

DIN EN 13104

ICS 45.040

Ersatz für
DIN EN 13104:2011-01**Bahnanwendungen –
Radsätze und Drehgestelle –
Treibradsatzwellen – Konstruktionsverfahren;
Deutsche Fassung EN 13104:2009+A2:2012**

Railway applications –
Wheelsets and bogies –
Powered axles – Design method;
German version EN 13104:2009+A2:2012

Applications ferroviaires –
Essieux montés et bogies –
Essieux-axes moteurs – Méthode de conception;
Version allemande EN 13104:2009+A2:2012

Gesamtumfang 47 Seiten

Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 13104:2009+A2:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13104:2011-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 7 überarbeitet;
- b) Anhang ZA.2 über den Zusammenhang dieser Norm mit EU-Richtlinien wurde an die neue Richtlinie 2008/57/EG und an den letzten Stand der Technischen Spezifikation zur Interoperabilität, durch die grundlegende Anforderung der Richtlinie in technische Anforderungen umgesetzt werden, angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13104: 2002-02, 2009-10, 2011-01
DIN EN 13104 Berichtigung 1: 2003-06

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen —
Radsätze und Drehgestelle —
Treibradsatzwellen —
Konstruktionsverfahren**

Railway applications —
Wheelsets and bogies —
Powered axles —
Design method

Applications ferroviaires —
Essieux montés et bogies —
Essieux-axes moteurs —
Méthode de conception

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 26. Dezember 2008 angenommen und schließt Änderung 1 ein, die am 14. September 2010 vom CEN angenommen wurde, sowie Änderung 2, die am 25. September 2012 vom CEN angenommen wurde.

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 Management-Zentrum des CEN-CENELEC 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, 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

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Symbole und Abkürzungen	7
4 Allgemeines	8
5 Anzusetzende Kräfte und Momente	8
5.1 Arten der Kräfte	8
5.2 Einfluss der bewegten Massen	9
5.3 Einflüsse aus dem Bremsen	13
5.4 Einflüsse aus Bogenlauf und Radgeometrie	13
5.5 Einflüsse aus dem Antrieb	14
5.6 Berechnung des resultierenden Momentes	14
6 Bestimmung der geometrischen Eigenschaften der verschiedenen Bereiche der Radsatzwelle	19
6.1 Spannungen in den verschiedenen Querschnitten der Welle	19
6.2 Bestimmung der Durchmesser der Radsatzwellenschenkel und des Wellenschaftes	23
6.3 Bestimmung der Durchmesser verschiedener Sitze, in Abhängigkeit vom Durchmesser des Radsatzwellenschaftes oder des Radsatzwellenschenkels	23
6.3.1 Dichtringsitzoberfläche	23
6.3.2 Übergang zwischen Dichtringsitz und Radsitz	25
6.3.3 Radsitz ohne anschließenden Sitz	25
6.3.4 Gestaltung bei zwei benachbarten Sitzen	26
6.3.5 Gestaltung bei nicht benachbarten Sitzen	26
7 Höchstzulässige Spannungen	27
7.1 Allgemeines	27
7.2 Stahlgüte EA1N	27
Anhang A (informativ) Beispiel eines Berechnungsbogens für eine Radsatzwellenberechnung	31
Anhang B (informativ) Verfahren für die Berechnung der Belastungsfaktoren für Neigetechnikfahrzeuge	33
Anhang C (informativ) Für Radsatzwellen zu berücksichtigende Kräfte für Schmalspur (metrisch oder annähernd metrisch)	34
Anhang D (normativ) Methode zur Bestimmung der Dauerfestigkeitsgrenzen Stufe 1 für neue Werkstoffe	35
D.1 Anwendungsbereich	35
D.2 Allgemeine Vorschriften für Proben	35
D.3 Allgemeine Vorschriften für Prüfausrüstungen	35
D.4 Dauerfestigkeitsgrenze des Schaftes einer Radsatzwelle („F1“)	36
D.4.1 Geometrie	36
D.4.2 Überprüfung der aufgetragenen Spannung	36
D.4.3 Kriterium für das Prüfende	37
D.4.4 Bestimmung der Dauerfestigkeitsgrenze	37
D.5 Dauerfestigkeitsgrenze der Bohrung einer Radsatzwelle („F2“)	38
D.5.1 Geometrie	38
D.5.2 Überprüfung der aufgetragenen Spannung	38
D.5.3 Kriterium für das Prüfende	38
D.5.4 Bestimmung der Dauerfestigkeitsgrenze	38

D.6	Dauerfestigkeitsgrenze von Radsitzen („F3“ und „F4“)	39
D.6.1	Geometrie	39
D.6.2	Überprüfung der aufgetragenen Spannung	40
D.6.3	Kriterium für das Prüfen	40
D.6.4	Bestimmung der Dauerfestigkeitsgrenze	40
D.7	Inhalt des Prüfberichts	41
Anhang ZA (informativ)  Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG		42
Literaturhinweise		45

Vorwort

Dieses Dokument (EN 13104:2009+A2:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2013, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2013 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument enthält die Änderung 1, die am 2010-09-14 von CEN und die Änderung 2, die am 2012-09-25 von CEN angenommen wurden.

Dieses Dokument ersetzt A2 EN 13104:2009+A1:2010 A2.

Der Beginn und das Ende eines Textes, der durch die Änderung eingefügt oder geändert wurde, wird im Text durch die Markierungen A1 A1 und A2 A2 angezeigt.

A1 Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das dem CEN/CENELEC/ETSI von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie 2008/57/EG. A1

A1 Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2008/57/EG, siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist. A1

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

Einleitung

Radsatzwellen von Schienenfahrzeugen waren die ersten Komponenten von Eisenbahnen, bei denen Dauerfestigkeitsprobleme auftraten.

Vor vielen Jahren wurden bereits besonderen Verfahren entwickelt, die eine festigkeitsgerechte Auslegung erlaubten. Sie beruhen auf Erfahrungen über das Betriebsverhalten von Radsatzwellen, verbunden mit Fehleranalysen, und auf Dauerfestigkeitsuntersuchungen im Labor, die zur Festlegung und Optimierung von Konstruktion und Werkstoffen für Radsatzwellen durchgeführt wurden.

Eine europäische Arbeitsgruppe unter Federführung der UIC¹⁾ hat Anfang der 70er Jahre begonnen, diese Verfahren zu harmonisieren. Die Arbeit führte zu einem ORE²⁾-Dokument für Laufradsatzwellen, das in der Folgezeit in nationale Normen (Frankreich, Deutschland und Italien) eingearbeitet wurde.

Dieses Verfahren wurde anschließend in Frankreich auf die Berechnung von Treibradsatzwellen ausgedehnt, in eine französische Norm gefasst und schließlich in ein UIC-Merkblatt umgewandelt.

Die Literaturhinweise enthalten Verweisungen auf existierende Dokumente. Das dort beschriebene Verfahren gründet auf konventionellen Lastannahmen und ermittelt die Spannungen nach der Biegebalken-Theorie. Die Empfehlungen für die Gestaltung und die zulässigen Beanspruchungen stammen aus Laborversuchen, deren Zuverlässigkeit durch jahrelange Betriebserfahrung verschiedener Bahnen bestätigt wurde.

Diese Norm beruht weitgehend auf diesem Verfahren, das verbessert und in seinem Anwendungsbereich erweitert wurde.

1) UIC: Union Internationale des Chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband).

2) ORE: Office de Recherches et d'Essais de l'UIC.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm:

- gibt Kräfte und Momente an, die aufgrund der Massenwirkungen, Antriebs- und Bremsbedingungen zu berücksichtigen sind;
- gibt das Verfahren zur Spannungsberechnung außengelagerter Radsatzwellen an;
- legt die höchstzulässigen Spannungen für den Stahl der Güte EA1N fest, die in die Berechnung einzusetzen sind nach EN 13261;
- beschreibt die Vorgehensweise zur Ermittlung der höchstzulässigen Spannungen für andere Stähle;
- bestimmt die Durchmesser der verschiedenen Wellenabschnitte. Die bevorzugten Formen und Übergänge werden definiert, um ein sicheres Betriebsverhalten zu erreichen.

Diese Norm gilt für:

- angetriebene Radsätze von rollendem Eisenbahnmateriel mit Voll- und Hohlwellen;
- Laufradsätze mit Voll- und Hohlwellen von Motordrehgestellen;
- Laufradsätze mit Voll- und Hohlwellen von Lokomotiven³⁾;
- Radsätze nach EN 13261;
- alle Spurweiten⁴⁾.

Diese Norm ist anwendbar für Radsatzwellen für Rollendes Material, das für den Einsatz unter üblichen Betriebsbedingungen, wie sie in Europa herrschen, vorgesehen ist. Wenn Zweifel bestehen, ob die Betriebsbedingungen üblich sind, ist es notwendig, vor Anwendung dieser Norm zu entscheiden, ob ein zusätzlicher Konstruktionsfaktor für die maximal zulässigen Spannungen angewendet werden muss. Die Berechnung von Radsätzen für besondere Anwendungsfälle (z. B. Oberbauricht- und -stopfmaschinen) kann entsprechend der vorliegenden Norm ausschließlich für die Lastfälle Eigenfahrt und Fahrt im Zugverband durchgeführt werden. Diese Norm gilt nicht für Arbeitslastfälle. Solche werden separat berechnet.

Für Stadtbahnen und Straßenbahnen können andere zwischen Kunde und Lieferant vereinbarte Normen oder Dokumente zur Anwendung kommen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13260:2009, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle – Radsätze — Produktanforderungen*

EN 13261:2009, *Bahnanwendungen — Radsätze und Drehgestelle – Radsatzwellen — Produktanforderungen*

3) In Frankreich beinhaltet der Begriff „Lokomotive“ locomotive, locomoteur und locotracteur.

4) Bei anderen Spurweiten als der Normalspur ist die Anpassung einiger Formeln erforderlich.

3 Symbole und Abkürzungen

In dieser Europäischen Norm werden Symbole und Abkürzungen wie in Tabelle 1 angegeben verwendet.

Tabelle 1

Symbole	Einheit	Bedeutung
m_1	kg	Masse auf Wellenschenkeln (Lager- und Lagergehäusemasse eingeschlossen)
m_2	kg	Radsatzmasse und unabgefederte Massen zwischen den Messkreisebenen (Bremscheiben, Zahnrad, usw.)
$m_1 + m_2$	kg	Radsatzfahrmasse
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
P	N	Radlast $\frac{(m_1 + m_2)g}{2}$
P_0	N	Vertikale Lagerkraft unter symmetrischer Belastung $\frac{m_1 g}{2}$
P_1	N	Vertikale Lagerkraft auf dem höher belasteten Radsatzwellenschenkel
P_2	N	Vertikale Lagerkraft auf dem geringer belasteten Radsatzwellenschenkel
P'	N	Anteil der durch ein mechanisches Bremssystem abzubremsenden Radlast P
Y_1	N	Horizontale Querkraft senkrecht zur Schiene an der Seite des höher belasteten Radsatzwellenschenkels
Y_2	N	Horizontale Querkraft senkrecht zur Schiene an der Seite des geringer belasteten Radsatzwellenschenkels
H	N	Querkraft zum Ausgleich der Kräfte Y_1 und Y_2
Q_1	N	Radaufstandskraft auf der Seite des höher belasteten Wellenschenkels
Q_2	N	Radaufstandskraft auf Seite des geringer belasteten Wellenschenkels
F_i	N	Massenkräfte aus unabgefederten Komponenten zwischen den Rädern (Bremscheiben, Zahnräder, usw.)
F_f	N	Maximale Anpresskraft der Bremsklötze an einem Rad bzw. der Bremsbeläge an einer Scheibenbremse
M_x	Nmm	Biegemoment aus den bewegten Massen
M'_x, M'_z	Nmm	Biegemomente aus Bremskräften
M'_y	Nmm	Torsionsmoment aus Bremskräften
M''_x, M''_z	Nmm	Biegemoment aus Antriebskräften
M''_y	Nmm	Torsionsmoment aus Antriebskräften
MX, MZ	Nmm	Summe der Biegemomente
MY	Nmm	Summe der Torsionsmomente
MR	Nmm	Resultierendes Moment
$2b$	mm	Radsatzlagermitten-Abstand
$2s$	mm	Abstand der Messkreisebenen
h_1	mm	Schwerpunkthöhe der vom Radsatz getragenen Masse über Radsatzwellenmitte
y_i	mm	Abstand vom Messkreis eines Rades zum Kraftangriff F_i
y	mm	Abszisse eines jeden Radsatzwellenquerschnittes vom Angriff der Lagerkraft P_1 gemessen
Γ		Mittlerer Reibungswert zwischen Rad und Bremsklotz oder zwischen Bremsbelag und Scheibe
σ	N/mm ²	In einem Querschnitt berechnete Spannung

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbole	Einheit	Bedeutung
K		Faktor des Spannungsanstieges für Dauerbeanspruchung
R	mm	Nennradius des Messkreises eines Rades
R_b	mm	Bremsradius
d	mm	Durchmesser eines Querschnittes der Radsatzwelle
d'	mm	Durchmesser der Hohlbohrung
D	mm	Durchmesser zur Bestimmung des Spannungserhöhungsfaktors K
r	mm	Radius des Übergangs zur Bestimmung von K
S		Sicherheitsbeiwert
G		Schwerpunkt
R_{fL}	N/mm ²	Dauerfestigkeitsgrenze für Umlaufbiegung bis zu 10 ⁷ Lastwechseln für glatte Proben
R_{fE}	N/mm ²	Dauerfestigkeitsgrenze für Umlaufbiegung bis zu 10 ⁷ Lastwechseln für gekerbte Proben
a_q	m/s ²	Querbeschleunigung
f_q		Stoßfaktor

4 Allgemeines

Die Vorgehensweise bei der Auslegung einer Radsatzwelle ist folgende:

- Bestimmung der Kräfte für die Berechnung und Ermittlung der Momente in den verschiedenen Querschnitten der Radsatzwelle;
- Auswahl der Durchmesser für Radsatzwellenschaft und Lagerschenkel; Berechnung der übrigen Querschnittsdurchmesser auf Grundlage dieser Maße;
- Die Auslegung ist auf folgende Weise zu überprüfen:
 - Spannungsberechnung für jeden Querschnitt;
 - Vergleich der ermittelten Spannungen mit den höchstzulässigen.

Die höchstzulässigen Spannungen werden hauptsächlich bestimmt durch:

- die Stahlgüte;
- die Konstruktion der Radsatzwelle (Vollwelle oder Hohlwelle);
- die Antriebsart.

Ein Beispiel für ein Datenblatt ist im Anhang A angegeben.

5 Anzusetzende Kräfte und Momente

5.1 Arten der Kräfte

Es werden drei Arten von Kräften berücksichtigt:

- aus bewegten Massen;
- aus Bremsung;
- aus Antrieb.

5.2 Einfluss der bewegten Massen

Die Kräfte aus bewegten Massen werden entlang der vertikalen Symmetrieebene (y, z) angesetzt, die die Mittellinie der Radsatzwelle schneidet (siehe Bild 1).

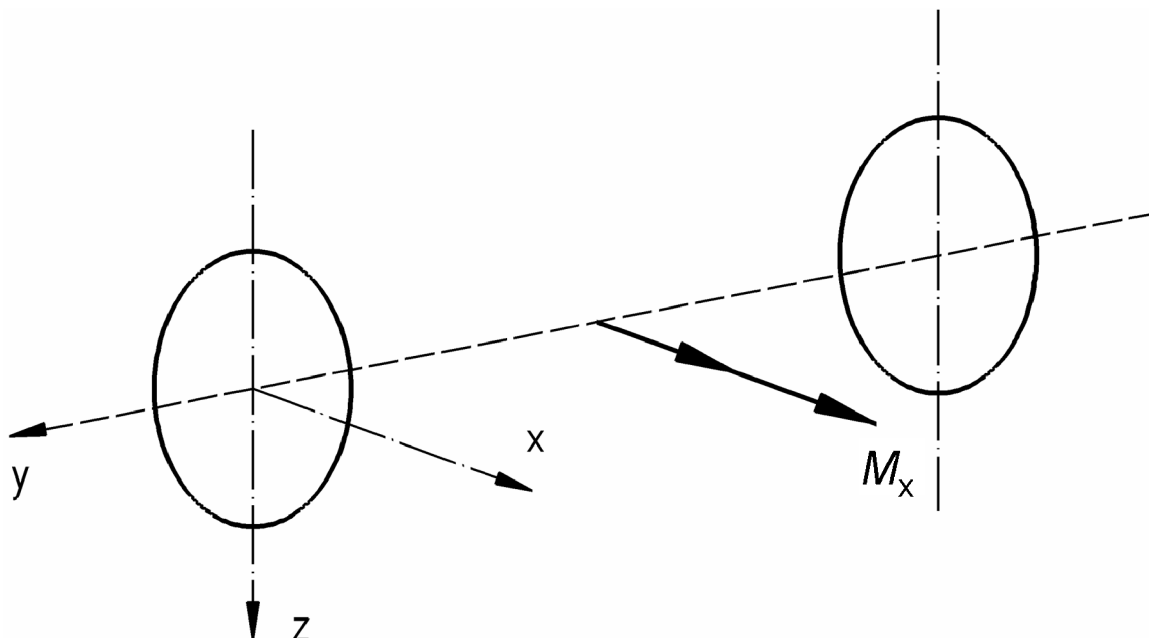


Bild 1

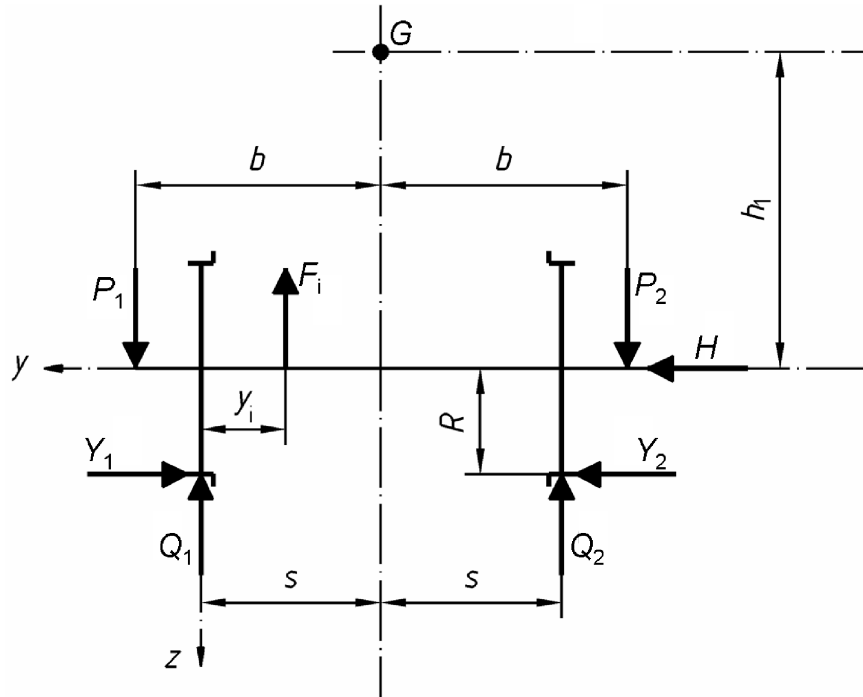
Wenn vom Besteller nicht anders vorgegeben werden die Massen ($m_1 + m_2$) für Vollbahnen nach Tabelle 2 in die Berechnung eingesetzt. Für bestimmte Anwendungsfälle, z. B. Nahverkehrsfahrzeuge, sind andere Ansätze für die Massen entsprechend den besonderen betrieblichen Anforderungen notwendig.

Tabelle 2

Fahrzeugart	Masse ($m_1 + m_2$)
Triebfahrzeuge ohne Fahrgastbeförderung, Gepäckabteil und Postabteil	Für die zu berechnende Radsatzwelle Anteil der Fahrzeugmasse im Betrieb
Triebfahrzeuge mit Fahrgastbeförderung, Gepäck und Postabteil	
1) Hauptbahnfahrzeuge ^a	Masse im Betrieb + $1,2 \times$ Nutzlast, wobei die Masse im Betrieb definiert ist als: Fahrzeugmasse ohne Fahrgäste, Tanks mit Wasser, Sand, Treibstoff, usw. gefüllt; wobei die Nutzlast definiert ist als: Gewicht eines Fahrgastes 80 kg einschließlich Handgepäck; 1 Fahrgast je Sitz; 2 Fahrgäste je m^2 in Gängen und Einstiegsbereichen; 2 Fahrgäste im Begleitabteil; 300 kg/m^2 in Gepäckabteilen.
2) Nahverkehrsfahrzeuge ^{a,b}	Masse im Betrieb + $1,2 \times$ Nutzlast, wobei die Masse im Betrieb definiert ist als: Fahrzeugmasse ohne Fahrgäste, Tanks mit Wasser, Sand, Treibstoff, usw. gefüllt; wobei die Nutzlast definiert ist als: Gewicht eines Fahrgastes 70 kg (wenig oder kein Gepäck); 1 Fahrgast je Sitz; 3 Fahrgäste je m^2 in Durchgangsbereichen; 4 oder 5 Fahrgäste je m^2 in Einstiegsbereichen^b; 300 kg/m^2 in Gepäckabteilen.
^a Die zu berücksichtigenden Nutzlasten zur Bestimmung der Massen von Haupt- und Nahverkehrsfahrzeugen beschreiben die üblichen Betriebsbedingungen der Mitgliedsbahnen der UIC. Sollten die Betriebsbedingungen wesentlich von dem o. g. Angaben abweichen, müssen die Massen z. B. durch Erhöhung oder Verminderung der Fahrgastzahlen je m^2 in Durchgängen und Einstiegsräumen modifiziert werden. ^b Diese Fahrzeuge sind manchmal versehen mit Klassen für die Fahrgäste, z. B. 1. oder 2. Klasse.	

Das Biegemoment M_x in jedem Querschnitt wird, wie in Bild 2 dargestellt, berechnet aus den Kräften P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2 , Y_1 , Y_2 und F_i . Es stellt den ungünstigsten Lastfall für die Radsatzwelle dar, d. h.:

- unsymmetrische Lastverteilung;
- die Richtung der Kräfte F_i aus den unabgefederten Massen wird so gewählt, dass ihr Einfluss auf die Biegung zu den Vertikallasten addiert wird;
- der Wert der Kräfte F_i resultiert aus der Multiplikation der Masse jedes unabgefederten Teils mit 1 g.



Legende

G Schwerpunkt des Fahrzeuges

Bild 2

Tabelle 3 zeigt die Werte der Kräfte aus der Masse m_1 .

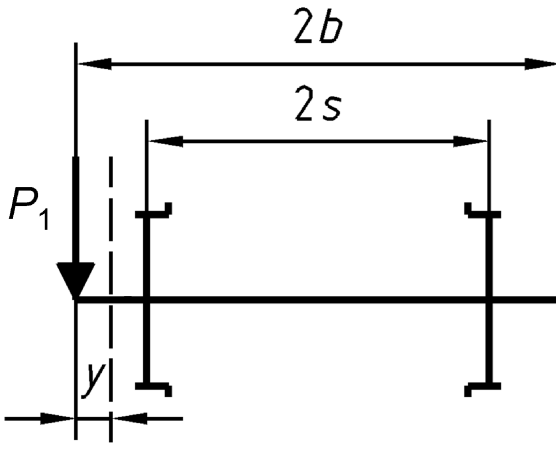
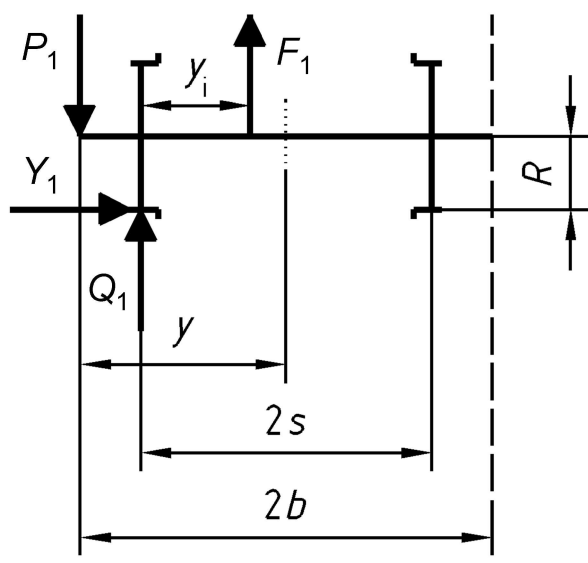
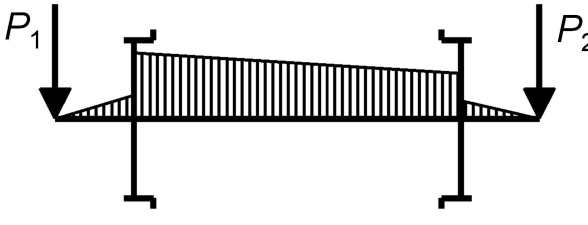
Die Koeffizienten der Formeln gelten für Radsatzwellen der Normalspur und klassische Federung. Für stärker abweichende Spurweiten, z. B. Meterspur, oder neue Federsysteme, z. B. gleisbogenabhängige Wagenkastensteuerung, müssen andere Werte berücksichtigt werden (siehe Anhänge B und C).

Tabelle 3

Für jede Radsatzwelle im Anwendungsbereich dieser Norm	$P_1 = (0,625 + 0,0875 \cdot h_1 / b) m_1 g$ $P_2 = (0,625 - 0,0875 \cdot h_1 / b) m_1 g$ $Y_1 = 0,35 \cdot m_1 g$ $Y_2 = 0,175 \cdot m_1 g$ $H = Y_1 - Y_2 = 0,175 \cdot m_1 g$
Für alle Radsatzwellen	$Q_1 = \frac{1}{2s} [P_1(b+s) - P_2(b-s) + (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i(2s - y_i)]$ $Q_2 = \frac{1}{2s} [P_2(b+s) - P_1(b-s) - (Y_1 - Y_2)R - \sum_i F_i y_i]$

Tabelle 4 zeigt die Berechnungsformeln zur Bestimmung von M_x für jede Zone der Radsatzwelle und die Momentenlinie von M_x über der Radsatzwelle.

Tabelle 4

Zone der Radsatzwelle	M_x^a
Zwischen Lastebene und Messkreisebene	$M_x = P_1 y$ 
Zwischen den Messkreisebenen	$M_x = P_1 y - Q_1(y - b + s) + Y_1 R - \sum F_i(y - b + s - y_i)$  F_i: Kräfte linksseitig des betrachteten Querschnitts
Momentenlinie M_x	
^a Für nichtsymmetrische Radsatzwellen muss die Berechnung durch wechselweises Anwenden auf die beiden Wellenschenkel ausgeführt werden, um den ungünstigsten Lastfall zu erhalten.	

5.3 Einflüsse aus dem Bremsen

Bremsen erzeugt Querschnittsmomente, die durch drei Komponenten M'_x , M'_y , M'_z dargestellt werden können (siehe Bild 3).

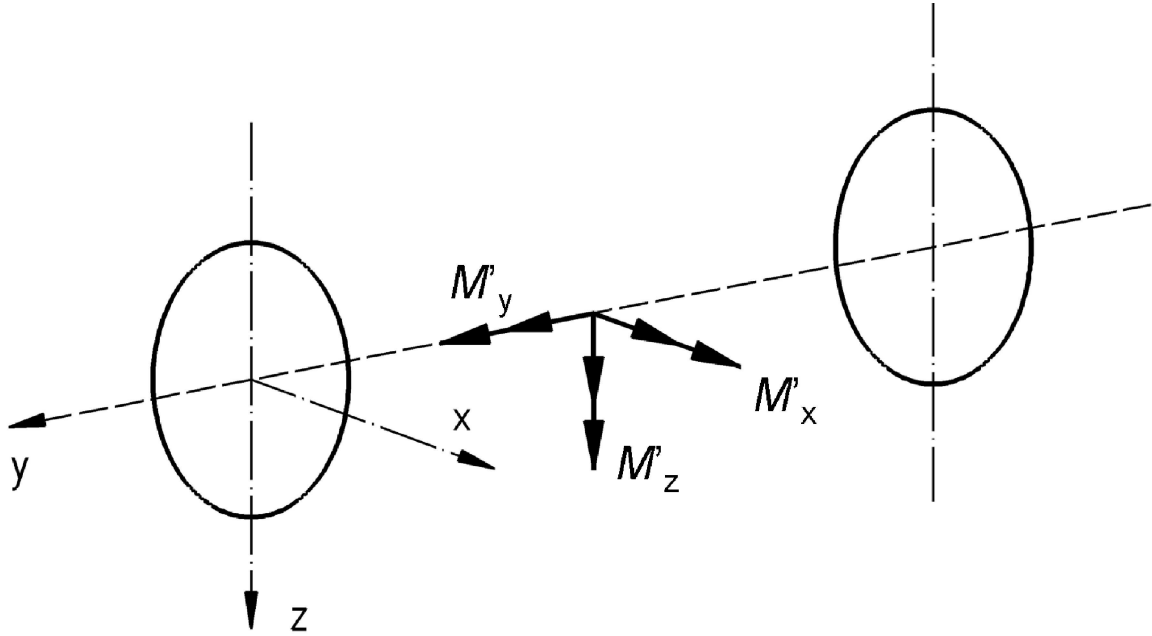


Bild 3

Das Biegemoment M'_x wird durch die vertikalen Kräfte in Richtung der z-Achse erzeugt;

das Biegemoment M'_z wird durch die horizontalen Kräfte in Richtung der x-Achse erzeugt;

das Torsionsmoment M'_y um die Drehachse (y-Achse) wird von Tangentialkräften an den Rädern erzeugt.

Die Komponenten M'_x , M'_y , M'_z sind in Tabelle 6 für die jeweiligen Bremsarten dargestellt.

Werden verschiedene Bremsbedingungen überlagert, müssen die Werte einer jeden Bremssituation addiert werden.

Momente und Kräfte aus generatorischer Bremsung sind zum Beispiel zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Wenn andere Bremsarten verwendet werden, werden die entstehenden Kräfte und Momente nach den gleichen Regeln wie in Tabelle 6 bestimmt. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei der Berechnung des Momentes M'_x gelten, das direkt zu dem Moment M_x aus den bewegten Massen zu addieren ist.

5.4 Einflüsse aus Bogenlauf und Radgeometrie

Für einen ungebremsten Radsatz errechnet sich das Torsionsmoment M'_y zu 0,2 PR und berücksichtigt damit mögliche Differenzen der Raddurchmesser und den Einfluss des Bogenlaufes.

Für einen gebremsten Radsatz sind diese Einflüsse in der Bremswirkung enthalten.