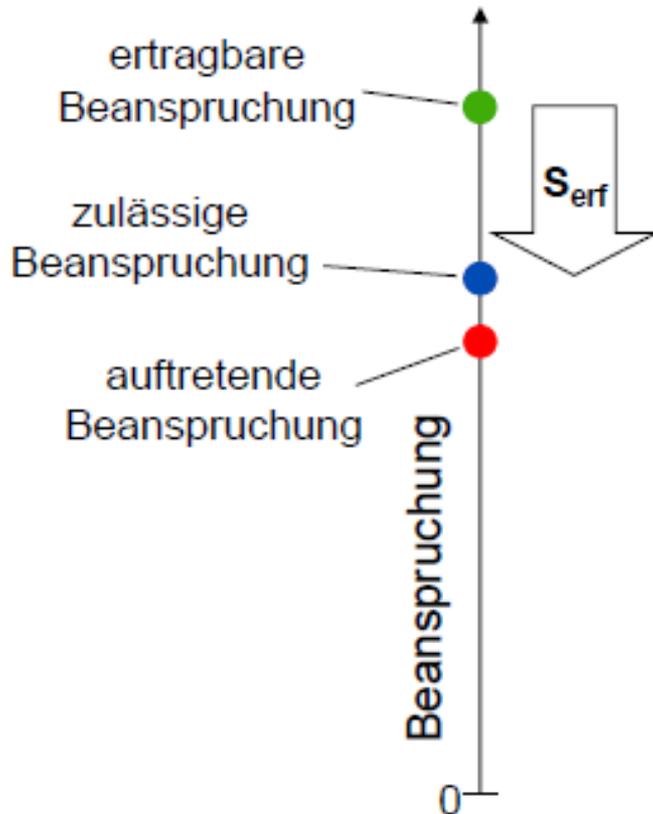


Quelle: JSG

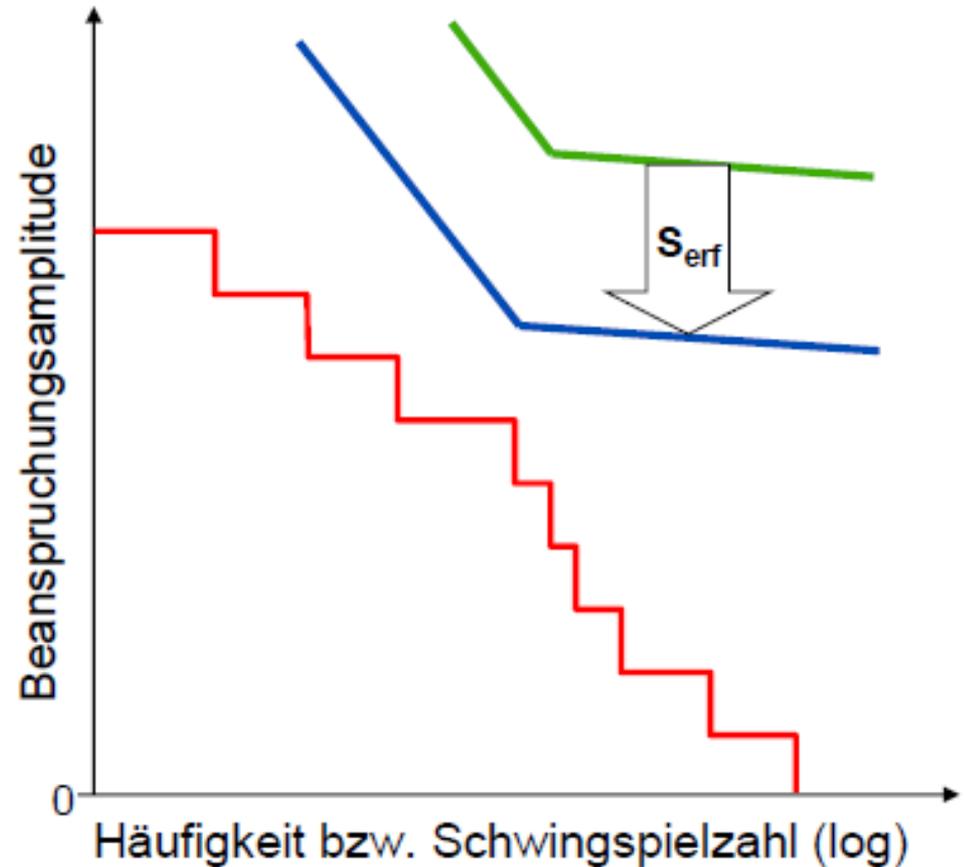


Dauerfestigkeits- oder Betriebsfestigkeitsnachweis ??

Dauerfestigkeitsnachweis



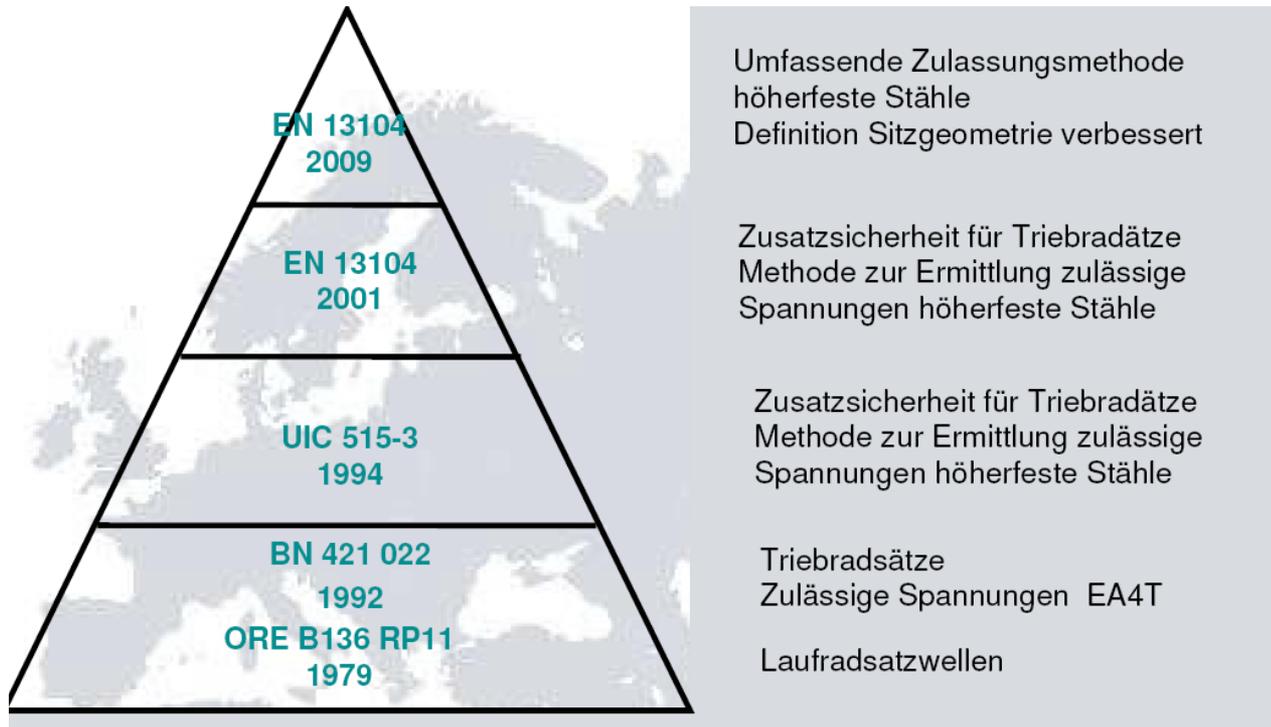
Betriebsfestigkeitsnachweis



Quelle: DB AG, Martin Grab, Markus Traupe, TZF95.1, 16.10.2008

Auslegungsregeln für die Konstruktion von Rädern und Wellen

Diese Regeln sind im Rahmen der Standardisierung von Rädern und Wellen für den Güterwagenpool der UIC-Bahnen entstanden.



Der „Dauerfestigkeitsnachweis“ gemäß Regelwerk

- Es werden der Berechnungsweg, die Art der Vernetzung bei FEM-Berechnung, das Kräftesystem, die Kräfte in Abhängigkeit von der Rad/Radsatzlast, die einzusetzenden Werkstoffe mit ihren Kennwerten und bestimmte Geometrievorgaben festgelegt.
- Die Gestaltung der Presssitze von Rad und Wellen beruht auf Betriebserfahrung.
- Die Radscheibe wird mit FEM und der Beurteilung örtlicher Spannungen ausgelegt.
- Die Radsatzwelle wird, wegen der dem örtlichen Spannungskonzept nicht erschließbaren Sitzbereichen, in ihrer Gesamtheit nach dem Nennspannungskonzept ausgelegt.
- Die Belastungsangaben sind für das gesamte Fahrzeugspektrum geeignet. Die höchsten Beanspruchungen treten in engen Bögen und Weichen bei niedriger Geschwindigkeit, und **nie** bei Hochgeschwindigkeit im geraden Gleis auf !!

Werden die Normen in ganzem Umfang beachtet, erfolgt eine sichere Auslegung !!

Fertigung, Produktqualifikation und Überwachung des Produktionsprozess

- Die Fertigung von Radsatzkomponenten ist ein komplexer Prozess
- Die Prozesse der Stahlerzeugung, der Warmformgebung und der Wärmebehandlung werden beeinflusst von stark streuenden Randbedingungen.
- Die Qualität des Produktes muss daher durch eine 100 % Prüfung „erprüft“ werden. Dabei werden Stichproben geprüft (zerstörende Prüfungen) um eine Übersicht über die Qualität des Fertigungsloses zu erhalten, und es werden zerstörungsfreie Prüfungen zu Kontrolle eines jeden Teils durchgeführt.
- Es werden bei der Erzeugung der Schmelze/des Vormaterials 5 Materialerprobungen durchgeführt, bei der Produktion von Rädern 15 und bei Wellen 12 Qualitätsmerkmale geprüft und dokumentiert.

Übersicht: Prüfung Wellen

Übersicht: Prüfung Räder

Zu prüfende Eigenschaften	Prüfumfang bei Lieferlosgröße ≤ 100 Wellen	Anforderungen zu Eigenschaften nach DIN EN 13261, Kapitel	Anmerkungen
Chemische Zusammensetzung			
Chemische Zusammensetzung	1 Welle	3.1	
Wasserstoffgehalt	Je Schmelze	J.1	Schmelzanalyse
Mechanische Eigenschaften			
Zugfestigkeit / Streckgrenze / Bruchdehnung (halber Radius)	1 Welle	3.2.1	Zugversuch
Kerbschlagbiegeversuch			
- Längs (halber Radius)	1 Welle	3.2.2	
- Quer (halber Radius)	1 Welle	3.2.2	
Reinheitsgrad und innere Fehlerfreiheit			
Mikrographischer Reinheitsgrad	1 Welle	3.4.1	
Ultraschalldurchlässigkeit	100 %	3.5 oder J.5.2	
Innere Fehlerfreiheit	100 %	3.4.2	UT-Prüfung
Oberflächeneigenschaften			
Oberflächenzustand	100 %	3.7.1 oder J.5.3	Rauhigkeit
Fehlerfreiheit der Oberfläche	100 %	3.7.2	MT-Prüfung
Geometrie und Beschichtung			
Form und Maßtoleranzen	100 %	3.8	
Trockenschichtdicke	10 %	3.9.1.1	

Zu prüfende Eigenschaften	Prüfumfang bei Lieferlosgröße ≤ 250 Räder	Anforderungen zu Eigenschaften nach DIN EN 13262, Kapitel	Anmerkungen
Chemische Zusammensetzung			
Chemische Zusammensetzung	1 Rad	3.1	
Wasserstoffgehalt	Je Schmelze	F.1	Schmelzanalyse
Mechanische Eigenschaften			
Zugfestigkeit / Streckgrenze / Bruchdehnung Radkranz	1 Rad	3.2.1	Zugversuch
Zugfestigkeit / Bruchdehnung Radsteg	1 Rad	3.2.1	Zugversuch
Härteverteilung im Radkranz	1 Rad	3.2.2	Prüfung am Radialschnitt
Härte über Radkranz	100 %	F. 4.2	Gleichmäßigkeit des Lieferloses
Kerbschlagarbeit	1 Rad	3.2.3	
Bruchzähigkeit	1 Rad	3.2.5	Nur bei klotzgebremsten Rädern
Richtung der Restspannungen	1 Rad	F.4.3	
Reinheitsgrad und innere Fehlerfreiheit			
Mikrographischer Reinheitsgrad	1 Rad	3.4.1	
Innere Fehlerfreiheit Radkranz	100 %	3.4.2	UT-Prüfung
Oberflächeneigenschaften			
Oberflächenzustand	100 %	3.6.1	Rauhigkeit
Fehlerfreiheit der Oberfläche	100 %	3.6.2	MT-Prüfung
Geometrie und Restunwucht			
Gestalt und Abmessungen	100 %	3.7	
Statische Restunwucht	100 %	3.8	

Überwachung der Bauteile im Betrieb

Da die Bauteileigenschaften, insbesondere der Oberflächenzustand, während der Betriebszeit durch äußere Einflüsse beeinträchtigt werden, erfolgt eine Überwachung in einem mehrstufigen System.

- visuelle Überprüfung (Oberflächenschäden, Ausbröckelungen, Risse)
- Ultraschallprüfung in den betriebsnahen Werken (Hohlwellenprüfung, Radkranz)
- zerstörungsfreie Prüfung in der Instandhaltung (Ultraschall-, Magnetpulver- und Wirbelstromprüfung)
- zukünftig: Onlineüberwachung des Radsatzes???

Übersicht: Prüfplan ICE3

Gestuftes Inspektionssystem ICE 3

Standzeit
ohne Reinigung

4000 km	L	Laufwerkskontrolle	1,5 h
20 000 km	N	Nachschau	2,5 h
80 000 km	IS 510	Inspektionsstufe 1	1 Modul à 8 h
240 000 km	IS 520	Inspektionsstufe 2	2 Module à 8 h
480 000 km	IS 530	Inspektionsstufe 3	3 Module à 8 h
1 200 000 km	IS 600	Revision	2 Module à 5 Tage
2 400 000 km	IS 700	Revision	Ziel: 2 Wochen

Inhalte:			
L	Laufwerkskontrolle:	Laufwerk, Dachbereich, Einstiegstüren, WC, Frischwasser.	
N	Nachschau:	Wie L, Bremsprüfung, LZB, Gleitschutz.	
IS 510	Inspektionsstufe 1:	Wie N, Bremsrevision, Klimaanlage, Kücheneinrichtung, Sitze, Batterien, FIS.	
IS 520	Inspektionsstufe 2:	Wie IS 510, Fahrmotor, Radsatzlager, Radsatzwellen, Kupplungen.	
IS 530	Inspektionsstufe 3:	Wie IS 520, Luftpresser, Trafo-Ölkühler, Behandlung des Fahrgastinnenraums entsprechend dem Verschleißzustand.	
IS 600	Revision:	Arbeiten an allen Komponenten.	
IS 700	Revision:	Wie IS 600 mit Drehgestelltausch, Austausch und Zerlegung vieler Komponenten.	

Quelle: DB AG RB Süd München

Wie hat sich die Sicherheit von Radsätzen in den letzten 130 Jahren entwickelt ?

Jahr	Wellenbrüche in Deutschland	Laufleistung zwischen zwei Wellenbrüchen in Deutschland
1880	80	100 Mio. km/Wellenbruch
1900	94	256 Mio. km/Wellenbruch
1930	88	414 Mio. km/Wellenbruch
1940	277	380 Mio. km/Wellenbruch
1955	225	117 Mio. km/Wellenbruch
1960	57	465 Mio. km/Wellenbruch
1970	35	826 Mio. km/Wellenbruch
1980	7	3.972 Mio. km/Wellenbruch
1990	7	3.866 Mio. km/Wellenbruch
2006	9	4.383 Mio. km/Wellenbruch
2007	4	10.099 Mio. km/Wellenbruch
2008	9	4.513 Mio. km/Wellenbruch
2009	1	39.040 Mio. km/Wellenbruch

Durchschnitt Deutschland 2006 – 2009

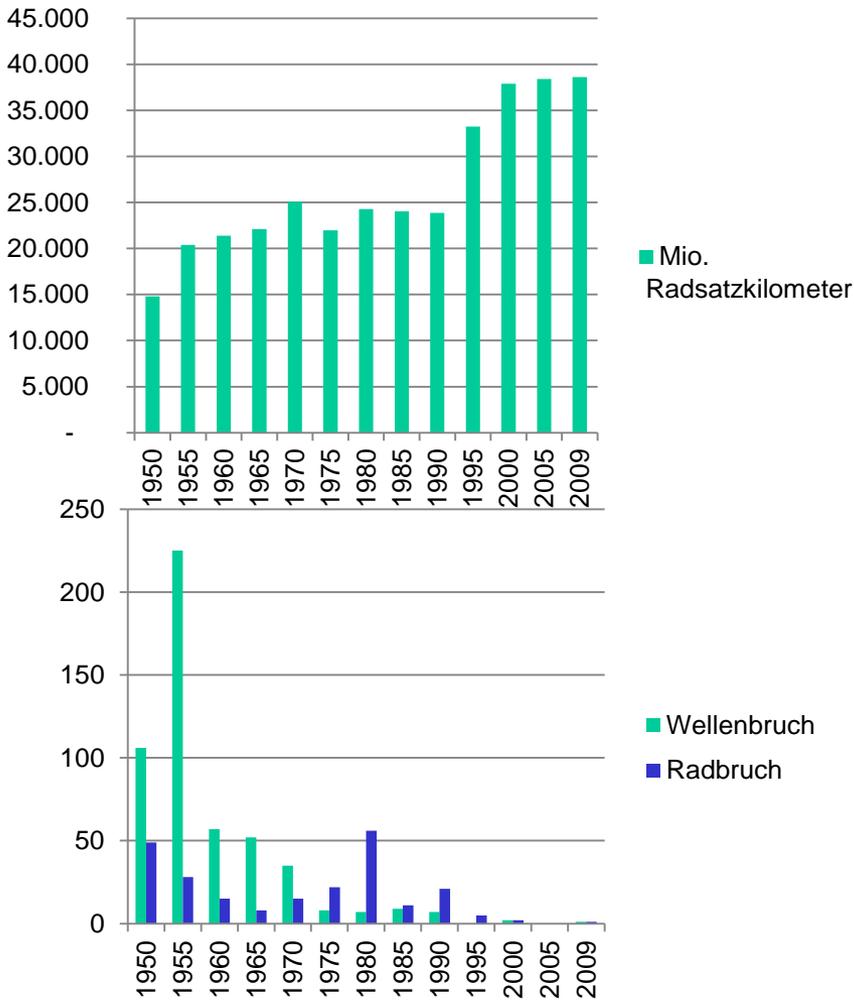
6.953 Mio. km/Wellenbruch

Durchschnitt EU-Bahnen 2006 – 2009

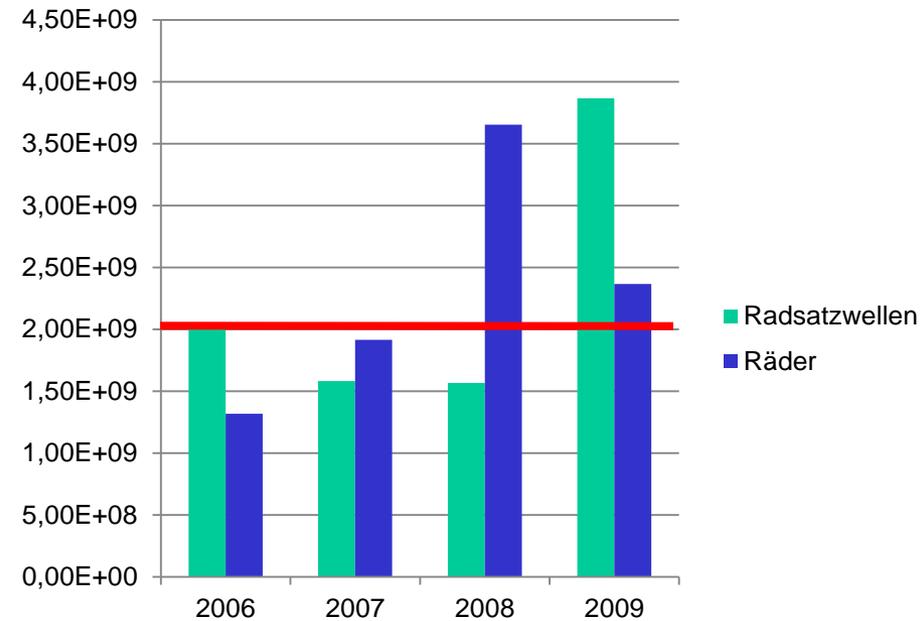
1.983 Mio. km/Wellenbruch

Quelle: Auswertung der statistischen Jahrbücher und ERA-Report durch BVV

Laufkilometer und Rad- und Wellenbrüche Deutsche Bundesbahn/DB AG



Laufkilometer zwischen zwei Rad- oder Wellenbrüchen europäische Eisenbahnen



Quelle: Auswertung Statistischer Jahrbücher durch BVV

Fazit und Ausblick

Die Sicherheit des Systems Radsatz hat sich positiv entwickelt !

Die Laufleistung zwischen zwei Schadfällen liegt auf historischem Höchststand !

Die Regeln für Auslegung, Fertigung und Überwachung werden regelmäßig dem Stand der Technik angepasst.

Überlegungen zu folgenden Punkten befinden sich zur Zeit in der Diskussion:

- die Oberflächengüten im Zusammenhang mit neuen Beschichtungssystemen
- individuell abgestimmtes Sicherheitsniveau für verschiedene Verkehre (HGV, Konventionell, Güterverkehr)
- Festigkeitskriterien für die Auslegung des Radkranz von Rädern
- Kriterien für die Festlegung von Prüfintervallen des Radsatzes
- Berechnung der Wellen mit FEM und Bewertung der örtlichen Spannungen

Alle Regeln sind im Rahmen der CEN-Normung europaweit abzustimmen !

A black and white photograph of a large industrial factory floor filled with numerous railway wheel assemblies. The wheels are arranged in rows, some standing upright and others lying flat. The background shows the structural elements of the factory, including beams and windows.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit