

DIN EN 13001-2

ICS 53.020.20

Entwurf

Einsprüche bis 2019-07-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13001-2:2014-12

**Kransicherheit –
Konstruktion allgemein –
Teil 2: Lasteinwirkungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 13001-2:2019**

Crane safety –
General design –
Part 2: Load actions;
German and English version prEN 13001-2:2019

Sécurité des appareils de levage à charge suspendue –
Conception générale –
Partie 2: Charges;
Version allemande et anglaise prEN 13001-2:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-05-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nam@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM), 60498 Frankfurt am Main, Postfach 71 08 64, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 145 Seiten

DIN-Normenausschuss Maschinenbau (NAM)

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Er beinhaltet die Deutsche Fassung der vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ im Europäischen Komitee für Normung (CEN) ausgearbeiteten prEN 13001-2:2019.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung werden vom Arbeitsausschuss NA 060-22-10 AA „Lenkungsausschuss Krane und Hebezeuge“ und NA 060-22-10-21 AK „Konstruktion – allgemein“ (SpA CEN/TC 147/WG 2 und SpA ISO/TC 96/SC 10) im Fachbereich „Krane und Hebezeuge“ des DIN-Normenausschusses Maschinenbau (NAM) wahrgenommen. Vertreter der Hersteller und Anwender von Krane und Hebezeuge sowie der Berufsgenossenschaften sind an der Erarbeitung beteiligt.

Dieser Norm-Entwurf konkretisiert einschlägige Anforderungen von Anhang I der EU-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG an erstmals im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Verkehr gebrachte Maschinen, um den Nachweis der Übereinstimmung mit diesen Anforderungen zu erleichtern.

Hinweis zu Anhang F: Aufgrund das die Richtlinie 2006/87/EC nicht als eine New Approach Directive angesehen wird und damit keinen direkten Bezug zu der Maschinenrichtlinie besitzt wurde dieser Anhang F in einem anderen Format als der Anhang ZA niedergelegt, um Verwechslungen zu vermeiden.

Für die Anwendung wird darauf hingewiesen, dass unter dem Begriff „Kran“ alle Maschinen zum zyklischen Heben oder zum zyklischen Heben von an Haken oder anderen Lastaufnahmeeinrichtungen hängenden Lasten verstanden werden. Das bedeutet, dass diese Norm auch z. B. für Winden, die diese Definition erfüllen, anzuwenden ist.

Die im Abschnitt 2 und den Literaturhinweisen zitierten Europäischen Normen sind als DIN-EN- bzw. DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Für die zitierten Internationalen Normen, sofern sie nicht als DIN ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, gibt es keine nationalen Entsprechungen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13001-2:2014-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Krane auf Schiffen, die in den Anwendungsbereich der EU-Richtlinie 2006/87/EG (Binnenschiffe) fallen, wurden die folgenden Abschnitte und Tabellen geändert:
 - 1) 4.2.1.2 f) regelmäßige Lasten wurden ergänzt;
 - 2) 4.2.1.4 m) außergewöhnliche Lasten wurden ergänzt;
 - 3) damit verbunden sind wesentliche Änderungen in den Abschnitten 4.2.2.7, 4.2.3.11, 4.2.4.14 sowie in Tabelle 12 und in Tabelle 13 vorgenommen worden;
- b) in 4.2.2.4 wurden Bild 5a) und Bild 5b) geändert und für jedes Bild wurde zur Verdeutlichung eine Formel hinzugefügt;
- c) Anhang ZA wurde grundlegend überarbeitet und gibt die Relation zu EN 13001-Reihe wieder.

Kransicherheit — Konstruktion allgemein — Teil 2: Lasteinwirkungen

Sécurité des appareils de levage à charge suspendue — Conception générale — Partie 2 : Charges

Crane safety — General design — Part 2: Load actions

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: zweite CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole und Abkürzungen	6
4 Sicherheitsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Lasten	11
4.2.1 Allgemeines	11
4.2.2 Regelmäßige Lasten	12
4.2.3 Nicht regelmäßige Lasten	21
4.2.4 Außergewöhnliche Lasten	29
4.3 Lastkombinationen	37
4.3.1 Allgemeines	37
4.3.2 Situationen mit hohem Risiko	38
4.3.3 Günstige und ungünstige Massen	38
4.3.4 Teilsicherheitsbeiwerte für die Masse des Krans	39
4.3.5 Teilsicherheitsbeiwerte, die auf aus Verschiebungen ermittelten Lasten anzuwenden sind	40
4.3.6 Lastkombinationen für den Sicherheitsnachweis	41
4.3.7 Nachweis der Standsicherheit des Krans	45
Anhang A (informativ) Aerodynamische Koeffizienten	48
A.1 Allgemeines	48
A.2 Einzelbauteile	51
A.3 Ebene und räumliche Fachwerkbauteile	56
A.4 Tragwerksbauteile in Reihenordnung	58
Anhang B (informativ) Darstellung der Klassen der Hubwerkstypen	61
Anhang C (informativ) Berechnung des Lastbeiwerts für indirekt wirkende Hubkraftbegrenzer	64
Anhang D (informativ) Leitlinien für die Auswahl von Risikobeiwerten	66
Anhang E (informativ) Auswahl einer geeigneten Gruppe von Krannormen für eine gegebene Anwendung	68
Anhang F (informativ) Anforderungen der Richtlinie 2006/87/EG	69
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2006/42/EG	70
Literaturhinweise	71

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13001-2:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 147 „Krane — Sicherheit“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13001-2:2014 ersetzen.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

CEN/TC 17/WG 2 hat die EN 13001-2:2014 überarbeitet, um das Dokument an den technischen Fortschritt, an neue Anforderungen und an die Änderungen in den in Bezug genommenen Dokumenten anzupassen. Die wesentlichen Themen und Änderungen sind:

- Krane auf Schiffen, die in den Anwendungsbereich der EU-Richtlinie 2006/87/EG (Binnenschiffe) fallen:
 - regelmäßige Lasten wurden ergänzt; siehe 4.2.1.2 f);
 - außergewöhnliche Lasten wurden ergänzt; siehe 4.2.1.4 m);
 - die wesentlichen Änderungen wurden in 4.2.2.7, 4.2.3.11, 4.2.4.14 sowie in Tabelle 12 bis Tabelle 14 vorgenommen;
- 4.2.2.4; Bild a) und Bild b) wurden geändert und für jedes Bild wurde zur Verdeutlichung eine Formel hinzugefügt;
- Anhang ZA wurde grundlegend überarbeitet.

Diese Europäische Norm ist ein Teil der Normenreihe EN 13001. Die anderen Teile sind folgende:

- *Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen*
- *Teil 2: Lasteinwirkungen*
- *Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken*
- *Teil 3-2: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Drahtseilen in Seiltrieben*
- *Teil 3-3: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Laufrad/Schiene-Kontakten*
- *Teil 3-4: Grenzzustände und Sicherheitsnachweise für Maschinenbauteile — Lager*
- *Teil 3-5: Grenzzustände und Sicherheitshinweise von geschmiedeten Haken und gegossene Haken*
- *Teil 3-6: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Maschinenbauteilen — Hydraulikzylinder*

Zum Zusammenhang mit anderen Europäischen Normen für Krane siehe Anhang E.

Einleitung

Dieses Dokument wurde erarbeitet, um als harmonisierte Norm ein Mittel für die mechanische Auslegung und den theoretischen Nachweis von Kranen bereitzustellen, um die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen der EU-Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie), in der geänderten Fassung, zu erfüllen. Diese Europäische Norm bildet außerdem Schnittstellen zwischen dem Anwender (Käufer) von Kranen und dem Konstrukteur sowie zwischen dem Konstrukteur und dem Bauteilhersteller, um eine Grundlage für die Auswahl von Kranen und Bauteilen zu schaffen.

Diese Europäische Norm ist eine Typ-C-Norm, wie in EN ISO 12100 angegeben.

Auf die betreffenden Maschinen und die behandelten Gefährdungen wird im Anwendungsbereich dieser Norm hingewiesen.

Für Krane gilt: Wenn die Festlegungen in dieser Typ-C-Norm von den Festlegungen in Typ-A- oder Typ-B-Normen abweichen, haben die Festlegungen dieser Typ-C-Norm Vorrang gegenüber den Festlegungen der anderen Normen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Lasteinwirkungen fest, und ist zusammen mit den Normen EN 13001-1 und EN 13001-3 anzuwenden. Zusammen spezifizieren sie die Bedingungen und die Anforderungen an die konstruktive Gestaltung zur Vermeidung von mechanischen Gefährdungen bei Kranen und sie bietet eine Methode der Überprüfung dieser Anforderungen.

ANMERKUNG Besondere Anforderungen für spezielle Krantypen sind in der zutreffenden Europäischen Norm für den speziellen Krantyp angegeben.

Im Folgenden ist eine Auflistung von signifikanten Gefährdungssituationen und Gefährdungsereignissen gegeben, die Risiken für Personen während des normalen Gebrauchs und vorhersehbarem Missbrauch (des Krans) zur Folge haben könnten. Abschnitt 4 dieses Dokument wird zur Reduzierung oder Eliminierung der mit den folgenden Gefährdungen verbundenen Risiken benötigt:

- a) Instabilität des Krans oder seiner Teile (Kippen);
- b) Überschreitung der Festigkeitsgrenzwerte (Fließgrenze, Bruch-, Ermüdungsfestigkeit);
- c) elastische Instabilität des Krans oder seiner Teile (Knicken, Ausbeulen);
- d) Überschreitung von Temperaturgrenzwerten des Werkstoffs oder der Komponenten;
- e) Überschreitung der Verformungsgrenzwerte.

Diese Europäische Norm gilt nicht für Krane, die vor dem Datum der Veröffentlichung dieser Norm als Europäische Norm hergestellt 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 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 13001-1, *Krane — Konstruktion allgemein — Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen*

ISO 4306-1:2007, *Cranes — Vocabulary — Part 1: General*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, ISO 4306-1:2007, Abschnitt 6, und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1.1

Hublast

Summe der vom Kran angehobenen Massen, die als das Maximum gilt, für dessen Heben der Kran in der Konfiguration und unter den Betriebsbedingungen konstruktiv ausgelegt ist, die zu berücksichtigen sind.

3.1.2

Einzelfehler-Sicherheitssystem

krafttragende Anordnung verschiedener Bauteile, die so angeordnet sind, dass bei Ausfall eines einzelnen Bauteils in der Anordnung die krafttragende Fähigkeit nicht verloren geht

3.1.3

Schiff

schwimmende Konstruktion

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vorstehende Definition beschränkt sich auf Schiffe, die in den Anwendungsbereich der EU-Richtlinie 2006/87/EG (Binnenschiffe) fallen.

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Abkürzungen.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
A1 bis A4	Lastkombinationen aus regelmäßigen Lasten
A	Charakteristische Fläche eines Kranbauteils
A_g	Projektion der Hublast auf eine Ebene senkrecht zur Richtung der Windgeschwindigkeit
A_c	Fläche, die von der Begrenzung eines Fachwerkelements in der Ebene seiner charakteristischen Höhe d umschlossen wird
A_j	Fläche eines einzelnen Kranelements, projiziert auf die Ebene der charakteristischen Höhe d
b_h	Schienenkopfbreite
b	Charakteristische Breite eines Kranelementes
B1 bis B5	Lastkombinationen aus regelmäßigen und nicht regelmäßigen Lasten

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
c	Federkonstante
c_o, c_a, c_{oy}, c_{oz}	Aerodynamische Koeffizienten
C1 bis C11	Lastkombinationen aus regelmäßigen, nicht regelmäßigen und außergewöhnlichen Lasten
CFF, CFM	Gekoppelte Radpaare des Systems F/F oder F/M
d	Charakteristische Abmessung eines Kranelements
d_i, d_n	Abstand zwischen Radpaar i oder n und den Führungsmitteln
e_G	Breite der Lücke einer Schiene
f	Reibungskoeffizient
f_i	Lasten
f_q	Eigenfrequenz
f_{rec}	Term bei der Berechnung $v(z)$
F	Kraft, allgemein
F, F_y, F_z	Windlasten
$\hat{F}$	Maximale Pufferkraft
F_i, F_f	Anfangs-(i)- und End-(f)-Antriebskraft
ΔF	Veränderung der Antriebskraft
$F_{x1i}, F_{x2i},$ F_{y1i}, F_{y2i}	Tangentiale Radkräfte
F_y	Führungskraft
F_{z1i}, F_{z2i}	Vertikale Radkräfte
F/F, F/M	Abkürzungen für fest/fest und fest/lose zur Beschreibung der Möglichkeit von Querbewegungen der Kranräder
g	Fallbeschleunigung
h	Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und den Führungsmitteln eines schräglaufenden Krans
$h(t)$	Zeitabhängige Unebenheitsfunktion
h_s	Höhe der Stufe einer Schiene
H_1, H_2	Seitliche Radkräfte, verursacht durch Antriebskräfte, die auf einen Kran oder eine Laufkatze mit asymmetrischer Massenverteilung wirken
HC1 bis HC4	Steifigkeitsklassen
HD1 bis HD5	Klassen der Hubwerkstypen und deren Betriebsweise
i	Laufende Nummer
IFF, IFM	Unabhängige Radpaare des Systems F/F oder F/M

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
j	Laufende Nummer
k	Laufende Nummer
K	Widerstandsbeiwert des Geländes
K_1, K_2	Rauigkeitsbeiwerte
l	Spannweite eines Krans
l_a	Aerodynamische Länge eines Kranelements
l_o	Geometrische Länge eines Kranelements
m_H	Masse der Hublast
m	Masse des Krans und der Hublast
Δm_H	Abgesetzter oder losgelassener Teil der Hublast
n	Anzahl der Räder auf jeder Seite der Kranbahn
n_m	Exponent bei der Berechnung des Schirmfaktors η
p	Anzahl der Paare mit gekoppelten Rädern
q	Äquivalenter statischer Winddruck
$\bar{q}$	Mittlerer Winddruck
$q(z)$	Äquivalenter statischer Winddruck bei Sturm
$q(3)$	Winddruck bei $v(3)$
r	Radradius
R	Wiederholungsintervall (Auftrittswahrscheinlichkeit) von Wind außer Betrieb
Re	Reynoldszahl
s_g	Spiel der Führung
s_y	Querschlupf an den Führungsmitteln
s_{yi}	Querschlupf am Radpaar i
S	Lasteinwirkung
$\hat{S}$	Maximale Lasteinwirkung
S_i, S_f	Anfangs- und End-Lasteinwirkung
ΔS	Veränderung der Lasteinwirkung
t	Zeit
u	Pufferhub
$\hat{u}$	Maximaler Pufferhub
v	Fahrgeschwindigkeit des Krans
$\bar{v}$	Konstante mittlere Windgeschwindigkeit

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
$\bar{v}^*$	Konstante mittlere Windgeschwindigkeit, falls die Windrichtung nicht senkrecht zur Längsachse des jeweiligen Kranelements ist
$v(z)$	Äquivalente statische Windgeschwindigkeit für Sturm
$v(z)^*$	Äquivalente statische Windgeschwindigkeit für Sturm, falls die Windrichtung nicht senkrecht zur Längsachse des jeweiligen Kranelementes ist
$v(3)$	Böenwindgeschwindigkeit, gemittelt über eine Zeitspanne von 3 Sekunden
v_g	Böen-Amplitude über 3 Sekunden
v_h	Hubgeschwindigkeit
$v_{h,max}$	Maximale konstante Hubgeschwindigkeit
$v_{h,CS}$	Konstante Hub-Kriechgeschwindigkeit
$v_m(z)$	Mittlere Windgeschwindigkeit in der Höhe z über 10 Minuten für Sturm
v_{ref}	Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm
w_b	Radstand (Abstand zwischen den Führungsmitteln)
z	Höhe über dem Boden
$z(t)$	Zeitabhängige Koordinate des Massenmittelpunktes
α_r	Relative aerodynamische Länge
α_w	Winkel zwischen der Richtung der Windgeschwindigkeit $\bar{v}$ oder $v(z)$ und der Länge des jeweiligen Kranelements
α	Schräglaufwinkel
α_g	Teil des Schräglaufwinkels α aufgrund des Spiels der Führung
α_G, α_s	Terme bei der Berechnung von ϕ_4
α_t	Teil des Schräglaufwinkels α aufgrund von Toleranzen
α_w	Teil des Schräglaufwinkels α aufgrund von Verschleiß
β	Winkel zwischen horizontaler Ebene und nicht-horizontaler Windrichtung
β_2	Term bei der Berechnung von ϕ_2
β_3	Term bei der Berechnung von ϕ_3
γ_f	Globaler Sicherheitsbeiwert
γ_m	Widerstandsbeiwert
γ_n	Risikobeiwert
γ_p	Teilsicherheitsbeiwert
γ_s	Zusätzlicher Sicherheitsbeiwert für die Standsicherheit
δ	Term bei der Berechnung von ϕ_1

Symbole, Abkürzungen	Beschreibung
ε_S	Konventioneller Anfahrsbeiwert
ε_M	Konventioneller Beharrungsbeiwert
η	Abschattungsfaktor
η_w	Faktor für die verbleibende Hublast im Zustand außer Betrieb
λ	Aerodynamisches Schlankheitsverhältnis (effektive Streckung)
μ, μ'	Anteile der Spannweite l
F	Term bei der Berechnung der Führungskraft F_y
F_{1i}, F_{2i}	Terme bei der Berechnung von F_{y1i} und F_{y2i}
ξ	Term bei der Berechnung von ϕ_7
ξ_{1i}, ξ_{2i}	Terme bei der Berechnung von F_{x1i} und F_{x2i}
$\xi_G(\alpha_G), \xi_S(\alpha_S)$	Kurvenfaktoren
ρ	Luftdichte
φ	Dichteverhältnis (Völligkeitsgrad)
ϕ_i	Dynamik-Beiwerte
ϕ_1	Dynamik-Beiwert für die Masse des Krans
ϕ_2	Dynamik-Beiwert der Hublast beim Anheben einer unbehinderten Last vom Boden während des regulären Betriebs
ϕ_{2C}	Dynamik-Beiwert der Hublast beim Anheben einer unbehinderten Last vom Boden unter außergewöhnlichen Bedingungen
$\phi_{2,min}$	Term bei der Berechnung von ϕ_2
ϕ_3	Dynamik-Beiwert für Trägheits- und Gravitationseinwirkungen beim plötzlichen Loslassen eines Teils der Hublast
ϕ_4	Dynamik-Beiwert für Lasten aus Fahren über Unebenheiten
ϕ_5	Dynamik-Beiwert für Lasten aus Beschleunigung aller Kranantriebe
ϕ_6	Dynamik-Beiwert für Prüflasten
ϕ_7	Dynamik-Beiwert für Lasten aus Pufferkräften
ϕ_8	Böen-Reaktionswert
ϕ_L, ϕ_{ML}	Beiwerte für die Berechnung der Kraft bei aktiviertem Last- oder Momentbegrenzer
ψ	Abminderungsfaktor bei der Berechnung von aerodynamische Koeffizienten (Formbeiwerten)

4 Sicherheitsanforderungen und/oder Schutzmaßnahmen

4.1 Allgemeines

Lasten und Lastkombinationen, wie in 4.2 und 4.3 angegeben, dürfen nur für spezifische Konfigurationen und Betriebsbedingungen des Krans als relevant gelten.

Die Lasteinwirkungen müssen für den Nachweis gegen Versagen durch unkontrollierte Bewegung, durch Fließen, durch elastische Instabilität und, wo zutreffend, durch Ermüdung berücksichtigt werden.

4.2 Lasten

4.2.1 Allgemeines

4.2.1.1 Einleitung

Die auf einen Kran wirkenden Lasten werden, wie in 4.2.1.2, 4.2.1.3 und 4.2.1.4 angegeben, in regelmäßige, nicht regelmäßige und außergewöhnliche Lasten eingeteilt. Die beim rechnerischen Nachweis von Aufstiegen und Begehungen zu berücksichtigenden, lediglich lokal wirkenden Lasten sind in 4.2.4.13 angegeben. Kombinationen von regelmäßigen, nicht regelmäßigen und außergewöhnlichen Lasten in die Lastkombinationen A, B und C sind in 4.3 angegeben.

4.2.1.2 Regelmäßige Lasten

Regelmäßige Lasten sind Lasten, die bei normalem Betrieb häufig auftreten.

- a) Beschleunigung aus Anheben und Gravitation, auf die Masse des Krans wirkend;
- b) Trägheit und Gravitation, vertikal auf die Hublast wirkend;
- c) Lasten aus Fahren über Unebenheiten;
- d) Lasten aus Beschleunigung aller Kranantriebe (Massenkräfte);
- e) Lasten aus Weggrößen;
- f) Lasten aus Neigungen und Fahrbewegungen des Schiffs.

4.2.1.3 Nicht regelmäßige Lasten

- a) Lasten aus Wind in Betrieb;
- b) Schnee- und Eislasten;
- c) Lasten aus Wärmewirkungen;
- d) Lasten aus Schräglauf.

Nicht regelmäßige Lasten treten selten auf. Sie werden bei der Berechnung der Ermüdungsfestigkeit in der Regel vernachlässigt.

4.2.1.4 Außergewöhnliche Lasten

- a) Lasten aus dem Anheben einer Last vom Boden unter außergewöhnlichen Verhältnissen;
- b) Lasten aus Wind außer Betrieb;
- c) Prüflasten;
- d) Lasten aus Pufferstoß;
- e) Lasten aus Kippkräften;
- f) Lasten aus Not-Aus;
- g) Lasten aus dynamischer Abschaltung durch die Hubkraftbegrenzungseinrichtung;
- h) Lasten aus dynamischer Abschaltung durch die Hubmomentbegrenzungseinrichtung;
- i) Lasten aus unbeabsichtigtem Verlust der Hublast;
- j) Lasten aus Triebwerks- oder Komponentenversagen;
- k) Lasten aus externer Anregung des Krantragwerks;
- l) Lasten aus Montage und Demontage;
- m) Lasten aus Neigungen und Fahrbewegungen des Schiffs, während sich der Kran in Verstauposition befindet.

Außergewöhnliche Lasten treten auch selten auf und werden in der Regel ebenfalls nicht zur Berechnung der Ermüdungsfestigkeit herangezogen.

4.2.2 Regelmäßige Lasten

4.2.2.1 Auf die Masse des Krans einwirkende Beschleunigung aus Anheben und Gravitation

Beim Anheben der Last vom Boden oder beim Absetzen der Last oder von Teilen davon unterliegt das Krantragwerk dem Einfluss einer Schwingungsanregung, die als Lasteinwirkung zu berücksichtigen ist. Dazu ist die Gewichtskraft der Masse des Krans oder der Kranteile mit dem Beiwert ϕ_1 zu multiplizieren. Abhängig von der Gravitationseinwirkung der Masse und der jeweiligen Lastkombination wird der Beiwert ϕ_1 entweder mithilfe von Formel (1) oder Formel (2) berechnet. Für Definitionen von ungünstigen und günstigen Lasteinwirkungen siehe 4.3.3.

Ist die Gravitationseinwirkung der Masse ungünstig, dann gilt Formel (1):

$$\phi_1 = 1 + \delta \quad \text{mit } 0 \leq \delta \leq 0,1 \quad (1)$$

Ist die Gravitationseinwirkung der Masse günstig, dann gilt Formel (2):

$$\phi_1 = 1 - \delta \quad \text{mit } 0 \leq \delta \leq 0,05 \quad (2)$$

Für Formel (1) und Formel (2) müssen die Höchstwerte für δ verwendet werden, es sei denn, andere Werte sind für den jeweiligen Krantyp durch Messungen, Berechnungen begründet oder aus der jeweilige Europäischen Norm ermittelt.

Die Masse des Krans umfasst jene Komponenten, die sich während des Betriebs ständig am Kran befinden, abgesehen von der Lademasse selbst. Für einige Krane bzw. Anwendungen kann es notwendig sein, die Masse zu erhöhen, um Schüttgutansammlungen zu berücksichtigen.

4.2.2.2 Anheben einer unbehinderten Last vom Boden

Beim Anheben einer unbehinderten Last vom Boden unterliegt der Kran den dynamischen Beanspruchungen bei Übergang der Last vom Boden auf den Kran. Dabei sind diese dynamischen Beanspruchungen durch Multiplikation der Gewichtskraft infolge der Masse der Hublast m_H mit dem Beiwert ϕ_2 zu berücksichtigen, siehe Bild 1.

Die Masse der Hublast beinhaltet die Massen der Nutzlast, der Lastaufnahmemittel und eines Anteils der hängenden Hubseile oder -ketten.

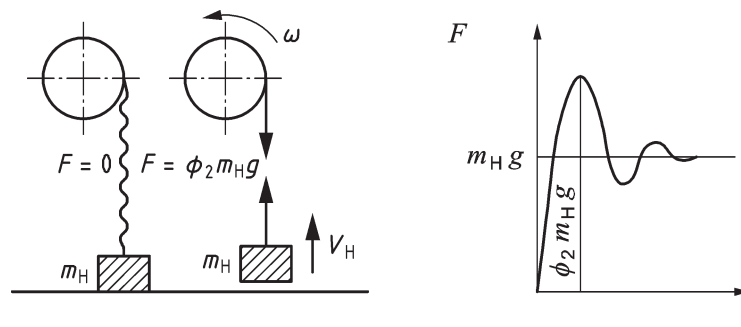


Bild 1 — Dynamische Beanspruchungen beim Anheben einer Last vom Boden

Die Werte für ϕ_2 und für ϕ_{2C} müssen entweder mithilfe der Formel (3) berechnet oder in einem Versuch oder mithilfe dynamischer Analysen ermittelt werden. Wird Formel (3) nicht angewendet, müssen die wahren Eigenschaften des Antriebssystems und die elastischen Eigenschaften des gesamten lasttragenden Systems berücksichtigt werden.

Der Dynamik-Beiwert ϕ_2 (bzw. ϕ_{2C} für die Lastkombination C1, siehe 4.2.4.1) ist mit Formel (3) zu ermitteln:

$$\phi_2 = \phi_{2,\min} + \beta_2 \times v_h \quad (3)$$

Dabei ist

- β_2 der Beiwert, abhängig von der Steifigkeitsklasse des Krans nach Tabelle 2;
- v_h die charakteristische Hubgeschwindigkeit der Last, in [m/s], die sich für die Berechnung von ϕ_2 und ϕ_{2C} unterscheidet, wie in Tabelle 3 angegeben;
- $\phi_{2,\min}$ der Mindestwert von ϕ_2 und ϕ_{2C} nach Tabelle 4.

Für die Anwendung der vorliegenden Norm können Krane in die Steifigkeitsklassen von HC1 bis HC4 entsprechend den elastischen Eigenschaften des Krans und dessen Tragwerks eingeordnet werden. Die Steifigkeitsklassen von Tabelle 2 müssen anhand der charakteristischen vertikalen Lastverlagerung δ ausgewählt werden.

Tabelle 2 — Steifigkeitsklassen

Steifigkeitsklasse	Charakteristische vertikale Lastverlagerung δ	Beiwert β_2 [s/m]
HC1	$0,8 \text{ m} \leq \delta$	0,17
HC2	$0,3 \text{ m} \leq \delta < 0,8 \text{ m}$	0,34
HC3	$0,15 \text{ m} \leq \delta < 0,3 \text{ m}$	0,51
HC4	$\delta < 0,15 \text{ m}$	0,68

Die Steifigkeitsklassen wurden in früheren Ausgaben dieser Norm als Hubklassen bezeichnet.

Die charakteristische vertikale Lastverlagerung δ muss durch Messung ermittelt werden oder muss aus der Elastizität des Krantragwerks, der Seilanlage und der Kranlager mithilfe des Höchstwerts der Hublast berechnet werden, wobei die Teilsicherheitsbeiwerte und die Dynamik-Beiwerte gleich 1,0 anzusetzen sind. Produktnormen für Krane können spezifische Hinweise hinsichtlich der Auswahl der Steifigkeitsklassen geben.

Wenn die charakteristische vertikale Lastverlagerung δ von den unterschiedlichen Krankonfigurationen abhängt, darf der Höchstwert von δ für die Auswahl der Steifigkeitsklasse verwendet werden.

Für die Anwendung der vorliegenden Norm müssen die Hubwerksantriebe in die Klassen HD1 bis HD5 in Abhängigkeit von den Steuerungseigenschaften eingeteilt werden, da die Masse der Last vom Boden an den Kran übergeben wird. Die Klassen der Hubwerkstypen sind wie folgt festgelegt:

- HD1: Kein Feinhub vorhanden oder Beginn des Hubvorgangs (Start des Hubwerksantriebes) ohne Feinhub möglich;
- HD2: Beginn des Hubvorgangs nur mit Feinhub möglich, wobei eine vorgegebene Minstdauer erforderlich ist;
- HD3: Beibehaltung des Feinhubes durch die Steuerung des Hubwerksantriebes, bis die Last vom Boden angehoben ist;
- HD4: Stufenlose Steuerung des Hubwerksantriebes mit stetigem Hochlaufen der Geschwindigkeit;
- HD5: Stufenlose Steuerung des Hubwerksantriebes stellt automatisch sicher, dass der Dynamik-Beiwert ϕ_2 den Mindestbeiwert $\phi_{2,min}$ nicht überschreitet.

Siehe Anhang B für eine Erläuterung der Klassen der Hubwerkstypen.

Die für die Lastkombinationen A, B und C verwendete charakteristische Hubgeschwindigkeit v_h ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Charakteristische Hubgeschwindigkeiten v_h zur Berechnung von ϕ_2 und ϕ_{2C}

Last- kombination (siehe 4.3.6)	Klasse des Hubwerkstyps					Mit Formel (3) berechneter Beiwert
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5	
A1, B1	$v_{h,max}$	$v_{h,CS}$	$v_{h,CS}$	$0,5 \cdot v_{h,max}$	$v_h = 0$	ϕ_2
C1	–	$v_{h,max}$	–	$v_{h,max}$	$0,5 \cdot v_{h,max}$	ϕ_{2C}
Legende $v_{h,max}$ für Lastkombinationen A1 und B1: die maximale stetige Hubgeschwindigkeit der Last; $v_{h,max}$ für Lastkombination C1 (siehe 4.2.4.1): die maximale Hubgeschwindigkeit, die sich aus allen Antrieben ergibt (z. B. Schwenk- und Hubbewegung), die zur Hubgeschwindigkeit der Last beitragen; $v_{h,CS}$ stetige Feinhubgeschwindigkeit.						

Der Mindestwert $\phi_{2,\min}$ hängt von der Kombination der Klassen HC und HD ab und muss aus Tabelle 4 ausgewählt werden.

Tabelle 4 — Auswahl von $\phi_{2,\min}$

Steifigkeitsklasse	Klasse des Hubwerkstyps				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
HC1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
HC2	1,1	1,1	1,05	1,1	1,05
HC3	1,15	1,15	1,05	1,15	1,05
HC4	1,2	1,2	1,05	1,2	1,05

4.2.2.3 Abwurf eines Teils der Hublast

Bei Kranen, die im Rahmen eines normalen Arbeitsvorgangs einen Teil der Hublast abwerfen oder loslassen, kann die höchste dynamische Einwirkung auf den Kran durch Multiplikation der Hublast mit dem Beiwert ϕ_3 (siehe Bild 2) berücksichtigt werden. Ein negativer Wert von ϕ_3 gibt eine hebende Kraft des Krans an.

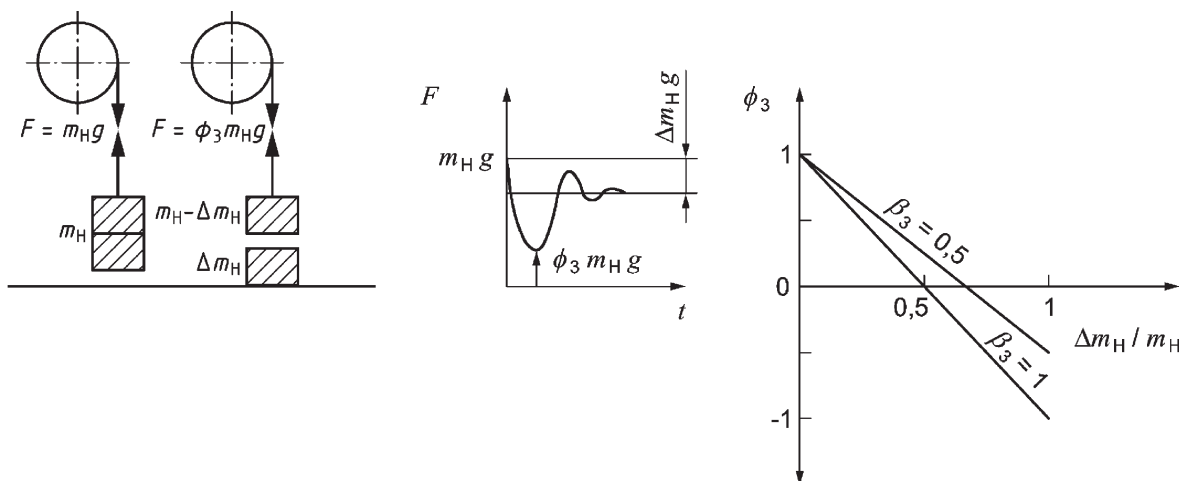


Bild 2 — Beiwert ϕ_3

Der Beiwert ϕ_3 ist wie folgt zu ermitteln:

$$\phi_3 = 1 - \frac{\Delta m_H}{m_H} (1 + \beta_3) \quad (4)$$

Dabei ist

Δm_H der abgeworfene Teil der Hublast;

m_H die Masse der Hublast;

$\beta_3 = 0,5$ bei Kranen mit Greifern oder ähnlichen Vorrichtungen für langsamen Abwurf;

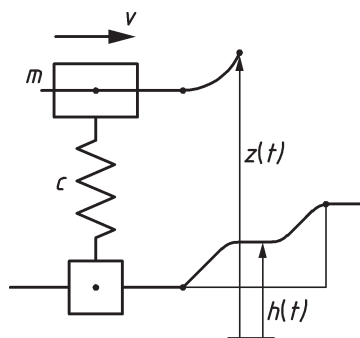
$\beta_3 = 1,0$ bei Kranen mit Magneten oder ähnlichen Vorrichtungen für schnellen Abwurf.

4.2.2.4 Lasten aus Fahren über Unebenheiten

Bei der Berechnung der dynamischen Einwirkungen auf den Kran durch Fahren mit oder ohne Last auf Fahrbahnen oder im Gelände oder auf Schienen müssen die hervorgerufenen Beschleunigungen durch Multiplikation der Gewichtskräfte von Kran und Hublast mit dem Beiwert ϕ_4 berücksichtigt werden.

Die dynamischen Einwirkungen müssen nach einem der folgenden Verfahren bestimmt werden:

- Der Beiwert ϕ_4 wird durch Anwendung eines einfachen Einmassen-Feder-Modells für den Kran, wie nachstehend dargestellt, berechnet. Die Anwendung dieses einfachen Modells ist auf Krane beschränkt, deren tatsächliches dynamisches Verhalten dem des Modells entspricht. Falls mehr als eine Eigenschwingform eine maßgebende Antwort hervorruft und/oder eine Drehbewegung auftritt, darf der Konstrukteur zur Abschätzung der dynamischen Lasten ein für die jeweiligen Umstände geeignetes Modell verwenden.
- Die dynamischen Einwirkungen werden durch Versuche oder durch Berechnung bestimmt, wobei ein geeignetes Modell für den Kran oder die Laufkatze und die Fahrbahnoberfläche oder die Kranbahn zu verwenden ist. Die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche (Lücke, Stufe) muss festgelegt werden.
- Ein üblicher Wert für den Beiwert ϕ_4 kann einer Europäischen Norm für den speziellen Krantypen mit definierten Anforderungen der Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche, entnommen werden.



Legende

- m Masse des Krans und der Hublast
 v konstante horizontale Fahrgeschwindigkeit des Krans
 c Federkonstante, die die Steifigkeit des Krans in der vertikalen Richtung darstellt
 $z(t)$ Koordinate des Massenmittelpunktes
 $h(t)$ Unebenheitsfunktion, die die Stufe oder Lücke der Schiene beschreibt

Bild 3 — Einmassen-Modell eines Krans zur Bestimmung des Beiwerts ϕ_4

Der Beiwert ϕ_4 kann folgendermaßen berechnet werden:

$$\phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr} \xi_s \quad \text{beim Fahren über eine Stufe (siehe Bild 4a)} \quad (5)$$

$$\phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{v^2}{gr} \xi_G \quad \text{beim Fahren über eine Lücke (siehe Bild 4b)} \quad (6)$$

Dabei ist/sind

- v die konstante horizontale Fahrgeschwindigkeit des Krans;
- r der Radius des Laufrades;
- g die Fallbeschleunigung mit $9,81 \text{ m/s}^2$;
- $\xi_s(\alpha_s), \xi_G(\alpha_G)$ Kurvenfaktoren, die für den Zeitabschnitt, nachdem das Rad die Unebenheit passiert hat, maximal werden; sie können für $\alpha_s < 1,3$ und $\alpha_G < 1,3$ mit den in Bild 5 angegebenen Diagrammen bestimmt werden.

Dabei ist

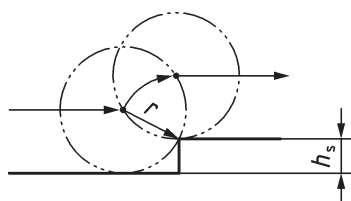
$$\alpha_s = \frac{2f_q h_s}{v} \sqrt{\frac{2r}{h_s}} \quad (\text{siehe Bild 5a});$$

$$\alpha_G = \frac{f_q e_G}{v} \quad (\text{siehe Bild 5b});$$

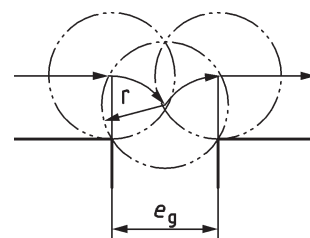
h_s die Höhe der Stufe (siehe Bild 4);

e_G die Breite der Lücke (siehe Bild 4), Lücken mit einem ebenen (Draufsicht) Winkel von 60° oder kleiner in Bezug auf den Fahrweg (z. B. Schienestoßfugen) können vernachlässigt werden;

$f_q = \frac{\sqrt{c/m}}{2\pi}$ die Eigenfrequenz des Einmassen-Modells des Krans (siehe Bild 3); falls sie unbekannt ist, kann sie mit 10 Hz angenommen werden.

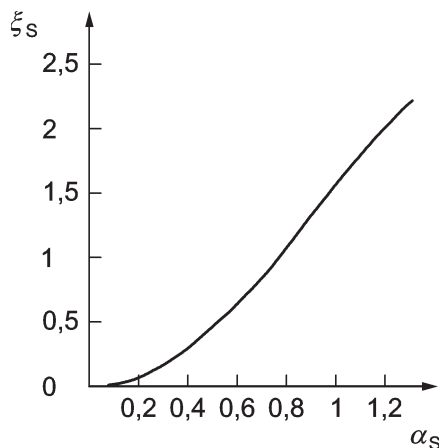


a) Fahren über eine Stufe

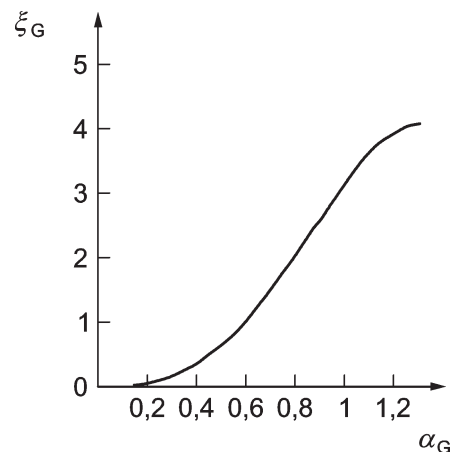


b) Fahren über eine Lücke

Bild 4 — Stufe und Lücke



a) Fahren über eine Stufe



b) Fahren über eine Lücke

Die Werte der Faktoren können wie folgt analytisch ermittelt werden

Für α_S und $\alpha_G \neq 1$

$$\xi_S = \frac{\alpha_S^2}{|1 - \alpha_S^2|} \sqrt{2 + 2 \cos(\pi \alpha_S)}$$

oder

$$\xi_G = \frac{\alpha_G^2}{|1 - \alpha_G^2|} \sqrt{2 - 2 \cos(\pi \alpha_G)}$$

$$\text{Für } \alpha_S = 1; = \frac{\pi}{2}$$

$$\text{Für } \alpha_G = 1; = \pi$$

Bild 5 — Kurvenfaktoren $\xi_S(\alpha_S)$ und $\xi_G(\alpha_G)$

4.2.2.5 Lasten aus der Beschleunigung aller Kranantriebe

Lasten auf einen Kran durch Beschleunigungen oder Verzögerungen aufgrund von Antriebskräften müssen berechnet werden. Ein starrkörperkinetisches Modell kann angewendet werden. Zu diesem Zweck ist die Hublast an der Spitze des Auslegers oder direkt unterhalb der Laufkatze anzunehmen.

Die Lasteinwirkung $\hat{S}$ ist auf die den Antriebskräften ausgesetzten Bauteile und gegebenenfalls auch auf den Kran und die Hublast anzuwenden. Da eine Starrkörperanalyse elastische Beanspruchungen nicht direkt wiedergibt, ist die Lasteinwirkung $\hat{S}$ unter Verwendung eines Beiwertes ϕ_5 wie folgt zu berechnen (siehe Bild 6):

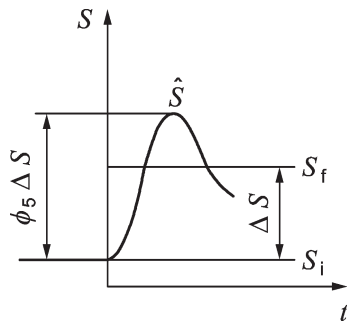
$$\hat{S} = S_i + \phi_5 \Delta S \quad (7)$$

Dabei ist/sind

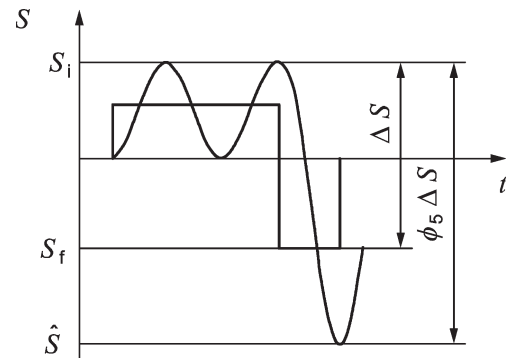
$\Delta S = S_f - S_i$ die Änderung der Lasteinwirkung aufgrund der Änderung der Antriebskraft $\Delta F = F_f - F_i$;

S_i ; S_f die Anfangs-(i)- und End-(f)-Lasteinwirkungen aufgrund von F_i und F_f ;

F_i ; F_f die Anfangs-(i)- und End-(f)-Antriebskräfte.



a) Für die Änderung der Antriebskräfte aus der Beharrung heraus



b) Für den Fall des Positionierens

Bild 6 — Beiwert ϕ_5

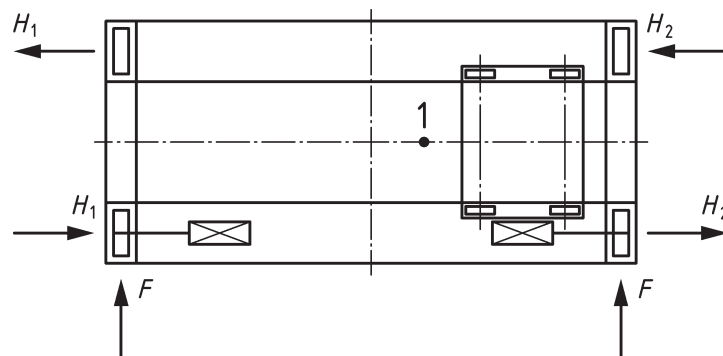
Folgende Werte von ϕ_5 sind anzuwenden:

- | | |
|--------------------------|---|
| $\phi_5 = 1$ | bei Fliehkräften; |
| $1 \leq \phi_5 \leq 1,5$ | bei Antrieben ohne Spiel oder in Fällen, bei denen bestehendes Spiel die dynamischen Kräfte nicht beeinflusst (z. B. typisch für Getriebe) und mit stetiger Änderung der Kräfte; |
| $1,5 \leq \phi_5 \leq 2$ | bei Antrieben ohne Spiel oder in Fällen, bei denen bestehendes Spiel die dynamischen Kräfte nicht beeinflusst (z. B. typisch für Getriebe) und mit plötzlich erfolgter Änderung der Kräfte; |
| $\phi_5 = 3$ | bei Antrieben mit beträchtlichem Spiel (z. B. offenes Getriebe), falls nicht genauer aus einer dynamischen Analyse mit Hilfe eines Feder-Masse-Modells berechnet. |

Sofern eine übertragbare Kraft durch Reibung oder durch die Art des Antriebsmechanismus begrenzt wird, sind die begrenzte Kraft und ein diesem System entsprechender Beiwert ϕ_5 zu verwenden.

Antriebskräfte F , die mit einer asymmetrischen Massenverteilung auf einen Kran oder eine Laufkatze wirken, rufen Horizontalkräfte H_1 und H_2 hervor, wie in Bild 11 dargestellt. Diese müssen als regelmäßige Lasten berücksichtigt werden, die auf Führungsmittel in den Eckpunkten des Krans wirken. Wenn eine Führungsrolle vorhanden ist, muss die horizontale Gesamtkraft im Eckpunkt auf sie aufgebracht werden. Erfolgt die Führung durch Spurkränze an den Laufrädern, können die Horizontalkräfte zwischen den Rädern in einem Eckpunkt wie folgt verteilt sein:

- 1 oder 2 Räder je Eckpunkt: Aufbringen der Kraft auf das äußerste Rad;
- 3 oder 4 Räder je Eckpunkt: gleichmäßiges Verteilen der Kraft auf die beiden äußersten Räder;
- mehr als 4 Räder je Eckpunkt: gleichmäßiges Verteilen der Kraft auf die drei äußersten Räder.



Legende

- 1 Schwerpunkt

Bild 7 — Auf schienengebundene Krane oder Laufkatzen mit unsymmetrischer Massenverteilung wirkende Kräfte, die durch Beschleunigung der Fahrtriebe hervorgerufen werden

4.2.2.6 Lasten aus Weggrößen

Lasten, die durch Verformung infolge planmäßiger Weggrößen (Verschiebungsgrößen) innerhalb festgelegter Grenzen sowie durch die Konstruktion bedingt hervorgerufen werden, sind zu berücksichtigen, wie z. B.:

- durch Schräglaufregelung der Fahrbewegung bestimmte elastische Verformungen;
- zum Schließen der Lücken in Verbindungen.

Daneben sind weitere Lasten zu berücksichtigen, einschließlich derer, die sich aus Verformungen infolge unplanmäßiger Weggrößen (Verschiebungsgrößen) ergeben, die innerhalb festgelegter Grenzen liegen, sowie einschließlich Maßabweichungen für:

- die Höhe oder Spurweite zwischen Schienen;
- die unebene Ausrichtung von Auflagern.

4.2.2.7 Lasten aus Neigungen und Fahrbewegungen des Schiffs

4.2.2.7.1 Allgemeines

Auf Schiffen montierte Krane sind zusätzlichen Lasten ausgesetzt, die durch die Umgebungsbedingungen hervorgerufen werden, wie beispielsweise der Neigung des Schiffs, Beschleunigungen der Tragkonstruktion durch die Fahrbewegungen des Schiffs oder der relativen Verlagerung zwischen dem Schiff, auf dem der Kran montiert ist, und der lasttragenden Konstruktion (z. B. Kaianlagen). Hierzu sind Anleitungen in EN 13852-1 enthalten. Die jeweiligen Grenzwerte für derartige Bedingungen, bei denen der Kranbetrieb sicher abläuft, sind vom Hersteller festzulegen. Der Hersteller sollte in Erwägung ziehen, Rücksprache mit dem Endanwender zu halten.

4.2.2.7.2 Neigungen des Schiffs

Sofern maßgeblich, müssen Lasten infolge statischer Neigung (Krängung/Trimm) des Schiffs angegeben und auf die Masse des Krans und die Masse der Hublast bezogen werden.

4.2.2.7.3 Beschleunigungen des Schiffs

Soweit maßgeblich, müssen die Lasten angegeben werden, die sich infolge der Fahrbewegungen des Schiffs aus den Beschleunigungen des Krantragwerks ergeben (vertikal und horizontal). Die Beschleunigungen müssen auf die Masse des Krans und die Masse der Hublast bezogen werden.

4.2.2.7.4 Relative Bewegungen

Soweit maßgeblich, müssen die Lasten infolge relativer Bewegungen zwischen dem Schiff, auf dem der Kran montiert ist, und der lasttragenden feststehenden Struktur (z. B. Kaianlagen) oder einer sich bewegenden Struktur (z. B. schwimmende Anlagen, Schiffe, Barge) angegeben und auf die Hublast bezogen werden.

4.2.3 Nicht regelmäßige Lasten

4.2.3.1 Lasten aus Wind in Betrieb

Die Windlasten werden in Bezug auf unterschiedliche Konstruktionsmerkmale wie folgt berechnet:

$$F = q(3) \times c_a \times A \quad \text{effektive Windstärke W1, für die Berechnung des Krantragwerkes} \quad (8)$$

$$F = \varepsilon_S \times q(3) \times c_a \times A \quad \text{effektive Windstärke W2, für die Berechnung der erforderlichen Anfahrkräfte} \quad (9)$$

$$F = \varepsilon_M \times q(3) \times c_a \times A \quad \text{effektive Windstärke W3, für die Berechnung des Leistungsbedarfs des Antriebssystems bei stetiger Bewegung} \quad (10)$$

Dabei ist

- F die senkrecht zur Längsachse des jeweiligen Bauteils wirkende Windlast;
- c_a der aerodynamische Koeffizient des jeweiligen Bauteils; er ist in Verbindung mit der charakteristischen Fläche A zu verwenden. Werte von c_a müssen den in Anhang A angegebenen entsprechen oder müssen aus anerkannten Theorien oder Versuchen abgeleitet werden;
- A die charakteristische Fläche des jeweiligen Bauteils (siehe Anhang A);

mit

- $q(3) = 0,5 \times \rho \times v(3)^2$ der Winddruck bei $v(3)$;
- $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ die Luftdichte;
- $\varepsilon_S = 0,7$ der Beiwert für die effektive Windstärke W2;
- $\varepsilon_M = 0,37$ der Beiwert für die effektive Windstärke W3;
- $v(3) = 1,5 \times \bar{v}$ die Böenwindgeschwindigkeit, gemittelt über eine Zeitspanne von 3 s;
- $\bar{v}$ die mittlere Windgeschwindigkeit, gemittelt über 10 min in 10 m Höhe über ebenem Boden oder dem Meeresspiegel.

Zur Berechnung der Lasten aus Wind in Betrieb wird angenommen, dass der Wind horizontal mit in allen Höhen gleicher mittlerer Geschwindigkeit $\bar{v}$ bläst.

Dabei ist bei einem Kranbauteil die senkrecht zur seiner Längsachse wirkende Komponente $\bar{v}^*$ der Windgeschwindigkeit anzusetzen; sie wird durch $\bar{v}^* = \bar{v} \times \sin \alpha_w$ berechnet, wobei α_w der Winkel zwischen der Richtung der Windgeschwindigkeit $\bar{v}$ und der Längsachse des jeweiligen Bauteils ist.

Die Windlast, die in Richtung der Windgeschwindigkeit auf die Hublast wirkt, wird analog zu der Windlast auf ein Kranbauteil angenommen, wobei jedoch $\bar{v}$ nicht durch $\bar{v}^*$ zu ersetzen ist. Die Faktoren in den für F angegebenen Formeln (siehe vorstehend) haben hier folgende Bedeutung:

F ist die Windlast, die in Richtung der Windgeschwindigkeit auf die Hublast wirkt;

c_a ist der aerodynamische Koeffizient der Hublast in Richtung der Windgeschwindigkeit;

A_g ist die Projektion der Hublast auf eine Ebene senkrecht zur Richtung der Windgeschwindigkeit, in Quadratmeter.

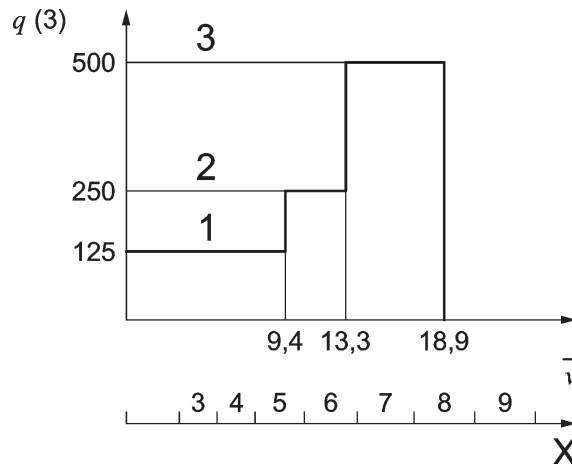
Beim Fehlen von genauen Angaben zur Last sollte $c_a = 2,4$ und $A_g = 0,000\,5 \times m_H$ angenommen werden, wobei m_H die Masse der Hublast, in Kilogramm, ist. A_g darf nicht kleiner als $0,8\,m^2$ angesetzt werden.

In Abhängigkeit vom Typ eines Krans, seiner Konfiguration, seinem Einsatz, seinen Betriebsbedingungen und der spezifizierten Anzahl von Stillstandstagen je Jahr ist eine mittlere Windgeschwindigkeit $\bar{v}$ festzulegen. Tabelle 5 gibt Werte für die mittlere Geschwindigkeit $\bar{v}$ für genormte Stufen von Wind an.

Tabelle 5 — Stufen von Wind in Betrieb und Auslegungswinddrücke

Windstufe			Auslegungswinddrücke bei unterschiedlichen effektiven Windstärken		
Bezeichnung	Charakteristische Windgeschwindigkeit		[N/m ²]		
	$\bar{v}$ [m/s]	$v(3)$ [m/s]	W1	W2	W3
			$q(3)$	$\varepsilon_S \cdot q(3)$	$\varepsilon_M \cdot q(3)$
Leicht	9,4	14	125	88	46
Normal	13,3	20	250	175	92
Schwer	18,9	28	500	350	185
Es dürfen andere Windstufen für einen Kran festgelegt werden. Die Festlegung muss entweder auf den charakteristischen Windgeschwindigkeiten $\bar{v}$ oder $v(3)$ beruhen.					

Der Zusammenhang zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit, der Beaufort-Skala und den Stufen von Wind in Betrieb ist in Bild 8 dargestellt.



Legende

- X Beaufort
- 1 Windstufe: leicht
- 2 Windstufe: normal
- 3 Windstufe: schwer

Bild 8 — Zusammenhang zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit $\bar{v}$, der Beaufort-Skala und den Stufen von Wind in Betrieb

Die konstruktive Ausführung beruht auf folgender Bedingung für den Kranbetrieb: Wenn die am höchsten Punkt des Krans gemessene Windgeschwindigkeit zunimmt und sich dem Wert $v(3)$ nähert, ist der Kran zu sichern oder in eine sichere Konfiguration zu überführen. Da die Methoden und/oder Mittel zur Sicherung verschieden sind und unterschiedlich viel Zeit beanspruchen (Sturmverriegelungen an speziellen Punkten entlang der Kranbahn, handbetriebene oder automatische Schienenzangen), muss mit den Sicherungsmaßnahmen bereits bei einer niedrigeren mittleren Windgeschwindigkeit begonnen werden. Die Windgeschwindigkeiten für die verschiedenen Krankonfigurationen und für den Beginn der Sicherungsmaßnahmen müssen festgelegt sein.

Ein in einen Luftstrom eingebrachtes schlankes Bauteil, das senkrecht zu seiner Längsachse eingeströmt wird, kann aeroelastisch instabil werden. Deshalb müssen konstruktive Maßnahmen vorgesehen sein, die das Auftreten derartiger Beanspruchungen (z. B. Resonanzschwingungen oder Wirbelbildung) sowohl bei Wind in Betrieb als auch bei Wind außer Betrieb verhindern.

4.2.3.2 Schnee- und Eislasten

Falls zutreffend, sind Angaben zu Schnee- und Eislasten zu machen und entsprechend zu berücksichtigen. Dabei sind die vergrößerten Windangriffsflächen zu beachten.

4.2.3.3 Lasten aus Temperaturschwankungen

Wo zutreffend, sind Angaben zu örtlichen Temperaturschwankungen zu machen und entsprechend zu berücksichtigen.

4.2.3.4 Lasten aus Schräglauf

Schräglaufräfte treten beim Fahren oder bei Beharrungsfahrt an den Führungsmitteln von schienengebundenen Kranen oder Laufkatzen auf. Sie werden durch Auflagerreaktionen an den Führungsmitteln hervorgerufen, welche die Räder beim Kran- bzw. Katzfahren aus ihrer frei abrollenden, natürlichen Fahrt oder Laufrichtung ablenken.

Schräglaufräfte, wie vorstehend beschrieben, gelten normalerweise als nicht regelmäßige Lasten. Die Häufigkeit ihres Auftretens hängt jedoch von Art und Aufbau, und der Genauigkeit der Parallelität der Radachsen und dem Betrieb des Krans oder der Laufkatze ab.

In Einzelfällen kann die Häufigkeit des Auftretens von Schräglaufräften deren Einstufung als nicht regelmäßige oder als regelmäßige Lasten erforderlich machen. In den Europäischen Normen für spezielle Krantypen sind Hinweise zur Einstufung und Bestimmung der Schräglaufräfte enthalten.

Die durch den Schräglauf des Krans hervorgerufenen Längs- und Querkkräfte zwischen Rädern und Schienen sowie zwischen Führungsmitteln und Führung müssen berechnet werden. Ein vereinfachtes Modell darf angewendet werden, dabei wird angenommen, dass der Kran sich ohne Schräglaufregelung in Beharrungsfahrt befindet.

Das Modell besteht aus n jeweils in einer Achse liegenden Laufradpaaren, von denen p Paare drehzahlgekoppelt sind. Ein einzelnes Laufradpaar (C) ist entweder mechanisch oder elektrisch gekoppelt. Unabhängig gelagerte, nicht angetriebene oder auch – bei Angleichung – einzeln angetriebene Räder werden als unabhängiges Radpaar (I) angesehen. Die letzte Bedingung gilt auch im Fall von unabhängigen einzelnen Antrieben.

Die Räder sind in geometrischer Soll-Lage in einem starren Krantragwerk ausgerichtet, das auf einer starren Kranbahn fährt. Unterschiede der Raddurchmesser werden bei diesem Modell vernachlässigt. Die Räder sind entweder fest (F) oder beweglich (M) in Bezug auf seitliche Verschiebbarkeit.

Die verschiedenen möglichen Kombinationen von jeweils in einer Achse liegenden Laufradpaaren sind in Bild 9 dargestellt.

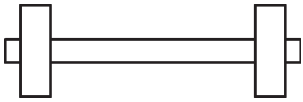
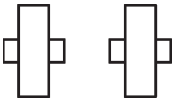
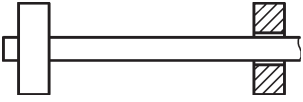
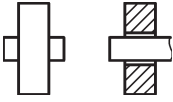
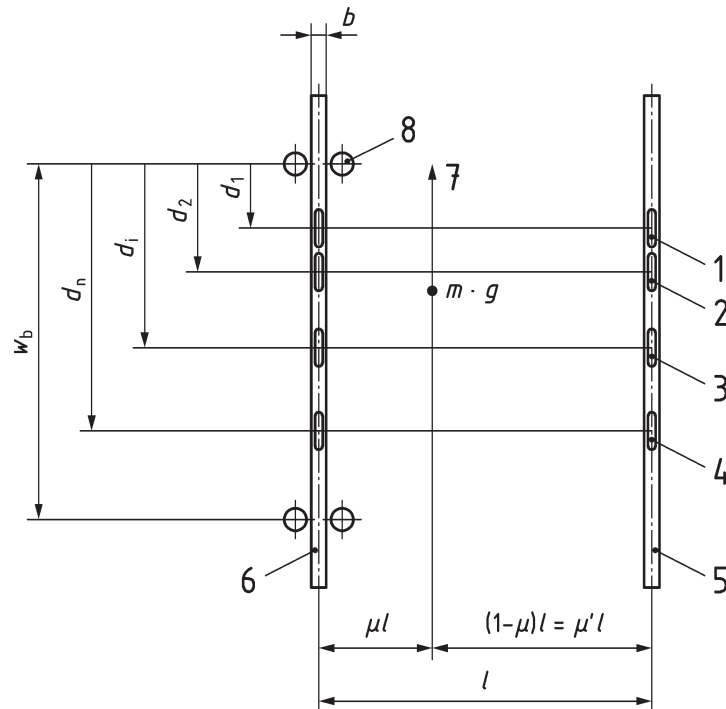
	Gekoppelt (C)	Unabhängig (I)
Fest/Fest (F/F)	 CFF	 IFF
Fest/Beweglich (F/M)	 CFM	 IFM

Bild 9 — Verschiedene Kombinationen von Laufradpaaren

Die Anordnung der Laufradpaare in Bezug auf die in Fahrtrichtung vorderen Führungsmittel wird durch den Abstand d_i beschrieben, wie in Bild 10 dargestellt. Wenn an Stelle von separaten Führungsmitteln Laufräder mit Spurkränzen verwendet werden, muss $d_1 = 0$ eingesetzt werden.

Es wird angenommen, dass die Gewichtskräfte des beladenen Krans in einer Entfernung μl von Schiene 1 angreifen und sie können gleichmäßig auf die n Laufräder auf jeder Seite der Kranbahn verteilt werden.

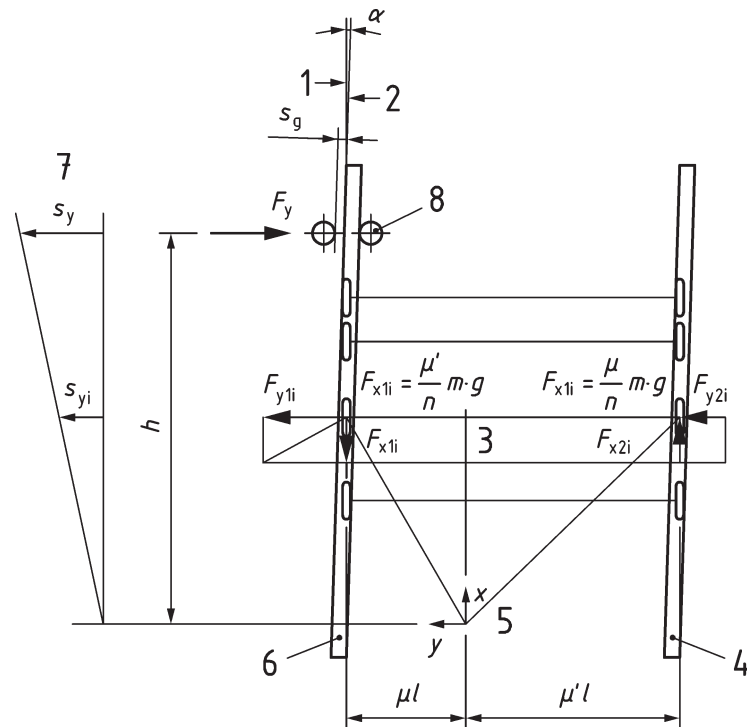


Legende

- 1 Radpaar 1
- 2 Radpaar 2
- 3 Radpaar I
- 4 Radpaar n
- 5 Schiene 2
- 6 Schiene 1
- 7 Fahrtrichtung
- 8 Führungsmittel

Bild 10 — Anordnung der Laufradpaare

Es wird angenommen, dass sich das Kranmodell unter einem Schräglaufwinkel α in Beharrungsfahrt befindet, wie in Bild 10 dargestellt. Dabei kann der Kran durch Spurkränze oder separate Führungsmittel geführt werden.



Legende

- 1 Richtung der Bewegung
- 2 Richtung der Schiene
- 3 Radpaar i
- 4 Schiene 2
- 5 momentaner Gleitpol
- 6 Schiene 1
- 7 Querschlepp
- 8 Führungsmittel

Bild 11 — Auf einen Kran in Schräglageposition einwirkende Lasten

Eine Führungskraft F_y kann auf die Führungen nach 4.2.2.5 aufgebracht werden.

Die Führungskraft F_y ist im Gleichgewicht mit den Radkräften F_{x1i} , F_{y1i} , F_{x2i} , F_{y2i} , die durch Drehung des Krans um den momentanen Gleitpol hervorgerufen werden. Mit dem maximalen Querschlepp $s_y = \alpha$ an den Führungsmitteln und einer linearen Verteilung des Querschlepps s_{yi} zwischen den Führungsmitteln und dem momentanen Gleitpol können die entsprechenden Schräglagekräfte wie folgt bestimmt werden:

Die Führungskraft F_y wird wie folgt berechnet:

$$F_y = v \times f \times m \times g \quad (11)$$

Dabei ist

$m \times g$	die Gewichtskraft infolge der Masse des beladenen Krans;
$f = \mu_0 \times [1 - e^{(-250\alpha)}]$	der Reibungskoeffizient des rollenden Rades;
μ_0	der Reibbeiwert; $\mu_0 = 0,3$ für gereinigte Schienen; $\mu_0 = 0,2$ für ungereinigte Schienen in einer gewöhnlichen Umgebung.
α	der Schräglaufwinkel (siehe Bild 10), in Radiant;
$\nu = 1 - \sum d_i / nh$	für Systeme F/F (siehe Bild 9);
$\nu = \mu'(1 - \sum d_i / nh)$	für Systeme F/M (siehe Bild 9);
h	der Abstand zwischen dem momentanen Gleitpol und den in Fahrtrichtung vorderen Führungsmitteln;
$h =$	$(p\mu\mu' l^2 + \sum d_i^2) / \sum d_i$ (für Systeme F/F);
$h =$	$(p\mu l^2 + \sum d_i^2) / \sum d_i$ (für Systeme F/M);
n	die Anzahl der Laufräder auf jeder Seite der Kranbahn;
p	die Anzahl der drehzahlgekoppelten Laufradpaare;
l	die Kranspur (siehe Bild 10);
μ, μ'	die Abschnitte der Kranspur l (siehe Bild 10);
d_i	der Abstand des Laufradpaares i von den in Fahrtrichtung vorderen Führungsmitteln (siehe Bild 10).

Der Schräglaufwinkel α , der 0,015 rad nicht überschreiten sollte, ist unter Berücksichtigung des Spurspieles zwischen den Führungsmitteln und der Schiene sowie einer angemessenen Maßtoleranz und des Verschleißes der Laufräder und Schienen wie folgt auszuwählen:

$$\alpha = \alpha_g + \alpha_w + \alpha_t$$

Dabei sind die Komponenten des Schräglaufwinkels α_g , α_w und α_t aus Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6 — Schräglaufwinkel α

Schräglaufwinkel aus	Räder mit Spurkränzen	Führungsrollen
α_g Spurspiel	$\alpha_g = s_{g \min}/w_b$ wenn $s_g \leq \frac{4}{3} s_{g \min}$	
	$\alpha_g = 0,75 \cdot s_g/w_b$ wenn $s_g > \frac{4}{3} s_{g \min}$	
	Kranfahrt	
	$s_{g \min} = 10 \text{ mm}$	$s_{g \min} = 5 \text{ mm}$
α_t Toleranzen (Radausrichtung und Geradheit der Schienen)	Katzfahrt	
	$s_{g \min} = 4 \text{ mm}$	$s_{g \min} = 2 \text{ mm}$
α_w Verschleiß	$\alpha_w = 0,1 \cdot b_h/w_b$	$\alpha_w = 0,03 \cdot b_h/w_b$
Dabei ist w_b der Radstand (d. h. der Abstand zwischen Führungsrollen oder zwischen dem ersten und dem letzten Rad); s_g das tatsächliche Spurspiel der Führungsmittel; $s_{g \min}$ das Mindestspurspiel der Führungsmittel für den Berechnungszweck; b_h die Breite des Schienenkopfes.		

Die Kräfte F_{x1i} , F_{x2i} , F_{y1i} und F_{y2i} werden wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}
F_{x1i} &= \xi_{1i} \times f \times m \times g \\
F_{x2i} &= \xi_{2i} \times f \times m \times g \\
F_{y1i} &= v_{1i} \times f \times m \times g \\
F_{y2i} &= v_{2i} \times f \times m \times g
\end{aligned} \tag{12}$$

wobei ξ_{1i} , ξ_{2i} , v_{1i} und v_{2i} in Tabelle 7 angegeben sind.

Tabelle 7 — Werte von ξ_{1i} , ξ_{2i} , v_{1i} und v_{2i}

Kombinationen von Laufradpaaren (siehe Bild 9)	$\xi_{1i} = \xi_{2i}$	v_{1i}	v_{2i}
CFF	$\mu\mu' l/nh$	$\frac{\mu'}{n} \left(1 - \frac{d_i}{h}\right)$	$\frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{d_i}{h}\right)$
IFF	0		0
CFM	$\mu\mu' l/nh$		
IFM	0		

4.2.4 Außergewöhnliche Lasten

4.2.4.1 Lasten aus dem Anheben einer Last vom Boden mit maximaler Hubgeschwindigkeit

Die Lastkombination C1 dient zur Wiedergabe von außergewöhnlichen Situationen, in denen der Hubvorgang mit einer höheren Geschwindigkeit begonnen wird, als die, die für die Lastkombinationen A1 und B1 angenommen wird. In diesem Fall muss der Dynamik-Beiwert ϕ_{2C} nach 4.2.2.2 berechnet werden.

4.2.4.2 Lasten aus Wind außer Betrieb

Die auf ein Kranbauteil oder auf die am Kran verbleibende Hublast wirkende Windlast außer Betrieb wird wie folgt berechnet:

$$F = q(z) \times c_a \times A \quad (13)$$

Dabei ist

im Falle eines Kranelements:

- F die senkrecht zur Längsachse des Kranbauteils wirkende Windlast;
- c_a der aerodynamische Koeffizient (Formbeiwert) des jeweiligen Bauteils; er muss in Verbindung mit der charakteristischen Fläche A verwendet werden. Werte von c_a müssen den in Anhang A angegebenen entsprechen oder müssen aus anerkannten Theorien oder Versuchen abgeleitet werden;
- A die charakteristische Fläche des jeweiligen Bauteils (siehe Anhang A);

im Falle der am Kran verbleibenden Hublast:

- F die in Richtung der Windgeschwindigkeit auf die verbleibende Hublast wirkende Windlast;
- c_a der aerodynamische Koeffizient (Formbeiwert) der verbleibenden Hublast in Richtung der Windgeschwindigkeit;
- A die Projektion der verbleibenden Hublast auf eine Ebene senkrecht zur Richtung der Windgeschwindigkeit.

Beim Fehlen von genauen Angaben zur Last muss Folgendes angenommen werden:

$$c_a = 2,4$$

$$A = 0,000\,5 \times \eta_w \times m_H$$

Dabei ist

- A die angenommene Fläche der Last und darf nicht kleiner als $0,8\text{ m}^2$ sein;
- η_w der Faktor für die verbleibende Hublast im Zustand außer Betrieb;
- m_H die Masse der (verbleibenden) Hublast, in Kilogramm.

Zur Berechnung der Lasten wird angenommen, dass der Wind horizontal mit einer mit der Höhe über dem Boden zunehmenden Geschwindigkeit bläst.

Bei Betrachtung eines Kranbauteils muss die senkrecht zu dessen Längsachse wirkende Komponente $v(z)^*$ der Windgeschwindigkeit angesetzt werden, sie wird berechnet mit $v(z)^* = v(z) \times \sin \alpha_w$, wobei α_w der Winkel zwischen der Richtung der Windgeschwindigkeit $v(z)$ und der Längsachse des jeweiligen Bauteils ist. Bei Betrachtung der am Kran verbleibenden Hublast darf $v(z)$ nicht durch $v(z)^*$ ersetzt werden.

Der äquivalente statische Winddruck außer Betrieb $q(z)$ errechnet sich aus

$$q(z) = 0,5 \times \rho \times v(z)^2 \quad (14)$$

Dabei ist

ρ die Luftdichte, $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

Die äquivalente statische Windgeschwindigkeit außer Betrieb $v(z)$ errechnet sich aus

$$v(z) = f_{\text{rec}} \left[\frac{v_m(z)}{v_{\text{ref}}} + \phi_8 \frac{v_g}{v_{\text{ref}}} \right] v_{\text{ref}}, \quad \text{oder aus der vereinfachten Form} \quad (15)$$

$$v(z) = f_{\text{rec}} [(z/10)^{0,14} + 0,4] v_{\text{ref}}$$

Dabei ist

z	die Höhe über dem umgebenden Boden, in Meter;
f_{rec}	ein Faktor in Abhängigkeit vom Wiederholungsintervall R . Für die Kran-Konstruktion kann im Allgemeinen ein Wind außer Betrieb, der einmal in Intervallen von 5 Jahren bis 50 Jahren ($R = 5$ bis $R = 50$) auftreten kann, ausgewählt werden: $f_{\text{rec}} = 0,815 \ 5$ für $R = 5$; $f_{\text{rec}} = 0,873 \ 3$ für $R = 10$; $f_{\text{rec}} = 0,946 \ 3$ für $R = 25$; $f_{\text{rec}} = 1,0$ für $R = 50$;
$v_m(z)$	die mittlere Windgeschwindigkeit für Sturm in der Höhe z über 10 min, in Meter je Sekunde;
v_{ref}	die Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm, in Meter je Sekunde, in Abhängigkeit von den verschiedenen geographischen Regionen in Europa. Sie ist als die mittlere Windgeschwindigkeit für Sturm mit einem Wiederholungsintervall von einmal in 50 Jahren, 10 m über flachem, offenem Gelände gemessen und über einen Zeitraum von 10 min gemittelt, definiert.
$v_m(z)/v_{\text{ref}} = (z/10)^{0,14}$	ein vereinfachter Rauigkeits-Koeffizient;
$\phi_8 = 1,1$	der Böen-Reaktionsbeiwert;
$v_g = v_{\text{ref}} \times 2 \times \sqrt{6 \times K}$	die Amplitude einer 3-Sekunden-Böe, die über die mittlere Windgeschwindigkeit für Sturm über 10 min hinausgeht;
$K = 0,005 \ 5$	Widerstandsbeiwert des Geländes.

Genauere (nationale) Windkarten oder lokale meteorologische Daten sollten als Quellen für die Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm v_{ref} herangezogen werden (z. B. EN 1991-1-4). Falls präzisere Daten fehlen, muss eine Sturmkarte von Europa, wie in Bild 12 dargestellt, angewendet werden. Diese zeigt die Regionen, in denen dieselben Bezugsgeschwindigkeiten für Sturm gelten. Die Bezugswindgeschwindigkeiten für Sturm in diesen Regionen sind in Tabelle 8 angegeben.

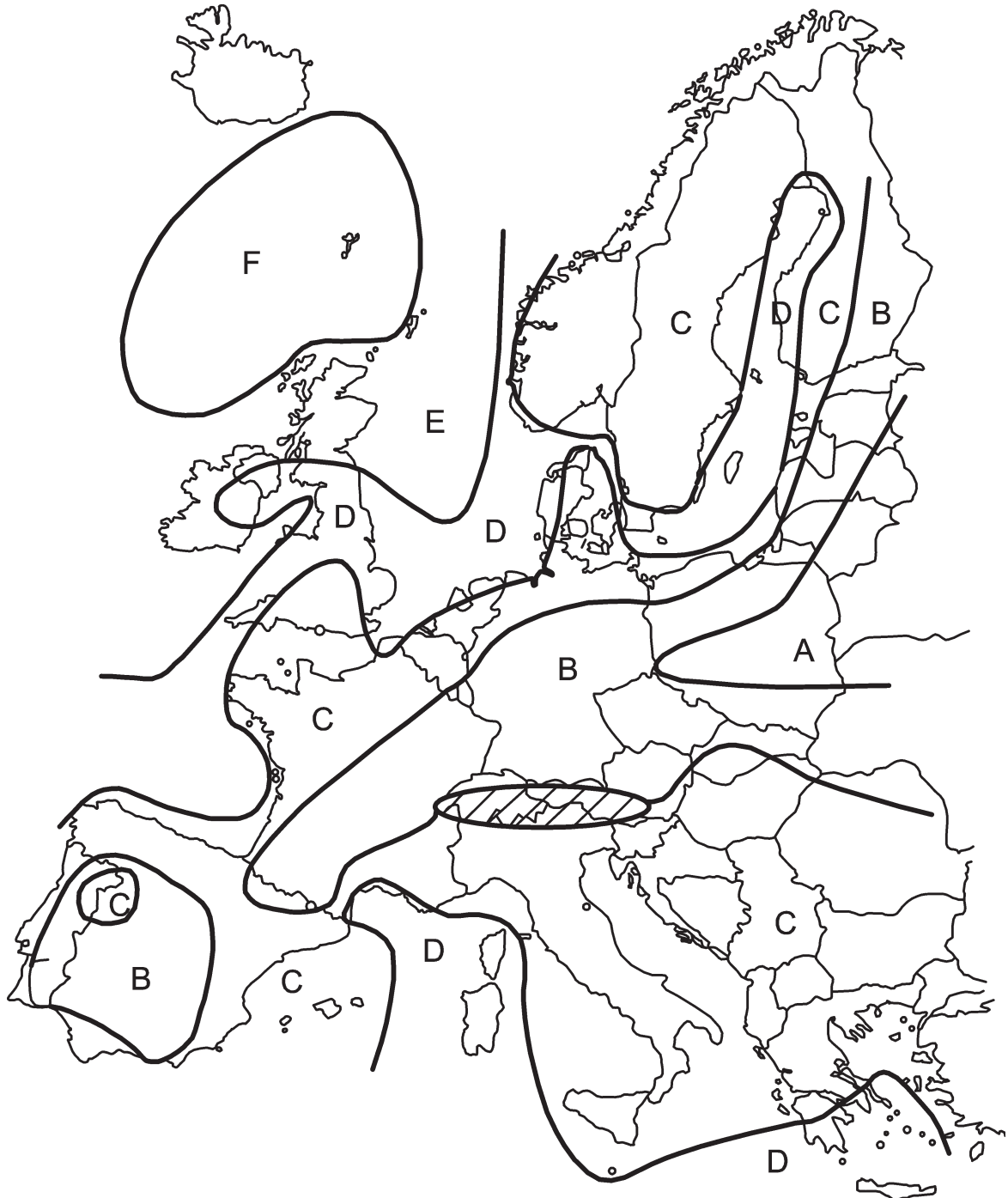


Bild 12 — Europakarte mit Regionen der gleichen Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm

**Tabelle 8 — Bezugswindgeschwindigkeiten für Sturm in verschiedenen europäischen Regionen
(wie in Bild 12 gezeigt)**

Region	A/B	C	D	E
v_{ref} [m/s]	24	28	32	36

Für Kranen, die in Region F mit $v_{\text{ref}} \geq 36$ m/s eingesetzt werden, muss die Bezugswindgeschwindigkeiten für Sturm gesondert festgelegt und für die konstruktive Auslegung der Krane angewendet werden. Krane, die voraussichtlich in unterschiedlichen Regionen eingesetzt werden, sind für sämtliche in diesen Regionen geltenden Bedingungen auszulegen.

Wenn Krane für längere Zeit in Gegenden aufgestellt oder eingesetzt werden, in denen aufgrund der lokalen Topographie mit einer stärkeren Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm als durch die betreffende Region vorgegeben zu rechnen ist, so muss die lokal ermittelte Bezugswindgeschwindigkeit für Sturm in den vorstehend angegebenen Formeln angewendet werden.

4.2.4.3 Prüflasten

Die Prüflasten müssen in der normalen Betriebskonfiguration des Krans aufgebracht werden. Das Kransystem darf nicht verändert werden, beispielsweise durch Verwendung erhöhter Gegengewichte.

Die Summe der angehobenen Massen, die am Kran in Prüfzustand angehängt sind, muss mit einem Beiwert ϕ_6 multipliziert werden. Der Beiwert ϕ_6 ist wie folgt auszuwählen:

a) Dynamische Prüflast:

Die Prüflast muss mindestens 110 % der Nenntragfähigkeit betragen. Die Prüflast wird von den Antrieben so bewegt, wie es der normalen Betriebsweise des Krans entspricht.

$$\phi_6 = 0,5 \times (1 + \phi_2) \quad (16)$$

wobei

ϕ_2 in Übereinstimmung mit 4.2.2.2 bei der Lastkombination A1 berechnet wird.

b) Statische Prüflast:

Die Prüflast muss mindestens 125 % der Nenntragfähigkeit betragen. Die Last wird zu Prüfzwecken durch Belastung des Krans ohne Verwendung der Antriebe erhöht.

$$\phi_6 = 1$$

Ist die Masse der befestigten Lastaufnahmemittel größer als 25 % der Nenntragfähigkeit und nicht in der Nenntragfähigkeit enthalten, sollte die Prüflast der Hublast angepasst werden.

Andere Werte der Prüflasten können in den Europäischen Normen für spezielle Krantypen angegeben sein und müssen, falls zutreffend, angewendet werden.

Beim rechnerischen Nachweis für Prüflastsituationen muss die charakteristische Windgeschwindigkeit von $0,4 \times \bar{v}$ berücksichtigt werden, wobei $\bar{v}$ die charakteristische Windgeschwindigkeit für die jeweilige Windstufe ist, siehe Tabelle 5.

4.2.4.4 Lasten aus Pufferstoß

Bei Verwendung von Puffern müssen die durch Starrkörperanalyse ermittelten Kräfte aus Pufferstoß mit dem Beiwert ϕ_7 multipliziert werden, um dynamische Beanspruchungen zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung des Beiwerts ϕ_7 muss ein Faktor ξ wie folgt ausgewählt werden:

$\xi = 0,5$ bei Verwendung von Puffern mit linearen Kennlinien, z. B. Federpuffer;

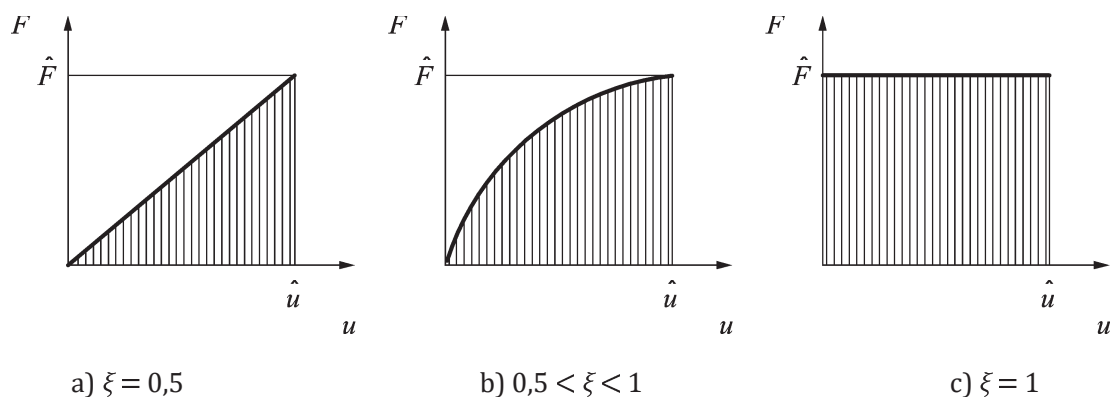
$\xi = 1,0$ bei Verwendung von Puffern mit viereckiger Fläche unter der Kennlinie, z. B. Hydraulikpuffer.

Bei Puffern mit nicht linearen Kennlinien sind andere aus Berechnung oder Versuch gewonnene Werte einzusetzen.

Die Werte von ϕ_7 sind wie folgt zu berechnen:

$$\begin{aligned} \phi_7 &= 1,25 && \text{für } 0 \leq \xi \leq 0,5; \\ \phi_7 &= 1,25 + 0,7(\xi - 0,5) && \text{für } 0,5 \leq \xi \leq 1; \end{aligned} \quad (17)$$

mit den typischen Pufferkennlinien und den entsprechenden Werten des Faktors ξ , wie in Bild 13 dargestellt.



Legende

$$\xi = \frac{1}{\hat{F} \times \hat{u}} \int_0^{\hat{u}} F \times du \quad \text{relative Pufferenergie}$$

F Pufferkraft
 u Pufferhub
 $\hat{F}, \hat{u}$ Maximalwerte

Bild 13 — Faktor ξ für unterschiedliche Pufferkennlinien

Die Pufferkräfte müssen aus der kinetischen Energie aller relevanten Teile des Krans berechnet werden. Üblicherweise sollten Geschwindigkeiten der 0,7-fachen bis einfachen Nenngeschwindigkeit angewendet werden. Kleinere Werte als 0,7 dürfen verwendet werden, sofern dies durch Sondermaßnahmen, wie das Vorhandensein eines redundanten Steuerungssystems zur Verzögerung der Bewegung, gerechtfertigt ist.

Die Pufferkräfte müssen unter Berücksichtigung der Verteilung der relevanten Massen und der Pufferkennlinien berechnet werden. Wenn der Kran oder die Laufkatze gegen Drehung gegen die Hochachse (z. B. Brückenkran mit Führungsrollen auf einer Schiene) gesichert und wenn das Kran- bzw. Laufkatzentragwerk steif ist, dürfen die Pufferverformungen als gleich groß angenommen werden; in diesem Fall sind bei ähnlichen Pufferkennlinien die Pufferkräfte gleich groß.

Bei der Berechnung der Pufferkräfte brauchen die Einwirkungen von horizontal nicht geführten (freipendelnden) Hublasten nicht berücksichtigt zu werden. Wenn jedoch die Fahrgeschwindigkeit vor einem Pufferaufprall reduziert wird, ist es möglich, dass die Pendelbewegung der Last nach vorn ihren maximalen Ausschlag während des Zusammendrückens der Puffer erreicht. In diesem Fall sollte die angehobene Masse, multipliziert mit der Verzögerung vor Erreichen der Puffer, als eine horizontale Last addiert werden.

4.2.4.5 Lasten aus Kippkräften

Falls ein Kran mit Hublastführung (z. B. Kran mit feststehendem Mast oder Kran mit begrenzter Schwenk oder Drehbewegung) oder dessen Laufkatze kippen kann, wenn dieser, dessen Last oder Lastaufnahmemittel mit einem Hindernis kollidieren, müssen die hieraus resultierenden statischen Kräfte bestimmt werden.

Wenn ein unkontrolliertes Zurückkippen des Krans oder der Laufkatze in die Ausgangsstellung möglich ist, muss der daraus resultierende Stoß auf die Tragkonstruktion berücksichtigt werden.

4.2.4.6 Lasten aus externer Schwingungsanregung des Krantragwerks

Falls zutreffend, müssen Lasten aus externen Schwingungsanregungen des Krantragwerks (Fußpunkt-erregung) angegeben werden (z. B. Erdbebenwirkungen, Stoßwirkung des Schiffs beim Anlegen am Kai).

4.2.4.7 Lasten aus Not-Aus

Durch Not-Aus verursachte Lasten müssen nach 4.2.2.5 berechnet werden, wobei der ungünstigste Antriebszustand (d. h. die ungünstigste Kombination von Beschleunigung und Belastung) zum Zeitpunkt des Not-Aus zu berücksichtigen ist.

4.2.4.8 Lasten aus dem dynamischen Abschalten der Hubbewegung durch Hubkraftbegrenzer

Beim Anheben einer Last begrenzt die Hubkraftbegrenzungseinrichtung die Kraft am Kran auf ein Niveau, das von der Art des Begrenzers, der Antriebssteuerung und den mechanischen Eigenschaften des Krans abhängt. Die sich daraus ergebende Kraft am Kran muss in den Berechnungen des Sicherheitsnachweises berücksichtigt werden.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Begrenzern:

- 1) direkt wirkender Hubkraftbegrenzer (DLF, en: Direct acting Lifting Force), der die Kraft im Hubwerk auf ein festgelegtes Niveau begrenzt, z. B. Rutschkupplung basierend auf Reibung oder eine Druckbegrenzung in einem Hydraulikhubwerk;
- 2) indirekt wirkender Hubkraftbegrenzer (ILF, en: Indirect acting Lifting Force), bei dem die Kraft im System gemessen und eine zweite Vorrichtung aktiviert wird, um die Bewegung anzuhalten.

Die Kraft F_L , die auf den Kran aufgebracht wird, wenn eine Hubkraftbegrenzungseinrichtung anspricht, wird wie folgt berechnet:

$$F_L = \phi_L \times m_H \times g \quad (18)$$

Dabei ist

ϕ_L der Beiwert der resultierenden Kraft;

m_H die Masse der Hublast;

g die Fallbeschleunigung.

Für indirekt wirkende Hubkraftbegrenzer stellt F_L die maximale Last im Hubwerk dar, nachdem die Auslösung erfolgt ist und die Hubbewegung zum Stillstand gebracht wurde. Anhang C gibt ein Verfahren zur Berechnung des Beiwerts ϕ_L für indirekt wirkende Hubkraftbegrenzer an.

Für jeden Kran und jede Anwendung mit einem indirekt wirkenden Hubkraftbegrenzer muss der Beiwert ϕ_L mit mindestens $\phi_L = 1,25$ angesetzt werden. Für jeden Kran und jede Anwendung mit einem direkt wirkenden Hubkraftbegrenzer muss der Beiwert ϕ_L mit mindestens $\phi_L = 1,4$ angesetzt werden.

Wenn es aufgrund der Art der Anwendung oder der Konstruktion des Lastaufnahmemittels vorhersehbar ist, dass ein Blockieren der Last eintreten kann, muss dies bei der Berechnung der Kraft F_L berücksichtigt werden. Solche Anwendungen können z. B. sein:

- Löschen von Containerschiffen;
- alle Lastaufnahmevorgänge, bei denen das Lastaufnahmemittel in der Lage ist, Lasten aufzunehmen, die größer sind als die Nennlast des Krans, z. B. die Handhabung von Metallschrott oder auf Magneten basierende Lastaufnahmemittel.

4.2.4.9 Last aus dem dynamischen Abschalten von Radialbewegungen durch den Hubmomentbegrenzer

Der Hubmomentbegrenzer stoppt die Radialbewegung der Last, wenn diese die Ausladung, die dem Nennmoment entspricht, überschreitet. Der Nachlaufweg in radialer Richtung, bei dem die Last die Grenzausladung überschreitet, hängt von den Eigenschaften der Ausladungssteuerung der Wippbewegung, der Bremsenanordnung und den Verzögerungen in der Bremsanlage ab.

Die Lasteinwirkungen durch Überschreiten der Grenzausladung müssen in den Berechnungen des Sicherheitsnachweises berücksichtigt werden. Die Belastungen, die sowohl durch die behandelte Last als auch durch das Eigengewicht der sich radial bewegenden Kranteile hervorgerufen werden, müssen berücksichtigt werden.

Der Nachlaufweg der Last muss entweder aus einer festgelegten Toleranz des Hubmomentbegrenzers ermittelt oder mit folgender Formel berechnet werden:

$$\Delta R = v_R \times \left(t_{ML} + t_{br} + \frac{t_{st}}{2} \right) \quad (19)$$

Dabei ist

- ΔR der radiale Nachlaufweg der Last;
- v_R die radiale Geschwindigkeit der Last;
- t_{ML} die Ansprechzeit des Hubmomentbegrenzers;
- t_{br} die Reaktionszeit der Bremsanlage;
- t_{st} die Anhaltezeit der Bremsanlage.

Bei der Berechnung kann angenommen werden, dass sich die Last am Auslösepunkt befindet und die Last und das Moment des Eigengewichts können an dieser Stelle berechnet werden und mit einem Beiwert ϕ_{ML} , der den Einfluss des Nachlaufwegs darstellt, multipliziert werden:

$$\phi_{ML} = 1 + \frac{\Delta M}{M_0} + \frac{\Delta R}{R_0} \quad (20)$$

Dabei ist

ΔM die Toleranz des auslösenden Moments;

M_0 das Nennmoment am Auslösepunkt;

R_0 der Lastradius am Auslösepunkt.

4.2.4.10 Unbeabsichtigter Hublastverlust

Die Auswirkungen eines unbeabsichtigten Verlustes der Hublast müssen berücksichtigt werden, besonders bei darauffolgenden Stabilitäts- und Festigkeitsproblemen des Krans, wie z. B. Zurückfedern des Auslegers oder des gesamten Krantragwerks, Rückfedern des Auslegers und Zusammenstoßen mit dem Krantragwerk, Zurückfallen des Auslegers in die normale Position oder Umkehr der Lasten in Bauteilen, die einfachgerichtet ausgelegt sind (z. B. Hydraulikzylinder, Zugstäbe).

In Fällen, in denen keine dynamische Analyse durchgeführt wird, kann die Auswirkung eines unbeabsichtigten Hublastverlustes berechnet werden, indem ein Dynamik-Beiwert $\phi_9 = -0,3$ auf die Hublast angewendet wird.

4.2.4.11 Lasten aus vorhersehbarem Triebwerks- oder Bauteilversagen

Diese Lasteinwirkung muss angewendet werden, wenn aus Sicherheitsgründen Triebwerke oder Bauteile doppelt vorhanden oder mit anderen Mitteln gesichert sind.

Ein Versagen in jedem beliebigen Teil beider Systeme muss berücksichtigt werden. Wenn Sicherheitsbremsen zusätzlich zu Betriebsbremsen Schutz bieten, müssen ein Versagen der Betriebsbremse und das Einfallen der Sicherheitsbremse unter den ungünstigsten Bedingungen angenommen werden.

Die resultierenden Lasten aus den vorstehend erwähnten Fällen des Versagens müssen nach 4.2.2.5 unter Berücksichtigung aller resultierenden Stöße bestimmt werden.

Doppelte Bauteile des Hubwerks müssen für zwei Bedingungen wie folgt berechnet werden:

- Bedingungen mit regelmäßigen Lasten, wenn alle Bauteile des Triebwerks als Ganzes funktionieren und sich die gehobene Last teilen. Dies ist der Lastkombination A zuzuordnen und in der Nachweisberechnung für die Ermüdungsfestigkeit und die statische Festigkeit zu berücksichtigen.
- Bedingungen mit außergewöhnlichen Lasten, unter Berücksichtigung des Versagens eines einzelnen Bauteils im Triebwerk. Die Belastung auf den verbleibenden Teil des Mechanismus während des Versagens ist der Lastkombination C zuzuordnen und in der Nachweisberechnung für die statische Festigkeit des verbleibenden Teils zu berücksichtigen. Der Dynamik-Beiwert ϕ_5 durch Versagen kann durch eine dynamische Analyse bestimmt werden, andernfalls ist der Dynamik-Beiwert $\phi_5 = 1,5$. Der Beiwert muss auf die Gesamtlast, getragen durch das wirksame System, das nach dem Versagen verbleibt, angewendet werden.

4.2.4.12 Lasten aus Montage, Demontage und Transport

In Abhängigkeit vom Krantyp kann es notwendig sein, Lasten aus Montage, Demontage und Transport einschließlich festgelegter Windlasten während dieser Vorgänge zu berücksichtigen.

In einigen Fällen könnte eine Einstufung dieser Lasten als nicht regelmäßige Lasten erforderlich werden.

4.2.4.13 Lasten auf Aufstiege und Begehungen

Lasten auf Aufstiege und Begehungen gelten als lokale Lasten, die nur auf die betreffenden Bauteile selbst und auf deren unmittelbare Stützkonstruktion wirken. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_p muss auf 1,22 gesetzt werden. Folgende senkrecht verlaufende Lasten müssen berücksichtigt werden:

- 3 000 N wenn Gegenstände abgesetzt werden können;
- 1 500 N bei ausschließlicher Benutzung durch Personen;
- 300 N mindestens horizontal auf Handläufe, je nach Ort und Benutzung.

Für detaillierte Informationen siehe ISO 11660-1.

4.2.4.14 Auf den Kran wirkende Lasten in der Verstauposition auf einem Schiff

Der Kran muss so ausgelegt sein, dass er in seiner Verstauposition dem Zusammenwirken aus festgelegten Bewegungen und/oder Windkräften, die für die Bauart des Schiffs zutreffend sind, standhält. Derartige Lasten müssen, je nach Häufigkeit ihres Auftretens, auch bei der Ermüdungsbeurteilung berücksichtigt werden. Soweit maßgeblich, müssen Lasten infolge der Stoßwirkung des Schiffs beim Anlegen am Kai als Windlast außer Betrieb berücksichtigt werden.

4.3 Lastkombinationen

4.3.1 Allgemeines

In Übereinstimmung mit der „Methode der Grenzzustände“ (siehe EN 13001-1) müssen die einzelnen Lastwirkungen mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert und entsprechend den festgelegten Lastkombinationen überlagert werden und erst danach in den Nachweisberechnungen verwendet werden. Die Teilsicherheitsbeiwerte und die Reihen der Lastkombinationen (A, B und C) sind in Tabelle 9 bis Tabelle 12 angegeben.

Die Lastkombinationen A umfassen regelmäßige Lasten bei normalem Einsatz, die Lastkombinationen B umfassen mit nicht regelmäßigen Lasten kombinierte regelmäßige Lasten und die Lastkombinationen C umfassen eine Auswahl an mit nicht regelmäßigen und außergewöhnlichen Lasten kombinierten regelmäßigen Lasten.

Die in dieser Norm angegebenen Sicherheitsbeiwerte wurden aus Erfahrungswerten und unter Berücksichtigung der Schwankungen bei den einzelnen Lasten oder der Gesamtbelastung abgeleitet. Sie gelten nur in Verbindung mit der Methode der Grenzzustände entsprechend EN 13001-1. Bei bestimmten Kransystemen kann die Methode der zulässigen Spannungen mit globalen Sicherheitsbeiwerten angewendet werden (siehe EN 13001-1).

4.3.2 Situationen mit hohem Risiko

In einigen Einsatzfällen oder bei einigen Krankonfigurationen, bei denen ein Versagen außergewöhnlich schwere Personen- oder Sachschäden nach sich zöge (z. B. bei der Handhabung von flüssigen Metallen, Krane zur Anwendung in der Kerntechnik oder das Heben des Auslegers eines Schiffsentladers), ist eine erhöhte Sicherheit notwendig. Die Anwendung eines zusätzlichen Risikobeiwertes für die Auslegungslasten ist eine Möglichkeit, dies umzusetzen.

In Fällen, bei denen ein Risikobeiwert angewendet wird, muss er auf die Lasteinwirkungen f_i entsprechend Formel (21) angewendet werden, zusammen mit den Teilsicherheitsbeiwerten, die für die zutreffende Lasteinwirkung und Lastkombination relevant sind, siehe Flussdiagramm für die „Methode der Grenzzustände“ in EN 13001-1.

$$f_{d,i} = \gamma_n \times \gamma_{p,i} \times f_i \quad (21)$$

Dabei ist

- $f_{d,i}$ der Auslegungswert einer Lasteinwirkung i , bereits einschließlich des Risikobeiwertes;
- f_i der charakteristische Wert einer Lasteinwirkung i , mit ϕ -Beiwerten nach der vorliegenden Norm angewendet;
- γ_n der Risikobeiwert, mit einem Wert innerhalb des Bereichs zwischen 1,0 und 2,0. Hinweise sind in Anhang D enthalten. Europäischen Produktnormen oder anwendungsspezifischen Normen können Werte für Risikobeiwerte enthalten;
- $\gamma_{p,i}$ der relevante Teilsicherheitsbeiwert für die Lasteinwirkung i und die jeweilige Lastkombination.

Hinsichtlich der Anwendung des Risikobeiwerts mit der Methode der zulässigen Spannungen siehe das zutreffende Flussdiagramm in EN 13001-1.

Derselbe Wert des Risikobeiwertes muss für den Sicherheitsnachweis in allen relevanten Lastkombinationen A, B und C verwendet werden.

Ein Risikobeiwert kann auch nur für einen Teil des Krans festgelegt werden, z. B. individuell für ein Tragwerksbauteil oder einen Mechanismus des Krans.

Risikobeiwerte brauchen nicht für Bauteile in einem Einzelfehler-Sicherheitssystem angewendet zu werden, siehe 3.1.2. Risikobeiwerte brauchen nicht auf Bauteile angewendet zu werden, die gegen das Ausfallrisiko durch ein anderes Bauteil gesichert sind.

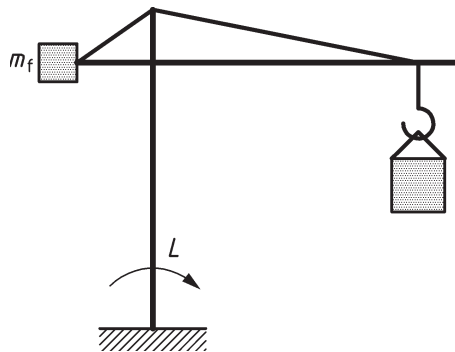
Die Anwendung von Risikobeiwerten für den Sicherheitsnachweis der Standsicherheit des Krans ist in 4.3.7 angegeben.

4.3.3 Günstige und ungünstige Massen

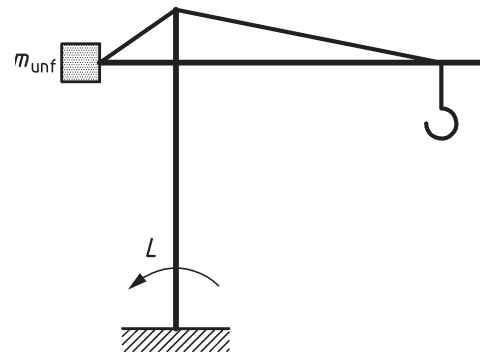
Bei der Berechnung von Lasten aus Gravitation für eine gegebene Lastkombination und Krankonfiguration erhöhen („ungünstig“) oder verringern („günstig“) die Massen der verschiedenen Kranteile die resultierende Lasteinwirkung im jeweils kritischen untersuchten Punkt.

Die gleiche Masse kann in einigen Konfigurationen günstig sein und in anderen Konfigurationen ungünstig sein oder günstig für eine resultierende Lasteinwirkung und ungünstig für eine andere Lasteinwirkung. Bild 14 zeigt ein derartiges Beispiel für einen Turmdrehkran: im Hinblick auf das Biegemoment L im Turm wirkt die Masse des Gegengewichts günstig, wenn eine Hublast aufgebracht wird, und ohne aufgebrachte Hublast wirkt die Masse ungünstig.

Im Hinblick auf die Druckkraft im Turm wirkt die Masse des Gegengewichts in beiden Fällen ungünstig. Die Entscheidung, ob die Masse günstig oder ungünstig wirkt, muss dennoch darauf beruhen, welche der Lastenwirkungen (Biegemoment oder Druckkraft) hinsichtlich der Auslegungsspannungen oder Kräfte vorherrscht.



a) Masse des Gegengewichts wirkt günstig



b) Masse des Gegengewichts wirkt ungünstig

Bild 14 — Veranschaulichung von günstigen und ungünstigen Massen

4.3.4 Teilsicherheitsbeiwerte für die Masse des Krans

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_p sind in Abhängigkeit vom Verfahren zur Bestimmung der Massen der Kranteile und von der Art der Lastenwirkung aus Tabelle 9 zu entnehmen.

Es ist zulässig, einem Teil eines Krans (z. B. Gesamtlänge eines Trägers eines Entladekrans, drehbares Ober- teil eines Turmdrehkrans), der sowohl „günstige“ als auch „ungünstige“ Massen besitzt, einen einzigen Teil- sicherheitsbeiwert für jede Lastkombination in Abhängigkeit seines Schwerpunkts zuzuweisen.

Tabelle 9 — Werte des Beiwerts γ_p für die Masse des Krans

Massen und Schwerpunkte von Kranteilen	Lastkombinationen nach 4.3.6					
	A		B		C	
	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig	ungünstig	günstig
Erhalten durch Berechnung	1,22	0,95	1,16	0,97	1,10	1,00
Erhalten durch Wägen	1,16	1,00	1,10	1,00	1,05	1,00
Unter besonderen Bedingungen	1,16	1,10	1,10	1,05	1,05	1,00

Die Beiwerte für besondere Bedingungen dürfen unter den beiden folgenden Bedingungen angewendet werden:

- die Massen und Schwerpunkte von Kranteilen werden durch Wägen mit einer Genauigkeit von $\pm 2,5 \%$ bestimmt;
- das Verhältnis zwischen Summe der Lastenwirkung durch günstige Massen von Kranteilen und der Summe der Einwirkungen von ungünstigen Massen der Kranteile plus der Hublast muss weniger als 0,6 betragen (siehe die nachstehende Formel). Es sind Werte der Lasten und Massen ohne Beiwerte zu verwenden.

$$\left| \frac{L_f}{L_{\text{unf}} + L_h} \right| < 0,6 \quad (22)$$

Dabei ist

L_f die Lasteinwirkung von günstigen Massen der Kranteile;

L_{unf} die Lasteinwirkung von ungünstigen Massen der Kranteile;

L_h die Lasteinwirkung der Hublast.

In der Regel sollten Teilsicherheitsbeiwerte für günstige Massen nicht größer als 1 sein. Eine Ausnahme gilt für die besonderen Bedingungen, wenn die berechnete resultierende Lasteinwirkung größer wäre, z. B. Momentberechnungen für Krane mit großen Gegengewichten. Da der Wert des Teilsicherheitsbeiwertes für die ungünstigen Massen nicht verringert werden sollte, wurde den Teilsicherheitsbeiwerten für die günstigen Massen eine künstliche Erhöhung über 1,0 ermöglicht.

4.3.5 Teilsicherheitsbeiwerte, die auf aus Verschiebungen ermittelten Lasten anzuwenden sind

Bei jenen Kranteilen, an denen planmäßige Verschiebungen aufgebracht werden, um die resultierenden Lasteinwirkung (siehe 4.2.2.6) zu beeinflussen, sind die oberen und unteren Grenzen der Teilsicherheitsbeiwerte aus Tabelle 10 zu berücksichtigen, um Abweichungen bei den Verschiebungen wiederzugeben.

Tabelle 10 — Werte der Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten aus planmäßigen Verschiebungen

Werte des Teilsicherheitsbeiwerts γ_p	Lastkombinationen nach 4.3.6		
	A	B	C
Ungünstige Lasteinwirkungen	1,10	1,05	1,00
Günstige Lasteinwirkungen	0,90	0,95	1,00

Jede unbeabsichtigte, aber offensichtlich vorhersehbare elastische oder Starrkörper-Verschiebung in beliebiger Richtung, die die resultierenden Lasteinwirkungen in einem Kran erheblich beeinflusst, muss als eine Lasteinwirkung angesehen und mit den in Tabelle 11 angegebenen Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert werden.

Im Allgemeinen kann die Richtung einer unbeabsichtigten Verschiebung variieren, weshalb alle Richtungen berücksichtigt werden sollten.

Tabelle 11 — Werte der Teilsicherheitsbeiwerte für Lasten aus unbeabsichtigten Verschiebungen

	Lastkombinationen nach 4.3.6		
	A	B	C
γ_p	1,10	1,05	1,00

4.3.6 Lastkombinationen für den Sicherheitsnachweis

Tabelle 12 und Tabelle 13 enthalten die Lastkombinationen A, B und C und die zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte, sofern anwendbar, für den Sicherheitsnachweis des Krans.

Bei besonderen Anwendungen oder Krankonfigurationen können andere relevante Lastkombinationen zusätzlich zu denen von Tabelle 12 und Tabelle 13 vorliegen. Solche Lastkombinationen müssen einer der Lastkombinationen A, B oder C, basierend auf ihren Eintrittshäufigkeiten, zugewiesen werden und müssen weiterhin in Übereinstimmung mit der vorliegenden Norm angewendet werden.

Der Sicherheitsnachweis für die Ermüdungsfestigkeit muss durchgeführt werden, indem die Lastkombinationen A angewendet werden, wobei alle Teilsicherheitsbeiwerte γ_p mit 1,0 angesetzt sind und die ϕ -Beiwerte in Übereinstimmung mit der vorliegenden Norm angewendet werden.

In einigen Fällen, in denen eine Last häufig auftritt, die üblicherweise nicht regelmäßig oder außergewöhnlich ist, muss diese Last bei der Berechnung der Ermüdungsfestigkeit berücksichtigt werden. Eine derartige Lastkombination muss auf die gleiche Weise gehandhabt werden, wie die Lastkombinationen A für die regelmäßigen Lasten.

Tabelle 12 — Lasten, Lastkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte

Lastkate- gorien	Lasten f_i		Betreff- ender Ab- schnitt	Lastkombinationen A				Lastkombinationen B					Lastkombinationen C															
				Bei- wert γ_p	A1	A2	A3	A4	Bei- wert γ_p	B1	B2	B3	B4	B5	Bei- wert γ_p	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	
Regel- mäßige Lasten	Fall- beschlei- ung und Stoß- wirkungen	Masse des Krans	4.2.2.1	a	ϕ_1	ϕ_1	1	–	a	ϕ_1	ϕ_1	1	–	–	a	ϕ_1	1	ϕ_1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Masse der Hublast	4.2.2.2	1,34	ϕ_2	ϕ_3	1	–	1,22	ϕ_2	ϕ_3	1	–	–	1,1	ϕ_{2C}	η_W	–	1	1	1	1	ϕ_L	ϕ_9	1	1	–	–
		Fahren über Unebenheiten	4.2.2.4	1,22	–	–	–	ϕ_4	1,16	–	–	–	ϕ_4	ϕ_4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Neigungen und Beschleunigungen des Schiffs ^c	4.2.2.7.2 4.2.2.7.3	1,34	1	1	1	1	1,22	1	1	1	1	1	1,16	1	–	–	1	1	1	1	1	1	1	1	–	
	Beschleuni- gungswir- kungen aus Antrieben	Ohne Hubbewegungen	4.2.2.5	1,34	ϕ_5	ϕ_5	–	ϕ_5	1,22	ϕ_5	ϕ_5	–	ϕ_5	–	1,1	–	–	ϕ_5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Alle Bewegungen			–	–	ϕ_5	–		–	–	ϕ_5	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	Weggrößen		4.2.2.6	b	1	1	1	1	b	1	1	1	1	1	b	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Relative Bewegungen des Schiffs		4.2.2.7.4	1,34	1	1	–	–	1,22	1	1	–	–	–	1,16	1	–	–	–	1	1	1	1	1	1	–	–	
Nicht regel- mäßige Lasten	Wetter- bedingte Einflüsse	Lasten aus Wind in Betrieb	4.2.3.1	–	–	–	–	–	1,22	1	1	1	1	1	1,16	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	–	
		Schnee- und Eislasten	4.2.3.2	–	–	–	–	–	1,22	1	1	1	1	1	1,1	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
		Lasten aus Wärmewirkungen	4.2.3.3	–	–	–	–	–	1,16	1	1	1	1	1	1,05	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	
	Schräglauf		4.2.3.4	–	–	–	–	–	1,16	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	