

**Bestimmung der Sicherheits-
elemente für die Anwendung von
DIN EN 1993-6: Kranbahnen –
Ausarbeitung eines Vorschlags und
einer Begründung für den deutschen
Nationalen Anhang**

T 3252

T 3252

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2011

ISBN 978-3-8167-8458-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Bitte beachten:

Fehlende Seiten sind **Leerseiten**,
die bei Erstellung
der PDF-Datei für den Download nicht
berücksichtigt wurden

Fraunhofer IRB Verlag

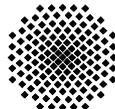
Schlussbericht

Forschungsvorhaben

Bestimmung der Sicherheitselemente für die Anwendung von DIN EN 1993-6: Kranbahnen – Ausarbeitung eines Vorschlags und einer Begründung für den deutschen Nationalen Anhang

Januar 2011

vorgelegt von:



Universität Stuttgart

Institut für Konstruktion und Entwurf
Schwerpunkte: Stahlbau, Holzbau und Verbundbau
Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Bearbeitung:

Prof.-Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Dipl.-Ing. Mathias Euler

A. Inhalt

A. Inhalt	3
B. Abkürzungen.....	5
C. Anlass	7
C.1 Europäische Kranbahnnorm	7
C.2 Nationaler Anhang	7
D. Nationale Festlegungen	9
1.2 Normative Verweisungen	9
2.1.3.2(1)P Nutzungsdauer	10
2.3.1 Reduzierte Schwingbeiwerte	16
2.3.1 Zusammenwirken von Kranen.....	17
2.3.1 Lastansatz in der Bemessungssituation Erdbeben (NCI)	18
2.8(2)P Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{F, \text{test}}$ für Kranprüflasten	20
3.1 Stahlsorten bis S700	21
3.2.3(1) Niedrigste Betriebstemperatur bei Hallenkranbahnen.....	22
3.2.3(2)P Wahl der Zähigkeit für druckbeanspruchte Bauteile	23
3.2.4(1), Tabelle 3.2 Sollwerte Z_{Ed} für Eigenschaften in Dickenrichtung	24
3.2.5 Maßabweichungen	25
3.6.2(1) Informationen über geeignete Schienen und Schienenstahl.....	26
3.6.3(1) Informationen über besondere Verbindungsmittel für Schienen	27
5.8 Überlagerung mit lokaler Biegespannung im Untergurt infolge Radlasten	28
6.1(1) Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	29
6.3.2.3(1) Alternative Bemessungsmethoden für Biegedrillknicken	31
7.3 Einteilung der Einwirkungen – Ergänzung für Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	32
7.3(1) Begrenzungen der Durchbiegungen und Verformungen.....	33
7.5(1) Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M, \text{ser}}$ für Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	36
8.5.2 Kranklassen für starre Schienenbefestigungen.....	37
8.2(4) Beanspruchungsgruppen unter "hoher Ermüdungsbelastung"	38
8.5.3 Dehnfugen.....	39
9.1(2) Begrenzung der Lastwechselzahl C_0 ohne Ermüdungsnachweis	40
9.2(1)P Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Ft} für Ermüdungsbelastung	41
9.2(2)P Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} für Ermüdungsfestigkeit	42
9.3.3(1) Beanspruchungsgruppen, bei denen Biegung aus Exzentrizität vernachlässigt werden kann.....	43
9.4.2(5) Schädigungsäquivalente Beiwerte λ_{dup} für Beanspruchung aus mehreren Kranen	44
E. Vergleich der Beanspruchungsklassen nach nationaler und europäischer Normung.....	45
E.1 Systematik der Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1	45
E.2 Lastkollektivbeiwert	46
E.3 Gesamtzahl der Arbeitsspiele	48
E.4 Parameter der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1	49
F. Literatur	53

B. Abkürzungen

DIN EN	...	als DIN-Norm eingeführte europäische Norm
EN	...	europäische Norm
ENV	...	europäische Vornorm
NA	...	Nationaler Anhang zu einer europäischen Norm
NAD	...	Nationales Anwendungsdokument zu einer europäischen Vornorm
NCI	...	konfliktfreie Ergänzung (engl. <i>Noncontradictory complementary information</i>)
NDP	...	national festgelegter Parameter (engl. <i>National determined parameters</i>)

C. Anlass

C.1 Europäische Kranbahnnorm

Um die Normen im Bauwesen im Sinne der Beseitigung technischer Handelshemmnisse zu harmonisieren, wurden in den 1990er Jahren europäische Vornormen (ENV) erstellt, die in den Mitgliedsländern zusammen mit Nationalen Anwendungsdokumenten (NAD) der Praxis als Alternative zu den nationalen Normen für die Anwendung zur Verfügung gestellt wurden. Im Bereich der Kranbahnen wurde die europäische Vornorm ENV 1993-6 vom Unterausschuss SC3 des Technischen Komitees CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet und 1999 vom CEN (Europäisches Komitee für Normung) angenommen. Das dazugehörige NAD erschien als DIN-Fachbericht 126 [25].

Nach den Erfahrungen mit den europäischen Vornormen wurden diese nach dem Jahr 2000 unter Berücksichtigung der Kommentare der Normungsinstitute der einzelnen Mitgliedsstaaten überarbeitet und in vollwertige europäische Normen (EN) umgewandelt. Im Bereich der Kranbahnen wurde die europäische Kranbahnnorm EN 1993-6 vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet. EN 1993-6 wurde am 12. Juni 2006 vom CEN (Europäisches Komitee für Normung) angenommen.

Alle Mitgliedsländer sind verpflichtet, die europäischen EN-Normen in verbindliche nationale Normen zu überführen. Im Juli 2007 wurde die europäische Kranbahnnorm EN 1993-6 in eine nationale DIN-Norm, DIN EN 1993-6:2007, umgesetzt. Aufgrund von Korrekturen erschien im Dezember 2010 eine konsolidierte Fassung der Kranbahnnorm, DIN EN 1993-6:2010-12 [23].

C.2 Nationaler Anhang

Alle europäischen EN-Normen einschl. der Kranbahnnorm EN 1993-6 enthalten an verschiedenen Stellen des harmonisierten Normtextes Hinweise auf Parameter, die den Mitgliedsländern des Eurocodes Freiraum für nationale Entscheidungen lassen. Man bezeichnet sie daher als *national festgelegte Parameter*, die sog. NDP (engl. *National determined parameters*), die umfassen können:

- Zahlenwerte und/oder Beanspruchungsgruppen, zu denen die Eurocodes Alternativen eröffnen
- Zahlenwerte, für die die Eurocodes nur Symbole angeben
- landesspezifische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten
- die bevorzugte Vorgehensweise, wenn der Eurocode mehrere Methoden zur Wahl anbietet
- Verweise zur Anwendung der Eurocodes, soweit diese den harmonisierten Normtext ergänzen und nicht widersprechen (konfliktfreie Ergänzung)

Alle Hinweise zu den national festgelegten Parametern werden von jedem Mitgliedsland des Eurocodes in einem eigenen Nationalen Anhang (NA) festgehalten. Der deutsche Nationale Anhang zu DIN EN 1993-6:2010-12 [23] wurde vom NABau-Spiegelausschuss NA 005-08-01 AA „Kranbahnen“ erarbeitet und als DIN EN 1993-6/NA:2010-12 [24] veröffentlicht.

Neben den national festgelegten Parametern darf der NA keine Festlegungen treffen, die den harmonisierten Normtext inhaltlich abändern. Allerdings dürfen konfliktfreie Ergänzungen, sog. NCI (engl. *Noncontradictory complementary information*), im NA formuliert werden.

In diesem Bericht wird der Hintergrund zu den national festgelegten Parametern und den konfliktfreien Ergänzungen zu DIN EN 1993-6:2010-12 [23] dargestellt.

D. Nationale Festlegungen

1.2 Normative Verweisungen

Neben der Fachnorm DIN EN 1993-6:2010-12, auf die sich der Nationale Anhang (NA) bezieht, erfolgt im NA [24] unter Abschnitt *NCI* zu 1.2 *Normative Verweisungen* ein Verweis auf folgende Normen:

Grundnormen (Lastnormen):

DIN EN 1991-3:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen

Grundnormen (Bemessungsnormen):

DIN EN 1993-1-1:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

DIN EN 1993-1-8/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen

Fachnormen:

DIN EN 1993-6:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen

Ausführungsnormen:

DIN EN 1090-2, Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

Produktnormen:

DIN 536-1, Kranschienen — Maße, statische Werte, Stahlsorten für Kranschienen mit Fußflansch Form A

Diese konsequente Trennung von Grund-, Fach- und Ausführungsnormen ist eine Besonderheit im Eurocode und daher ungewohnt für den Anwender der bisherigen nationalen Kranbahnnorm DIN 4132, in der Lasten, Bemessungs- und Ausführungsregeln in einem Dokument vereint waren.

Es wird darauf hingewiesen, dass alle Bezüge auf das europäische Normwerk ausgerichtet sind. Aus diesem Grund wird beispielsweise nicht auf die Lastnorm DIN 1055-10 „Einwirkungen infolge Krane und Maschinen“ [3] eingegangen. Diese Norm liegt als Weißdruck vor, wird aber voraussichtlich nie bauaufsichtlich eingeführt.

Handelt es sich bei den normativen Verweisen um eine Normenangabe mit Datierung (datierte Verweisungen), dann bezieht sich das NA nur auf diese Ausgabe der Norm, auch wenn es bereits eine neuere Ausgabe gibt. Bei undatierten Verweisen bezieht sich das NA immer auf die jeweils aktuelle Ausgabe der verwiesenen Norm.

2.1.3.2(1)P Nutzungsdauer

EU EN 1993-6, Abs. 2.1.3.2(1)P

(1)P Die Nutzungsdauer einer Kranbahn muss als der Zeitraum angegeben werden, in dem die Kranbahn voll funktionsfähig ist. Die Nutzungsdauer sollte festgelegt werden (z. B. in einem Inspektions- bzw. Wartungsplan).

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die maßgebende Nutzungsdauer festlegen. Für Kranbahnen wird eine Nutzungsdauer von 25 Jahren empfohlen. Für Kranbahnen, die keiner intensiven Nutzung unterliegen, ist eine Nutzungsdauer von 50 Jahre angemessen.

D NDP zu 2.1.3.2(1)P

Wenn keine Angaben über die Nutzungsdauer vorliegen, ist diese mit 25 Jahren anzusetzen. Inspektionsintervalle für Kranbahnen sind in Abhängigkeit der Teilsicherheitsbeiwerte für die Ermüdungsfestigkeit nach NDP zu 9.2(2)P zu bestimmen.

ANMERKUNG 1 Unter Inspektion wird hier die Überprüfung der Kranbahnen auf Risse und die gegebenenfalls erforderliche Instandsetzung verstanden.

ANMERKUNG 2 Die Notwendigkeit der Wartung der Kranbahnen und die Bestimmungen anderer Regelwerke, z. B. Unfallverhütungsvorschriften, bleiben von diesen Festlegungen unberührt.

Hintergrund zur Nutzungsdauer

Einleitung. Die Festlegung der Nutzungsdauer ist für die Auslegung der Dauerhaftigkeit und damit vor allem für ermüdungsbeanspruchte Konstruktionen von wesentlicher Bedeutung. Die Einstufung der Ermüdungsbeanspruchung (Schwingbeanspruchung) der Kranbahn hängt von der kumulierten Inanspruchnahme des Krans während der Nutzungsdauer ab. Die Länge der Nutzungsdauer hat somit einen unmittelbaren Einfluss.

Beanspruchungsklasse. Die Klassifizierung der Schwingbeanspruchung einer Kranbahn wird durch die sog. Kraneinstufung bestimmt. Die Kraneinstufung erfolgt nach DIN EN 13001-1 [26] und DIN EN 13001-3-1 [28] in sog. Beanspruchungsklassen (S-Klassen) u. a. auf der Grundlage

- der Gesamtzahl an Arbeitsspielen während der spezifizierten Lebensdauer (Klasse U) und
- der relativen Häufigkeit der zu befördernden Lasten (Einfluss des Lastkollektives)

Alle U-Klassen sind so festgelegt, dass deren oberer Grenzwert gleich dem 2-fachen des unteren Grenzwertes beträgt, Tabelle 1.

Die Festlegung der Nutzungsdauer als Kenngröße für die Ermüdungsbeanspruchung ist nur dann sinnvoll, wenn sie unmittelbar mit der Gesamtzahl an Arbeitsspielen korreliert. Dies setzt eine kontinuierliche Inanspruchnahme des Krans und der Kranbahn über die gesamte Nutzungsdauer voraus, von der in der Regel ausgegangen werden kann.

Im Bild 1 sind die Schwingbeanspruchungen zweier Krane mit unterschiedlicher Nutzungsdauer abgebildet. Die jährliche Inanspruchnahme soll in beiden Fällen mit 40.000 Arbeitsspielen identisch sein. Die Gesamtzahl der Arbeitsspiele am Ende der Nutzungsdauer beträgt damit im Bild 1a $N = 10^6$ und im Bild 1b $N = 2 \cdot 10^6$. Damit fallen die Krane in unterschiedliche U-Klassen nach DIN EN 13001-1 [26], vgl. Tabelle 1. Bei gleichem Lastkollektiv (im Bild 1 jeweils ein Einstufenkollektiv) führt dies zu einer unterschiedlichen Beanspruchungsklasse (S-Klasse) des Krans und damit auch der Kranbahn, vgl. auch Kapitel E dieses Berichts.

Abhängigkeit Nutzungsdauer/Kraneinstufung. Für die Mehrzahl der Krane ist die Gesamtzahl der Arbeitsspiele nicht *a priori* berechenbar, sondern kann nur aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Entsprechende Einstufungsvorschläge für die Beanspruchungs-

klasse sind in DIN EN 13001-3-1 [28] enthalten. Diese Praxis hat sich in der Vergangenheit bei der Bemessung nach DIN 15018-1 [4] und DIN 4132 [5] bewährt. Der Einstufungsvorschlag in DIN EN 13001-3-1 [28] knüpft im Kern an den nach DIN 15018-1 an, der u. a. auf Untersuchungen von *Schweer* [41] zurückgeht.

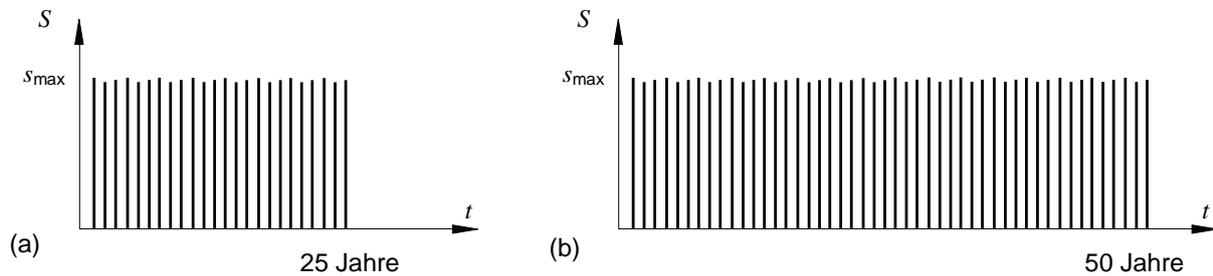


Bild 1 Theoretisches Beispiel eines Krans mit einer Schwingbeanspruchung in Form eines Einstufenkollektivs bei Annahme einer Nutzungsdauer von 25 Jahren (a) und 50 Jahren (b)

Tabelle 1. Klassen U nach DIN EN 13001-1 [26]

Klasse	Gesamtzahl von Arbeitsspielen
U ₀	$C \leq 1,60 \cdot 10^4$
U ₁	$1,60 \cdot 10^4 < C \leq 3,15 \cdot 10^4$
U ₂	$3,15 \cdot 10^4 < C \leq 6,30 \cdot 10^4$
U ₃	$6,30 \cdot 10^4 < C \leq 1,25 \cdot 10^5$
U ₄	$1,25 \cdot 10^5 < C \leq 2,50 \cdot 10^5$
U ₅	$2,50 \cdot 10^5 < C \leq 5,00 \cdot 10^5$
U ₆	$5,00 \cdot 10^5 < C \leq 1,00 \cdot 10^6$
U ₇	$1,00 \cdot 10^6 < C \leq 2,00 \cdot 10^6$
U ₈	$2,00 \cdot 10^6 < C \leq 4,00 \cdot 10^6$
U ₉	$4,00 \cdot 10^6 < C \leq 8,00 \cdot 10^6$

Die Einstufung ist stets an eine Annahme zur Nutzungsdauer bzw. zur Gesamtzahl der Arbeitsspiele gebunden, vgl. Bild 1. Da die jährliche Inanspruchnahme in der Regel unabhängig von der Nutzungsdauer ist, führt eine willkürliche Erhöhung der Nutzungsdauer zwangsläufig zu einer anderen Einstufung. Aus diesem Grund wird die in DIN EN 1993-6 [23] empfohlene Nutzungsdauer von 25 Jahren ohne Ausnahmen beibehalten. (Anmerkung: Es ist allerdings festzuhalten, dass bei den Untersuchungen von *Schweer* [41] in Vorbereitung von DIN 15018-1 von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ausgegangen wurde.)

Weitere Abhängigkeiten. Eine Erhöhung der Nutzungsdauer würde auch unmittelbar DIN EN 1993-6 [23], Abs. 9.1(2) beeinflussen und den dort festzulegenden Grenzwert für die Gesamtlastwechselzahl C_0 , bei dessen Unterschreitung kein Ermüdungsnachweis erforderlich ist. Je länger die Nutzungsdauer, umso wahrscheinlicher wird dieser Grenzwert C_0 überschritten.

Hintergrund zu Inspektionsintervallen

Einfluss der Bemessungskonzepte. Nach DIN EN 1993-1-9 [15] werden zwei unterschiedliche Bemessungskonzepte für auf Ermüdung beanspruchte Konstruktionen unterschieden.

- Konzept der ausreichenden Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung: Die Konstruktion wird so ausgelegt, dass während der gesamten Nutzungsdauer wahrscheinlich kein Ermüdungsrisso entsteht.
- Konzept der Schadenstoleranz: Hierbei lässt man kleine Ermüdungsschäden zu, die jedoch nicht zu unmittelbaren Bauteilversagen führen dürfen und durch ausreichend eng gewählte Inspektionsintervalle in einem frühen Entwicklungsstadium entdeckt und repariert werden können.

Die Festlegung der Inspektionsintervalle ist somit untrennbar mit dem Bemessungskonzept der Schadenstoleranz verbunden. Für den Fall einer Bemessung nach dem ersten Konzept kann auf Inspektionen verzichtet werden. Allerdings sind in diesem Fall höhere Sicherheitsbeiwerte zu verwenden. Es wird deshalb auch auf die nationalen Festlegungen des NA zu Abschnitt 9.2(2)P hingewiesen.

Notwendigkeit der normativen Festlegung. In der bisherigen Praxis nach DIN 4132 [5] ist die Planung des Inspektionsprogramms weitgehend dem Ermessen des Bauherrn überlassen, vgl. [5], Abs. 1. Die Notwendigkeit, im NA zu DIN EN 1993-6 die minimale Anzahl der Inspektionsintervalle für Kranbahnen festzulegen, leitet sich aus dem Konzept der Schadenstoleranz (s. o.) und aus dem Umstand ab, dass die Grundnorm DIN EN 1993-1-9 (vernünftigerweise) ausdrücklich auf eine für den gesamten Stahlbau einheitliche Regelung verzichtet und damit der unterschiedlichen Beanspruchungssituation von Kranbahnen, Brücken etc. Rechnung trägt. Die Anmerkung 2 zu Abs. 3(2) von DIN EN 1993-1-9 [15] bzw. dessen Nationaler Anhang [16] weisen daraufhin, dass die Inspektionsprogramme für Kranbahnen in DIN EN 1993-6 festzulegen sind.

Der zeitliche Abstand zweier Inspektionszeitpunkte (Inspektionsintervall) ist nicht willkürlich festlegbar, sondern leitet sich aus den Überlegungen zur Sprödbruchsicherheit ab. Bei den Untersuchungen der Sprödbruchsicherheit ging man von folgender Überlegung aus [35]:

- Es wird ein Anfangsrisso in der Konstruktion unterstellt, der in Abhängigkeit von der Blechdicke t ($5 \text{ mm} \leq t \leq 200 \text{ mm}$) eine Länge an der Blechoberfläche von 5 mm bis 13 mm besitzt.
- Man unterstellt weiterhin, dass dieser Anfangsrisso, der normalerweise mit den üblichen zerstörungsfreien Prüfmetho den sicher detektierbar ist, bei der Schweißnahtprüfung übersehen wird.
- Schließlich setzt man voraus, dass der Risso spätestens nach $\frac{1}{4}$ der Nutzungsdauer entdeckt wird. Das bedeutet, dass die rissbehaftete Konstruktion (bei gleichmäßiger Schädigung über die Nutzungsdauer) eine Schädigung von $D = \frac{1}{4}$ ertragen muss und dabei nicht durch Sprödbruch versagen darf.

Unter diesen Annahmen wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt und die Sprödbruchsicherheit bei unterschiedlicher Blechdicke, Einsatztemperatur, Umformgrade etc. ermittelt. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 [17].

Durch die Betrachtung einer Schädigung von $D = \frac{1}{4}$ wurde in den Untersuchungen unterstellt, dass vier Inspektionsintervalle bzw. drei Inspektionen durchgeführt werden (Anlehnung an den Stahlbrückenbau mit planmäßiger Nutzungsdauer von 100 Jahren und einer Erneuerung des Korrosionsschutzes mit gleichzeitiger Rissprüfung aller 25 Jahre). Für abweichende Inspektionsintervalle werden in [17] und [35] folgende Beziehungen für langlebige Konstruktionen aufgestellt.

Es wird in [35] davon ausgegangen, dass bei solchen Konstruktionen die einwirkenden Spannungsschwingbreiten im Bereich $\Delta\sigma_D \geq \Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_L$ liegen, Bild 2. Damit gilt für die Schädigung D am Ende der Nutzungsdauer (= Summe aller Inspektionsintervalle):

$$D = \frac{\sum (\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i)^5 \cdot n_i}{\left(\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}\right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6} \leq 1 \tag{1}$$

Unter der Annahme, dass $(k + 1)$ gleichlange Inspektionsintervalle vorliegen, jeweils im kritischen Fall mit einer Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_i = \Delta\sigma_D$, bemisst sich die Länge jedes Intervalls zu $n_i = 5 \cdot 10^6 / (k + 1)$, Bild 3. Die Schädigung innerhalb eines Inspektionsintervalls darf nach oben beschriebenen Annahmen nur $\frac{1}{4}$ betragen.

$$D_{\text{Inspektion}} = \frac{(\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_i)^5 \cdot n_i}{\left(\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}\right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6} \leq \frac{1}{4} \tag{2}$$

$$= \frac{(\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_D)^5 \cdot \frac{5 \cdot 10^6}{k+1}}{\left(\frac{\Delta\sigma_D}{\gamma_{Mf}}\right)^5 \cdot 5 \cdot 10^6} \leq \frac{1}{4} \tag{3}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}}\right)^5 \cdot (k+1)} = \frac{1}{(\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5 \cdot (k+1)} \leq \frac{1}{4} \tag{4}$$

Aufgelöst nach k ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Inspektionen (vgl. [17], [35]) zu

$$k \geq \frac{4}{(\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^5} - 1 \tag{5}$$

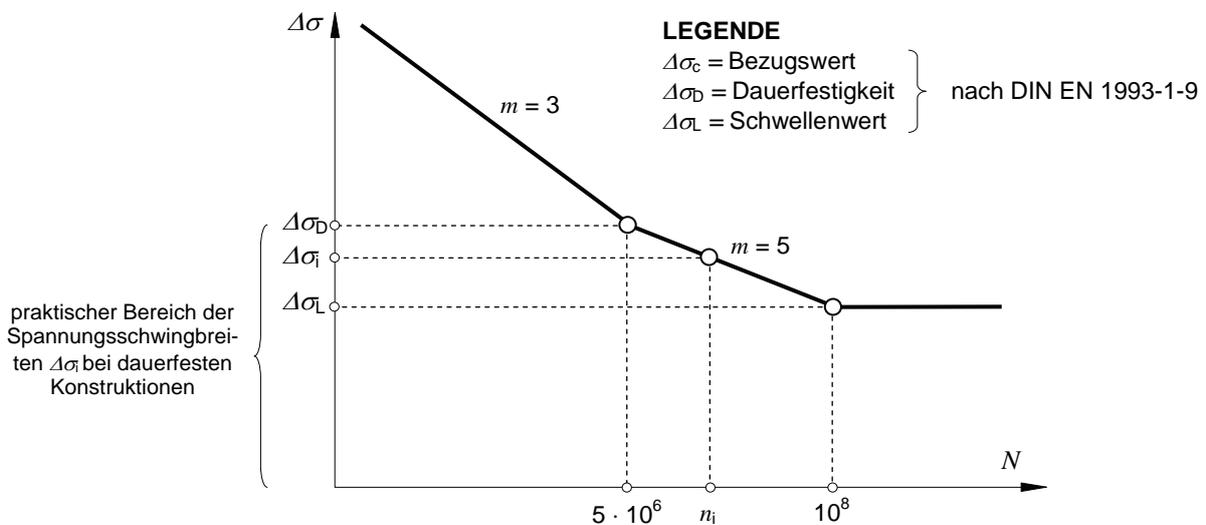


Bild 2 Wöhlerlinie mit typischer Schwingbeanspruchung $\Delta\sigma_i$ für eine langlebige Konstruktion, die auf Dauerfestigkeit auszulegen ist

Da in der Regel $\gamma_{Ft} = 1$ gesetzt wird, kann für unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} nach DIN EN 1993-1-9 [15] die Anzahl der erforderlichen Inspektionen ermittelt werden, Tabelle 2.

Das gleiche Vorgehen kann auch auf Konstruktionen mit schwingender Beanspruchung im Zeitfestigkeitsbereich angewendet werden. Hier liegen die beanspruchenden Spannungsschwingbreiten nach [35] in der Regel bei $\Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_c$, Bild 4. Es wird angenommen, dass $(k + 1)$ gleichlange Inspektionsintervalle vorliegen, jeweils mit einer Spannungsschwingbreite $\Delta\sigma_i = \Delta\sigma_c$. (Anmerkung: Es könnte anstelle des Bezugspunkts nach DIN EN 1993-1-9 mit $\Delta\sigma_c$ aber auch jeder anderer Punkt auf der Zeitfestigkeitsgeraden verwendet werden.) Die Länge jedes Intervalls bemisst sich somit zu $n_i = 2 \cdot 10^6 / (k + 1)$. Für die Schädigungssumme D aller Schwingbreiten über die gesamte Nutzungsdauer gilt nach [35]:

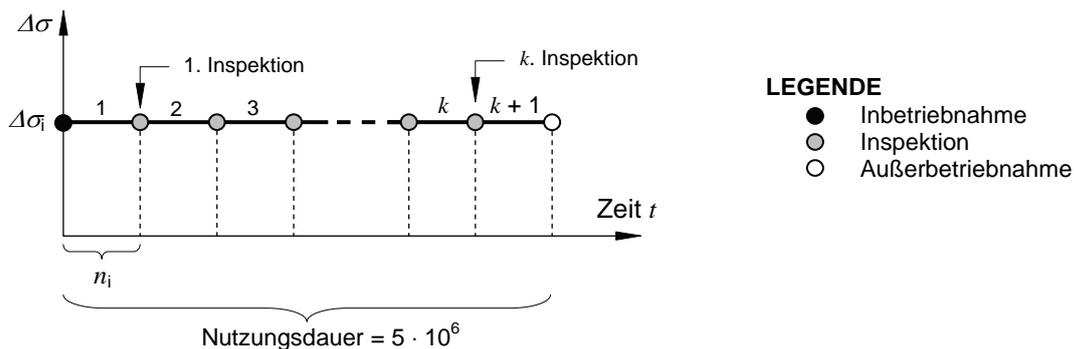


Bild 3 Inspektionsprogramm mit gleich langen Inspektionsintervallen

Tabelle 2 Erforderliche Inspektionen bei dauerfesten Konstruktionen

Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf}	Anzahl k der Inspektionen	Anzahl der Inspektionsintervalle
1,0	3	4
1,15	1	2
1,35	0	1

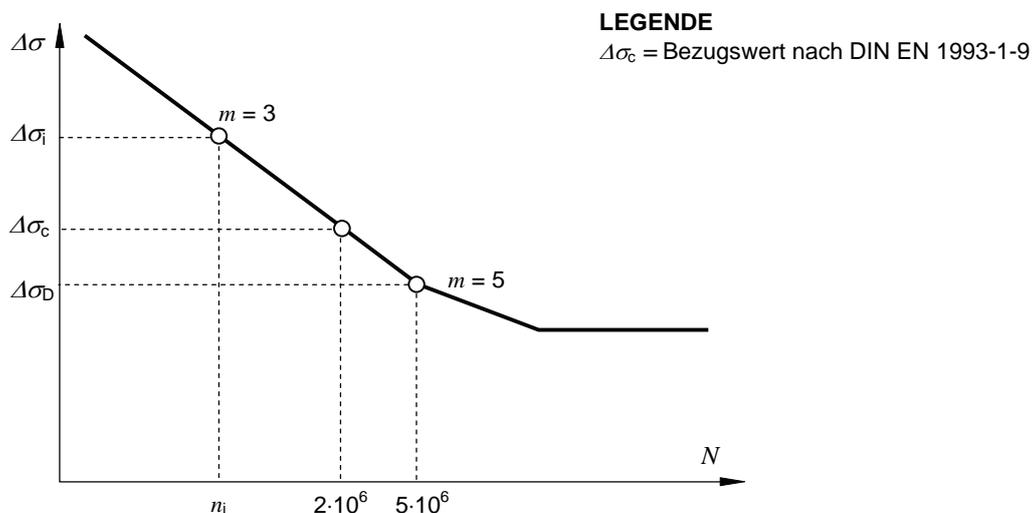


Bild 4 Wöhlerlinie mit typischer Schwingbeanspruchung $\Delta\sigma$ für eine kurzlebige Konstruktion mit Beanspruchung im Zeitfestigkeitsbereich

$$D = \frac{\sum (\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_i)^3 \cdot n_i}{\left(\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6} \leq 1 \quad (6)$$

Die Schädigung innerhalb eines Inspektionsintervalls darf wiederum nur $\frac{1}{4}$ betragen.

$$D_{\text{Inspektion}} = \frac{(\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_i)^3 \cdot n_i}{\left(\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6} \leq \frac{1}{4} \quad (7)$$

$$= \frac{(\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_c)^3 \cdot \frac{2 \cdot 10^6}{k+1}}{\left(\frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \right)^3 \cdot 2 \cdot 10^6} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf}} \right)^3 \cdot (k+1)} = \frac{1}{(\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^3 \cdot (k+1)} \leq \frac{1}{4} \quad (8)$$

Aufgelöst nach k ergibt sich die Anzahl der erforderlichen Inspektionen zu:

$$k \geq \frac{4}{(\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^3} - 1 \quad (9)$$

Da in der Regel $\gamma_{Ff} = 1$ gesetzt wird, kann für unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} die Anzahl der erforderlichen Inspektionen ermittelt werden, Tabelle 3. Für den Fall, dass keine Inspektion durchgeführt wird, ergibt sich im Gegensatz zu den langlebigen Konstruktionen ein erforderlicher Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{Mf} = 1,59$. Rechnet man entgegen dieser Feststellung mit einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mf} = 1,35$ (vgl. DIN EN 1993-1-9 [15]), beträgt die rechnerische Schädigung D am Ende der Nutzungsdauer:

$$D \leq \frac{1}{(\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Mf})^m} = \frac{1}{(1,0 \cdot 1,35)^3} = 0,41 \quad (10)$$

Diese Schädigung ist größer als die im Konzept zur Sprödbruchsicherheit angenommene Schädigung $D = \frac{1}{4} = 0,25$. Die Bemessungstabellen in DIN EN 1993-1-10 [17] für die maximal zulässigen Erzeugnisdicken wären damit nicht anwendbar. Da dieses Problem bei allen im Zeitfestigkeitsbereich beanspruchten Konstruktionen auftritt, bedarf es einer einheitlichen Lösung für den Stahlbau. Aus diesem Grund wurde dieses Problem an den Normenausschuss von DIN EN 1993-1-9 [15] weitergeleitet.

Tabelle 3 Erforderliche Inspektionen bei Konstruktionen mit Beanspruchung im Zeitfestigkeitsbereich

Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf}	Anzahl k der Inspektionen	Anzahl der Inspektionsintervalle
1,00	3	4
1,15	1,6 \approx 2	3
1,35	0,62 \approx 1	2
1,59	\approx 0	1

2.3.1 Reduzierte Schwingbeiwerte

EU EN 1993-6, Abs. 2.3.1

Keine entsprechende Regelung.

D NCI zu 2.3.1

Für den Nachweis der Unterstützungs- und Aufhängungskonstruktion von Kranbahnen, die die Lasten von der Kranbahn bis in die Fundamente weiterleiten, dürfen Schwingbeiwerte $\varphi \geq 1,1$ um $\Delta\varphi = 0,1$ reduziert werden. Die Bemessung der Gründungen darf ohne Ansatz der Schwingbeiwerte erfolgen.

Hintergrund

Die bisherige Regel aus DIN 4132 [5], Abs. 3.1.3 hat sich bewährt und wird daher übernommen. Diese Regel gab es auch in Abs. 2.5 des NAD [25] zu ENV 1993-6 [30]. Die Regel hat einen wissenschaftlichen Hintergrund und geht auf umfangreiche Betriebsmessungen in den 1960er Jahren an realen Kranen und Kranbahnen zurück [2].

2.3.1 Zusammenwirken von Kranen

EU EN 1993-6, Abs. 2.3.1

Keine entsprechende Regelung

D NCI zu 2.3.1

Bei der Berechnung von Spannungen aus dem gleichzeitigen Wirken mehrerer Krane ist für den Kran mit dem größten Wert $F_{z,Ed}$ (einschließlich Schwingbeiwert) mit dessen Schwingbeiwert und für die übrigen mit dem Schwingbeiwert der Hubklasse HC1 nach DIN EN 1991-3 zu rechnen.

Hintergrund

Die bisherige Regel aus DIN 4132 [5], Abs. 3.1.3 hat sich bewährt und wird daher übernommen. Diese Regel gab es auch in Abs. 2.5 des NAD [25] zu ENV 1993-6 [30].

2.3.1 Lastansatz in der Bemessungssituation Erdbeben

EU EN 1993-6, Abs. 2.3.1

Keine entsprechende Regelung.

D NCI zu 2.3.1

Nach DIN EN 1991-3:2010-12, A.2.3 ermittelt sich der Kombinationsbeiwert ψ_2 aus dem Verhältnis von Krangewicht zu Krangewicht plus Hublast des Krans. Das Krangewicht setzt sich in der Regel aus dem Brückengewicht und dem Katzgewicht zusammen.

Für die Ermittlung der Horizontallasten infolge Erdbeben sind lediglich das Krangewicht und gegebenenfalls geführte, mit ψ_2 multiplizierte Hublasten anzusetzen.

Hintergrund

Diese Präzisierung wurde aufgrund von Anfragen an den Normenausschuss für notwendig empfunden, um die Anwendung zu erleichtern. Die Ermittlung des Kombinationsbeiwertes ψ_2 muss auf der Grundlage des Gewichts und der Tragfähigkeit (Hublast), vgl. Tabelle 4 rechts, erfolgen und nicht auf der Basis der Radlasten, vgl. Tabelle 4 links.

Tabelle 4 Ermittlung des Kombinationsbeiwertes ψ_2

Bezug auf Kranbahn (Radlasten)	Bezug auf Kran (Hublast)
<p>Radlasten aus Kraneigengewicht 16,6 kN, 17 kN</p> <p>Radlasten aus Hublast 41,2 kN, 41,4 kN</p>	<p>Gewicht: 6,81 to 5 to Hublast</p>
$\psi_{2,i} \approx \frac{17}{41,4} = 0,41$	$\psi_{2,i} = \frac{6,81}{6,81 + 5,0} = 0,58$

In vielen Fällen wird die Hublast aufgrund ihrer Entkopplung vom Kran und damit von der Gebäudehülle (Seilzüge) nicht durch Erdbeben zu Schwingungen angeregt, Bild 5a. Bei sehr empfindlichen Tragwerken ist ggf. zu überlegen, ob der Fall der angehobenen, nahe an den Kran herangezogenen Hublast (Bild 5b) zu einer teilweisen Kopplung von Hublast und Kran führt.

Bei geführten Hublasten, die starr mit dem Kran verbunden sind, sind die Hublasten stets vollständig in die schwingende Masse einzubeziehen.

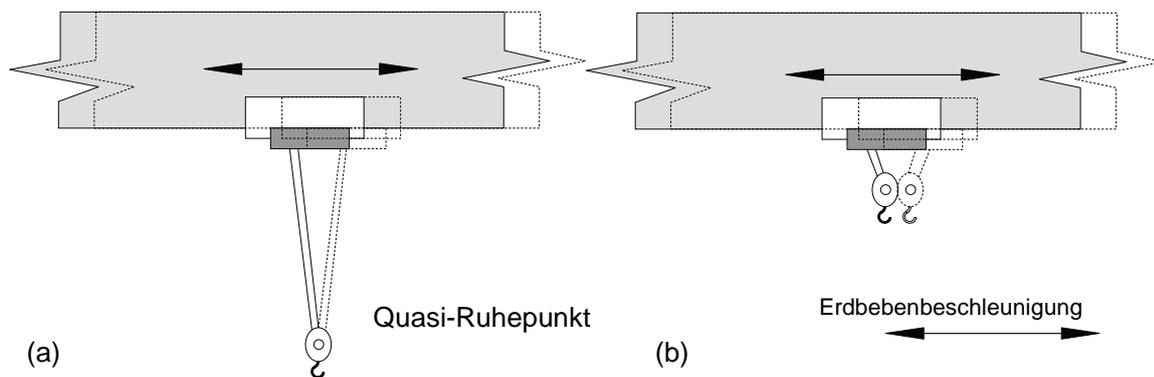


Bild 5 Entkopplung der Hublast vom Kran (a), Anregung der Hublast (b)

2.8(2)P Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{F,\text{test}}$ für Kranprüflasten

EU EN 1993-6, Abs. 2.8(2)P

(2)P Für die Kranprüflasten ist an den entsprechenden Stellen ein Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Abschnitt 6 zu führen. Hierbei ist der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{F,\text{test}}$ für die Kranprüflasten zu verwenden.

ANMERKUNG Der Wert für $\gamma_{F,\text{test}}$ kann im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird der Wert 1,1 empfohlen.

D NDP zu 2.8(2)P

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

Dieser Teilsicherheitsbeiwert geht auf Tab. 10 in DIN EN 13001-2 [27].

3.1 Stahlsorten bis S700

EU EN 1993-6, Abs. 3.1

Keine entsprechende Regelung.

D NCI zu 3.1

Die Erweiterung von DIN EN 1993 auf Stahlsorten bis S 700 gilt auch für Kranbahnen.

Hintergrund

In DIN EN 1993-1-12 [20], der Fachgrundnorm mit zusätzlichen Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S 700, ist in Abs. 3(1) folgende Festlegung vermerkt:

(1) Die in den Anwendungsnormen EN 1993-2 bis EN 1993-6 festgelegten Bemessungsregeln gelten ebenfalls für Stahlsorten über S 460 bis S 700.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang dieser Norm darf Einschränkungen in Bezug auf den Bereich der Stahlsorten, die in EN 1993-2 bis EN 1993-6 verwendet werden dürfen, enthalten.

Aus rein formaler Sicht sind die Bemessungsregeln in DIN EN 1993-6 nicht explizit auf die Stahlsorten bis S 460 abgestellt. Aus praktischer Sicht wird jedoch speziell bei hoher Ermüdungsbeanspruchung der (streckgrenzenunabhängige) Ermüdungsnachweis maßgebend werden. Damit wird der Einsatz höherfester Stähle unwirtschaftlich. Nur aus Gründen der Wirtschaftlichkeit den Stahlsorteneinsatz zu begrenzen, erscheint jedoch nicht gerechtfertigt.

3.2.3(1) Niedrigste Betriebstemperatur bei Hallenkranbahnen

EU EN 1993-6, Abs. 3.2.3(1)

(1) Siehe EN 1993-1-1, 3.2.3(1) und (2).

ANMERKUNG Die niedrigste Betriebstemperatur für Kranbahnen innerhalb von Gebäuden darf im Nationale Anhang festgelegt werden.

D NDP zu 3.2.3(1)

Die niedrigste Betriebstemperatur für Kranbahnen innerhalb von Gebäuden beträgt -10°C .

Hintergrund

Der Anhang A in DIN EN 1993-1-10 [17] enthält einen Vorschlag (Tabelle 5) für Kranbahnen, der nur außenliegende Bauteile behandelt. Für in Gebäuden befindliche Kranbahnen wird keine Einsatztemperatur (auch Betriebstemperatur genannt) vorgeschlagen. Mit Blick auf die bisherige Praxis wird die niedrigste Betriebstemperatur für Kranbahnen innerhalb von Gebäuden wie in EN 1993-6 [30] auf -10°C festgelegt.

Ungeachtet dessen, handelt es sich hierbei um eine Empfehlung, die den Planer nicht von seiner Pflicht entbindet, sich im Einzelfall davon zu überzeugen, dass diese Einsatztemperatur nicht unterschritten wird. Ein Beispiel für unbeheizte Gebäude mit Kranbetrieb sind sog. Wetterhallen, die für die witterungsgeschützte Lagerung von Gütern genutzt werden, vgl. Tabelle 6. Hier ist z. B. mit einer niedrigsten Betriebstemperatur von -20°C zu rechnen.

Tabelle 5 Einsatztemperaturen nach Vorschlag in NA zu DIN EN 1993-1-10 [17] (Auszug)

Zeile	Bauteil	Einsatztemperatur T_{mdr} [$^{\circ}\text{C}$]
1	Stahl- und Verbundbrücken	-30
2	Stahltragwerke im Hochbau	
2a	Außen liegende Bauteile	-30
2b	Innen liegende Bauteile	0
3	Kranbahnen (außenliegende Bauteile)	-30

Tabelle 6 Temperaturangaben nach von Berg [1]

Einbauort	Aufstellungstemperatur	Temperaturdifferenz
Im Freien	10°C	$\pm 35 \text{ K}$
unbeheizte Wetterhalle	10°C	$\pm 30 \text{ K}$
beheizte Halle	18°C	$\pm 12 \text{ K}$

3.2.3(2)P Wahl der Zähigkeit für druckbeanspruchte Bauteile

EU EN 1993-6, Abs. 3.2.3(2)P

(2)P Für druckbeanspruchte Bauteile ist ein angemessener Mindestwert der Zähigkeit zu wählen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Informationen zur Wahl der Zähigkeitseigenschaften für druckbeanspruchte Bauteile geben. Es wird empfohlen, in diesem Fall Tabelle 2.1 in EN 1993-1-10 für $\sigma_{Ed} = 0,25 f_{y(t)}$ anzuwenden.

D NDP zu 3.2.3(2)P

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

Es wird auf den ausführlichen Kommentar von *Kühn/Sedlacek* [35] zur DIN EN 1993-1-10 [17] im Stahlbau-Kalender 2006 verwiesen. Hier werden die wesentlichen Hintergründe und Einflussgrößen für die Stahlsortenwahl mit Blick auf die Zähigkeitsanforderungen beschrieben.

3.2.4(1), Tabelle 3.2 Sollwerte Z_{Ed} für Eigenschaften in Dickenrichtung

EU EN 1993-6, Abs. 3.2.4(1)

(1) Siehe EN 1993-1-1, 3.2.4(1).

ANMERKUNG 1 Besondere Beachtung sollte geschweißten Träger-Stützen-Verbindungen sowie angeschweißten Kopfplatten mit Zugspannung in Dickenrichtung geschenkt werden.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang darf die maßgebende Zuordnung der Sollwerte Z_{Ed} nach EN 1993-1-10, 3.2(3) zu den Qualitätsklassen der EN 10164 angeben. Für Kranbahnen wird eine Zuordnung nach Tabelle 3.2 empfohlen.

D NDP zu 3.2.4(1)

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

Es wird auf den ausführlichen Kommentar von *Kühn/Sedlacek* [35] zur DIN EN 1993-1-10 [17] im Stahlbau-Kalender 2006 verwiesen. Hier werden die wesentlichen Hintergründe und Einflussgrößen für die Stahlsortenwahl mit Blick auf eine wirksame Verhinderung von Versagenserscheinungen in Blechdickenrichtung (Terrassenbruch) beschrieben.

3.2.5 Maßabweichungen

EU EN 1993-6, Abs. 3.2.5

Keine entsprechende Passage.

D NCI zu 3.2.5

Maßabweichungen von Kranbahnen werden in DIN EN 1090-2 geregelt.

Hintergrund

Entgegen der bisherigen Bemessungspraxis sind die Maßabweichungen nicht mehr Bestandteil der Kranbahnnorm, sondern in die oben genannte gesonderte Ausführungsnorm [7] ausgegliedert.

3.6.2(1) Informationen über geeignete Schienen und Schienenstahl

EU EN 1993-6, Abs. 3.6.2(1)

(1) Sowohl speziell angefertigte Kranschienen als auch Eisenbahnschienen sollten aus speziellen Schienenstählen mit genormten Mindestzugfestigkeiten zwischen 500 N/mm² und 1 200 N/mm² hergestellt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Informationen über geeignete Schienen und Schienenstähle, abhängig von der Ausgabe der entsprechenden Produktregelungen (EN-Produktnormen, ETAG und ETA) geben.

D NDP zu 3.6.2(1)

Solange keine harmonisierten Produktnormen oder ETAs vorliegen, gilt für Schienenstähle DIN 536-1.

Hintergrund

Bisher fehlen entsprechende Produktnormen oder europäische Zulassungen. Daher wurde der Verweis auf die bislang geltende nationale Produktnorm aufgenommen. Weitere Informationen zu Schienen für Krananlagen können auch VDI-Richtlinie 3576 [44] entnommen werden.

3.6.3(1) Informationen über besondere Verbindungsmittel für Schienen

EU EN 1993-6, Abs. 3.6.3(1)

(1) Besondere Verbindungsmittel für Kranschienen, einschließlich speziell angefertigter Befestigungen und Elastomerunterlagen, sollten nach den entsprechenden Produktnormen für ihre Verwendung geeignet sein.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Informationen über besondere Verbindungsmittel geben, wenn für diese keine passenden Produktregelungen (EN-Produktnorm, ETAG und ETA) existieren.

D NDP zu 3.6.3(1)

Kranschienenbefestigungen sind nach den Angaben der Hersteller zu montieren.

Bei der Querschnittstragfähigkeit des Kranbahnträgers berücksichtigte Kranschienen müssen mit Verbindungsmitteln angeschlossen werden, für die eine harmonisierte Produktnorm oder ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis vorliegt.

Für Injektionsschrauben ist ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis erforderlich.

ANMERKUNG Als bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise gelten:

- europäische technische Zulassungen,
- allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen,
- die Zustimmung im Einzelfall.

Hintergrund

Die Schienenbefestigung befindet sich unmittelbar an der Schnittstelle zwischen dem bauaufsichtlich geregelten Stahlbau und dem Maschinenbau. In der Regel existieren für die Verbindungsmittel nur Werksnormen. Werksnormen sind das Ergebnis der Normungsarbeit eines Unternehmens für eigene Bedürfnisse. Für Schienenbefestigungen (z. B. Klemmverbindungen etc.), die nicht bei der Kranbahnbemessung als mittragende Querschnittsteile herangezogen werden, wird an der bisherigen Praxis festgehalten, dass es nicht unbedingt eines bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises in Form einer Produktnorm oder Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erfordert. Für mittragende Schienenbefestigungen ist ein solcher Verwendbarkeitsnachweis jedoch zwingend erforderlich.

Beim Ausschluss von Injektionsschrauben als Schienenverbindungsmittel orientiert man sich am Brückenbau [22], bei dem solche Verbindungsmittel auch nicht zulässig sind. Weitere Informationen zu Schienenverbindungen können auch VDI-Richtlinie 3576 [44] entnommen werden.

5.8 Überlagerung mit lokaler Biegespannung im Untergurt infolge Radlasten

EU EN 1993-6, Abs. 5.8

Keine Festlegung

D NCI zu 5.8

Bei der Überlagerung der lokalen Biegespannung im Untergurt infolge Radlasten nach DIN EN 1993-6:2010-12, 5.8(3) mit den Normspannungen aus der globalen Trägerbeanspruchung dürfen die lokalen Biegespannungen auf 75 % reduziert werden. Das gilt auch für den Ermüdungsnachweis, siehe DIN EN 1993-6:2010-12, 9.3.4.

Hintergrund

Die Regeln zur Ermittlung der Trägerflanschbiegung bei Unterflanschlaufkatzen infolge Radlasteinleitung in DIN EN 1993-6 gehen auf die FEM-Richtlinie 9.341 [31] zurück. Der Vorzug der Berechnungsregeln der FEM-Richtlinie gegenüber anderen Ansätzen (siehe [40]) besteht darin, dass die Formelbeziehungen nicht nur auf theoretischem Weg hergeleitet, sondern auch an Versuchen kalibriert wurden.

Die durch den Nationalen Anhang zugelassene 75 % Reduktion ist Bestandteil der FEM-Richtlinie [31]. Die Reduktion wird in [31] damit begründet, dass die Flanschbiegung nur eine örtliche Spannungsspitze erzeugt, die bereits in 10 mm Entfernung vom Ort des Maximums auf die Hälfte des Maximalwertes abgeklungen ist. Zum anderen wird in [31] darauf hingewiesen, dass die Berücksichtigung der örtlichen Flanschbiegung die Genauigkeit der Berechnung erhöht, Unsicherheiten abbaut und damit einen kleineren Sicherheitsbeiwert rechtfertigt. Es wird auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass ein Abgleich der Formelbeziehungen mit solchen Krankonstruktionen erfolgte, die nach langjährigem Einsatz keine Schäden aus Flanschbiegung aufwiesen. Aus diesem Grund wird für das NA entschieden, die Reduktion der Flanschbiegung auf 75 % nicht nur im Grenzzustand der Tragfähigkeit, sondern auch bei der Materialermüdung zuzulassen.

6.1(1) Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit

EU EN 1993-6, Abs. 6.1(1)

(1) Die zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für die verschiedenen charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit im Teil 6 sind in Tabelle 6.1 aufgeführt.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für die Beanspruchbarkeit von Kranbahnen festlegen. Folgende Werte werden empfohlen.

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25,$$

$$\gamma_{M3} = 1,25;$$

$$\gamma_{M3,ser} = 1,10;$$

$$\gamma_{M4} = 1,00;$$

$$\gamma_{M5} = 1,00;$$

$$\gamma_{M6,ser} = 1,00;$$

$$\gamma_{M7} = 1,10$$

D NDP zu 6.1(1)

Es gelten folgende Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für die Beanspruchbarkeit von Kranbahnen:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,10;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25, \text{ unter Berücksichtigung der Ergänzungen in DIN EN 1993-1-8/NA;}$$

$$\gamma_{M3} = 1,25;$$

$$\gamma_{M3,ser} = 1,10;$$

γ_{M4} : ist jeweils über den bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis festzulegen;

$$\gamma_{M5} = 1,00;$$

$$\gamma_{M6,ser} = 1,00;$$

$$\gamma_{M7} = 1,10;$$

Hintergrund

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} wird in Übereinstimmung mit dem Stahlbrückenbau (DIN EN 1993-2 [21]) zu $\gamma_{M1} = 1,1$ gesetzt. Im Gegensatz dazu sieht die bisherige Empfehlung für den Hochbau $\gamma_{M1} = 1,0$ vor. Aktuelle Veröffentlichungen [38] zeigen jedoch, dass eine Reduktion auf $\gamma_{M1} = 1,0$ nicht gerechtfertigt ist, Bild 6. Die Reduktion im Hochbau wird mit Sicherheitsreserven bei den Lastannahmen begründet, die bei Kranbahnen eher nicht auftreten.

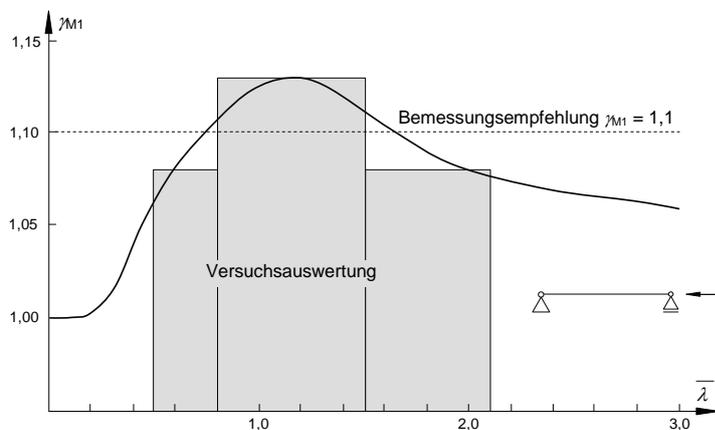


Bild 6 Biegeknicken um die schwache Achse, Versuchsergebnisse und γ_{M1} -Auswertung nach [38]

Mit Blick auf den Teilsicherheitsbeiwert γ_{M2} wird auf den Abschnitt 3.2 des NA [14] zu DIN EN 1993-1-8 [13] verwiesen. Durch eine Reduzierung der Abminderungsfaktoren für Schweißverbindungen von höherfesten Stählen kann deren höhere Tragfähigkeit genutzt werden. Es gilt nach [14]:

- $\gamma_{M2,S420} = 1,25$, unter Verwendung von $\beta_w = 0,88$ statt $\beta_w = 1,0$ aus DIN EN 1993-1-8 [13], Tabelle 4.1.
- $\gamma_{M2,S460} = 1,25$, unter Verwendung von $\beta_w = 0,85$ statt $\beta_w = 1,0$ aus DIN EN 1993-1-8 [13], Tabelle 4.1.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M4} gilt für Injektionsschrauben. Injektionsschrauben sind grundsätzlich nur dann für Kranbahnen oder andere schwingend beanspruchte Konstruktionen verwendbar, wenn ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis vorliegt, vgl. auch nationale Festlegung zu Abs. 3.6.3(1).

6.3.2.3(1) Alternative Bemessungsmethoden für Biegedrillknicken

EU EN 1993-6, Abs. 6.3.2.3(1)

(1) Der Biegedrillknicknachweis eines als Einfeldträger gelagerten Kranbahnträgers darf als Nachweis gegen Biegeknicken eines Druckstabes mit einer Querschnittsfläche aus Druckgurt und einem Fünftel des Steges geführt werden. Die nachzuweisende Drucknormalkraft berechnet sich aus dem Biegemoment infolge vertikaler Einwirkungen dividiert durch den Abstand zwischen den Flanschschwerpunkten. Das Biegemoment infolge horizontaler Seitenlasten sollte zusammen mit den Torsionseinwirkungen ebenfalls berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf alternative Nachweisverfahren festlegen. Es wird das im Anhang A angegebene Verfahren empfohlen.

D NDP zu 6.3.2.3(1)

Es wird das in Anhang A angegebene Verfahren empfohlen.

Hintergrund

Dieses Verfahren wird durch einen Fachbeitrag von *Lindner/Glitsch* [36] im *Stahlbau* ausführlich erläutert. Hervorzuheben ist in der Nachweisformel (A.1) der Einfluss der Wölbkrafttorsion in Form des Wölbmoments (dritter Term). Es wird ausdrücklich betont, dass nur die Wölbkrafttorsion auf den Stabilitätsnachweis einen Einfluss besitzt, da sie im Gegensatz zur *St.-Venantschen* Torsion zu zusätzlichen Normalspannungen führt.

7.3 Einteilung der Einwirkungen – Ergänzung für Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

EU EN 1993-6, Abs. 7.3

Keine entsprechende Festlegung.

D NCI zu 7.3

Ergänzend zu DIN EN 1991-3:2010-12, Tabelle 2.2 darf die angegebene Tabelle NA.1 [hier: Tabelle 7] verwendet werden.

Tabelle 7 Zuordnung von Lastgruppen und dynamischen Vergrößerungsfaktoren, die als einzelne charakteristische Einwirkung anzusehen sind (Tabelle NA.1 in [24])

Belastung	Symbol	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit		
		Lastgruppen		
		101	102	103
Eigengewicht des Krans	Q_c	1	1	1
Hublast	Q_H	1	1	1
Beschleunigen / Bremsen der Kranbrücke	H_L, H_T	-	-	1
Schräglauf der Kranbrücke	H_S	-	1	-
Wind in Betrieb	F_W^+	-	1	1

Hintergrund

Um die zukünftige Bemessungspraxis zu erleichtern, wird durch Tabelle 7 klar gestellt, welche Lasten aus Kranbetrieb im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit einander zu überlagern sind. Es wird weiterhin verdeutlicht, dass keine Schwingbeiwerte (vgl. Tabelle 2.2 in DIN EN 1991-3 [8]) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit angesetzt werden müssen.

Es wird ausdrücklich betont, dass diese Tabelle nur die Lasten benennt, die zu einer Lastgruppe zusammenzufassen und als eine einzelne Einwirkung bei der Bildung der Lastkombinationen nach EN 1990 [29] zu behandeln sind.

7.3(1) Begrenzungen der Durchbiegungen und Verformungen

EU EN 1993-6, Abs. 7.3(1)

(1) Grenzwerte für die Verformungen und Verschiebungen sollten, zusammen mit der Lastfallkombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, unter der sie nachzuweisen sind, für jedes Projekt im Einzelnen vereinbart werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf die Begrenzungen für vertikale und horizontale Durchbiegungen festlegen. Die Grenzwerte in Tabelle 7.1 werden für die Nachweise horizontaler Verformungen unter der charakteristischen Lastfallkombination empfohlen. Die Verwendung der Grenzwerte in Tabelle 7.2 wird für die Nachweise vertikaler Durchbiegungen unter der charakteristischen Lastfallkombination ohne Berücksichtigung der Schwingbeiwerte empfohlen.

D NDP zu 7.3(1)

Die Begrenzungen der vertikalen und horizontalen Durchbiegungen erfolgen nach DIN EN 1993-6:2010-12, Tabelle 7.1 und Tabelle 7.2 mit folgender Änderung:

- Für die Berechnung der Verformungen nach Tabelle 7.1, Zeile b) brauchen nur die Lasten aus Kranbetrieb berücksichtigt zu werden. Die Grenzwerte der Verformungen nach Tabelle 7.1, Zeile b) ergeben sich aus folgender Tabelle NA.2 [hier: Tabelle 8]:
- Für die Berechnung der Verformungen nach Tabelle 7.1, Zeile e) brauchen nur die Lasten aus Kranbetrieb berücksichtigt zu werden.
- In Tabelle 7.2, Zeile a) wird der Grenzwert für vertikale Verformungen auf $\delta_z \leq L/500$ und $\delta_z \leq 25$ mm erweitert.

Tabelle 8 Grenzwerte für Verformungen (Tabelle NA.2 in [24])

Hubklasse	grenz δ_y
HC 1	$h_c / 250$
HC 2	$h_c / 300$
HC 3	$h_c / 350$
HC 4	$h_c / 400$

Hintergrund zu horizontalen Verformungen

Die Größe h_c bezeichnet den Abstand der horizontalen Festhalterung der Kranbahnstütze zu der Ebene, in der der Kran gelagert ist (auf einer Kranschiene oder auf einem Flansch). Die Größe δ_y bezeichnet die horizontale Verschiebung in der Höhe der Kranauflagerung, Bild 7.

Der Text im NA geht auf einen Vorschlag von *Meister/Seeßelberg* zurück. Auf den Hintergrund der Begrenzung der horizontalen Verschiebung δ_y eines Tragwerks in Höhe der Kranauflagerung wird in [37] ausführlich eingegangen. Die Praxis zeigt, dass der geforderte Grenzwert $\delta_y = h_c / 400$ (vgl. Bild 7) in manchen Fällen gegenüber den Tragfähigkeitsnachweisen für die Stützenprofile dimensionierend wird. Eine Differenzierung in Abhängigkeit von der Schwere des Kranbetriebs ist daher erforderlich.

Da es beim Nachweis der horizontalen Verschiebung der Kranauflagerung ausschließlich um die Vermeidung von Schwingungen geht, sollten statische und quasi-statische Lasten (z. B. Eigengewichte und Schneelasten) bei der Berechnung der horizontalen Verformungen unberücksichtigt bleiben und nur die die Schwingung erzeugenden Lasten aus Kranbetrieb betrachtet werden.

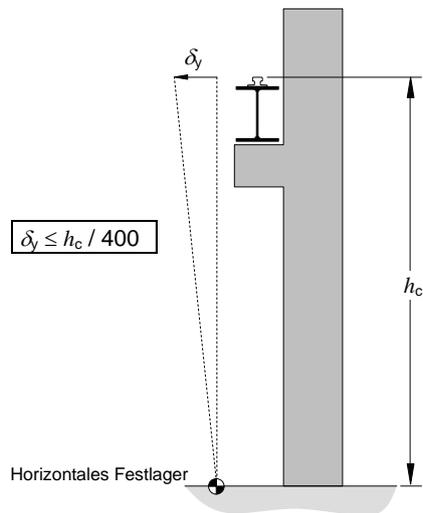


Bild 7 Begrenzung der horizontalen Verschiebungen nach Tabelle 7.1 in DIN EN 1993-6

Die zu vermeidenden Schwingungen werden durch den Hubvorgang ausgelöst [37]. Daher ist es sinnvoll, die Größe des Grenzwertes in Abhängigkeit vom Schwingbeiwert φ_2 (dynamische Einwirkungen beim Anheben der Hublast vom Boden) zu definieren. Der Schwingbeiwert φ_2 hängt von der Hubklasse nach DIN EN 1991-3 [8] und von der Hubgeschwindigkeit v_a ab.

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_a \quad (11)$$

Für eine maximale Hubgeschwindigkeit von $v_a = 1,5$ m/s ergeben sich die Schwingbeiwerte φ_2 der Tabelle 9. Die in DIN EN 1993-6 vorgeschlagene Begrenzung von $\delta_y \leq h_c/400$ erscheint für die Hubklasse HC4 sinnvoll. Für Krane mit kleineren Hubklassen werden die Grenzwerte im Verhältnis der Schwingbeiwerte angehoben, Gl. (12).

$$\delta_{y,<HC4} = \frac{h_c}{400 \cdot \frac{\varphi_{2,<HC4}}{\varphi_{2,HC4}}} \quad (12)$$

Damit ergeben sich die Grenzwerte in Tabelle 10.

Tabelle 9 Schwingbeiwerte

Hubklasse	$\varphi_{2,\min}$	β_2	φ_2
HC 1	1,05	0,17	1,31
HC 2	1,10	0,34	1,61
HC 3	1,15	0,51	1,92
HC 4	1,20	0,68	2,22

Tabelle 10 Empfohlene Grenzwerte für die horizontale Verformung δ_y

Hubklasse	Verhältnis von φ_2 in Bezug auf HC 4	Grenzwert genau	Grenzwert gerundet
HC 1	0,588	$h_c / 235$	$h_c / 250$
HC 2	0,725	$h_c / 290$	$h_c / 300$
HC 3	0,865	$h_c / 346$	$h_c / 350$
HC 4	1,00	$h_c / 400$	$h_c / 400$

Hintergrund zu vertikalen Verformungen

Die Heraufsetzung des Grenzwertes für die vertikalen Verformungen von Kranbahnträgern von $\delta_z \leq L/600$ auf $\delta_z \leq L/500$ entspricht der bisherigen Bemessungspraxis in Deutschland, Tabelle 11.

Tabelle 11 Empfohlene vertikale Durchbiegungsbegrenzungen für Kranbahnträger

Quelle	Empfehlung
[43], allgemein	$L/500$ bis $L/800$
[40], leichter Betrieb	$L/500$
[40], schwerer Betrieb	$L/800$ bis $L/1000$

Auf eine detailliertere Staffelung der Grenzwerte nach leichten und schweren Kranbetrieb wurde verzichtet, da es in der bisherigen Praxis mit DIN 4132 [5] gar keine Grenzwertfestlegungen gab. Die Festlegung der Grenzwerte erfolgte bisher in direkter Abstimmung zwischen Kranlieferant und Stahlbauer. Diese Vorgehensweise hat sich bewährt. Die absolute Begrenzung auf $\delta_z \leq 25$ mm in Tabelle 7.2 [23] bleibt hiervon unberührt.

7.5(1) Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{M,ser}$ für Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

EU EN 1993-6, Abs. 7.5(1)

(1) Um elastisches Verhalten sicherzustellen, sollten die Spannungen $\sigma_{Ed,ser}$ und $\tau_{Ed,ser}$ aus der maßgebenden charakteristischen Lastfallkombination oder der Prüflastkombination unter Berücksichtigung des Einflusses von Schubverzerungen und örtlichen Spannungen (z. B. infolge sekundärer Anschlussmomente bei Fachwerkträgern), wie folgt begrenzt werden: [...]

ANMERKUNG Der Zahlenwert für $\gamma_{M,ser}$ darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Der empfohlene Wert ist $\gamma_{M,ser} = 1,00$.

D NDP zu 7.5(1)

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

In der Regel sind Kranbahnträger auf Materialermüdung nachzuweisen. Eine plastische Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit scheidet daher aus, auch wenn eine solche Bemessung nach DIN EN 1993-6, Abs. 6 grundsätzlich möglich ist. Nur im Sonderfall einer plastischen Bemessung wird ein Nachweis des elastischen Verhaltens erforderlich. Der empfohlene Zahlenwert wird daher als ausreichend betrachtet.

8.5.2 Krankklassen für starre Schienenbefestigungen

EU EN 1993-6, Abs. Abs. 8.5.2

Keine entsprechende Festlegung.

D NCI zu 8.5.2

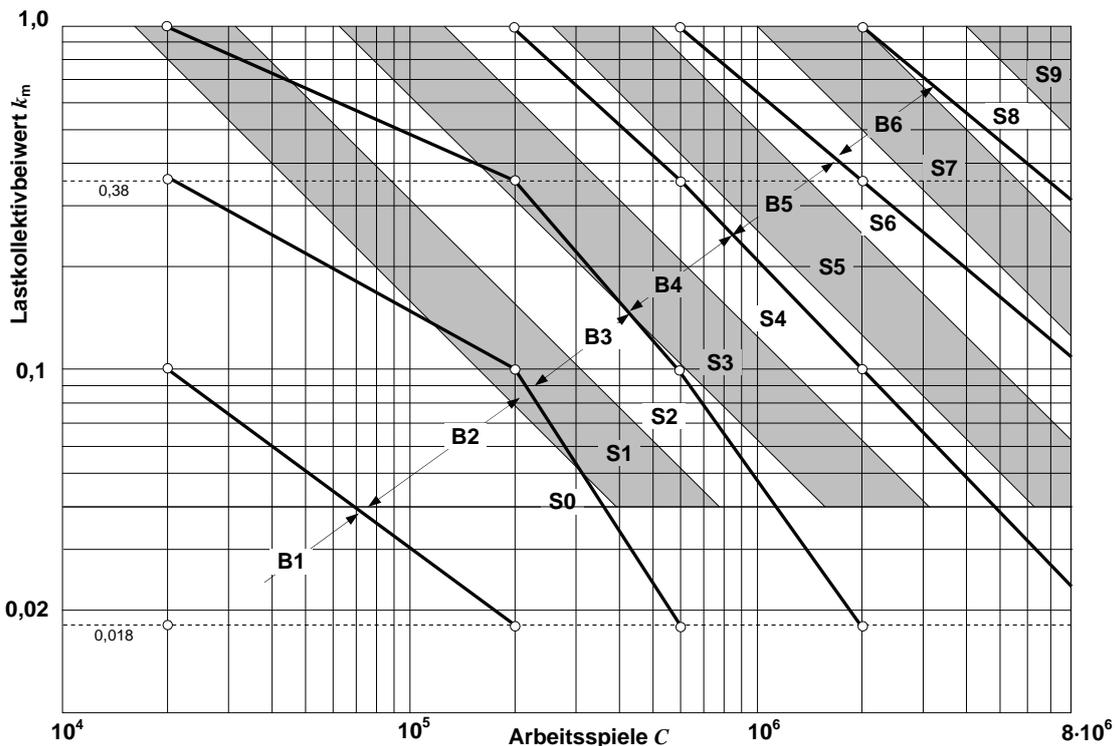
Starre Schienenbefestigungen sind nur bei Krankklassen S0 bis S3 zu empfehlen.

Hintergrund

Aufgrund der hohen Lasten verbietet sich eine starre Schienenbefestigung (wie z. B. Anschweißen) für die alten Beanspruchungsgruppen höher als B3. Hierbei handelt es sich um die bisher übliche Praxis. Der Nationale Anhang trifft im Gegensatz dazu eine großzügigere Empfehlung, vgl. Bild 8. Die Empfehlung entbindet jedoch nicht von einem rechnerischen Nachweis, der für starre Schienenbefestigungen (z. B. Schienenschweißnaht) mit den Hilfsmitteln der Norm ohne Weiteres möglich ist.

Weitere Informationen zu Schienenbefestigungen können auch VDI-Richtlinie 3576 [44] entnommen werden.

Der Zusammenhang zwischen alten Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und neuen Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 wird ausführlich in Kapitel E dieses Berichts dargestellt.



Legende:

- B Beanspruchungsgruppe nach DIN 15018-1
- S Beanspruchungsklasse nach prEN 13001-3-1

Bild 8 Vergleich der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und der Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1

8.2(4) Beanspruchungsgruppen unter "hoher Ermüdungsbelastung"

EU EN 1993-6, Abs. 8.2(4)

(4) Für Krane hoher Beanspruchungsgruppen sollten Steifen oder andere Anbauten nicht an den befahrenen Obergurt eines Kranbahnträgers angeschweißt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Beanspruchungsgruppen unter „hoher Ermüdungsbelastung“ spezifizieren. Die Beanspruchungsgruppen S7 bis S9 nach DIN EN 1991-3, Anhang B werden empfohlen.

D NDP zu 8.2(4)

Es gilt die Empfehlung mit folgender Ausnahme: Für das Anschweißen von Steifen an den befahrenen Obergurt sind die Beanspruchungsklassen S5 bis S9 nach DIN EN 1991-3:2010-06, Anhang B als hohe Ermüdungsbelastung zu spezifizieren.

Hintergrund

Die bisherige Bemessungspraxis nach DIN 4132 [5], Abs. 5.3.3 untersagt für die alten Beanspruchungsgruppen B5 und B6 ein Anschweißen von Steifen und Schienenklemmplatten an Gurte, die direkt von Kranlasten befahren werden. Die Festlegung im NA folgt damit der bisherigen Bemessungspraxis. Eine großzügigere Empfehlung wie z. B. für Abs. 8.5.2 ist ohne zusätzliche wissenschaftliche Untersuchungen nicht möglich, da für das Konstruktionsdetail der „Steife mit Überrollung“ kein Kerbdetail besteht und damit prinzipiell kein rechnerischer Nachweis möglich ist. Der Zusammenhang zwischen alten Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und neuen Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 wird ausführlich in Kapitel E dieses Berichts dargestellt, vgl. auch Bild 9.

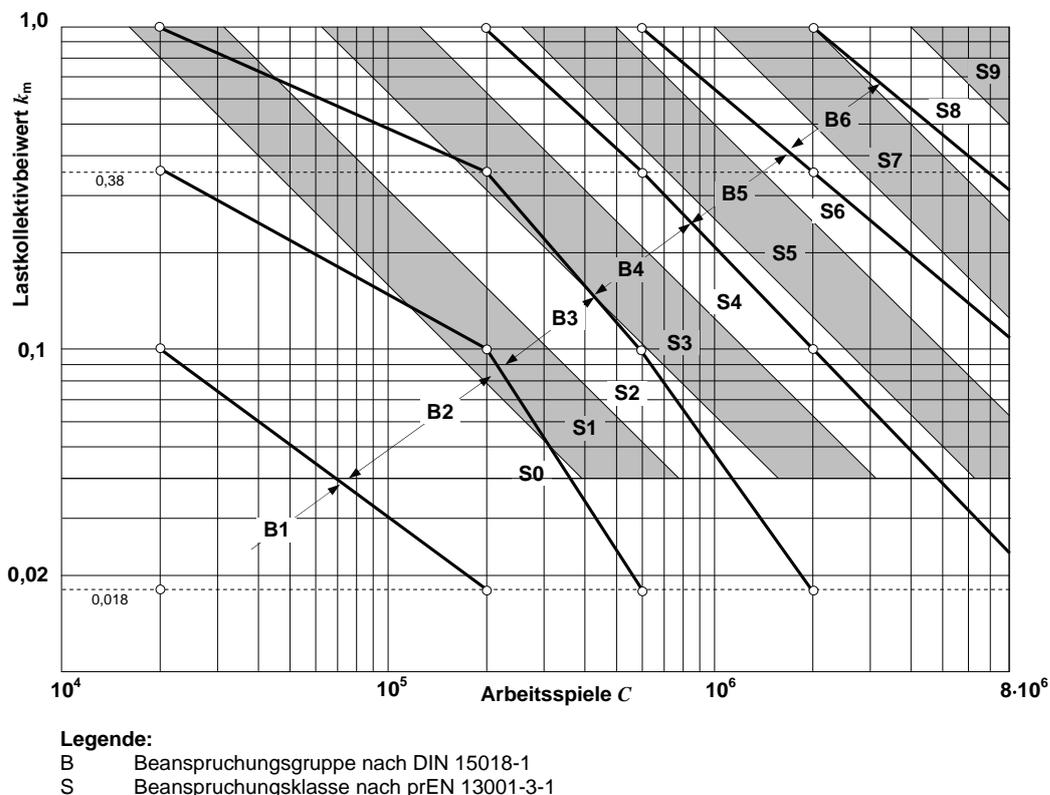


Bild 9 Vergleich der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und der Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1

8.5.3 Dehnfugen

EU EN 1993-6, Abs. 8.5.3

Keine entsprechende Empfehlung

D NCI zu 8.5.3

Auch wenn die Kranbahnen Dehnfugen aufweisen, kann in lose verlegten Schienen (Befestigung mit Klemmplatten) auf Dehnfugen verzichtet werden.

Hintergrund

Diese Ergänzung greift eine in der Praxis bewährte Konstruktionsweise auf. Weitere Informationen zu Schienenverbindungen können auch VDI-Richtlinie 3576 [44] entnommen werden.

9.1(2) Begrenzung der Lastwechselzahl C_0 ohne Ermüdungsnachweis

EU EN 1993-6, Abs. 9.1(2)

(2) Bei Kranbahnen ist kein Ermüdungsnachweis erforderlich, sofern die Anzahl der Lastwechsel mit mehr als 50 % der vollen Nutzlast C_0 nicht übersteigt.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf den Wert für C_0 festlegen. $C_0 = 10^4$ wird empfohlen.

D NDP zu 9.1(2)

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

Siehe Hintergrund zu nationaler Festlegung bzgl. Abs. 2.1.3.2(1).

9.2(1)P Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Ff} für Ermüdungsbelastung

EU EN 1993-6, Abs. 9.2(1)P

(1)P Für Ermüdungslasten muss der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Ff} verwendet werden.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf Werte für γ_{Ff} festlegen. $\gamma_{Ff} = 1,0$ wird empfohlen.

D NDP zu 9.2(1)P

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

Analog anderen Bereichen des Stahlbaus, wie z. B. dem Stahlbrückenbau [22], wird der empfohlene Wert festgeschrieben.

9.2(2)P Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} für Ermüdungsfestigkeit

EU EN 1993-6, Abs. 9.2(2)P

(2)P Für die Ermüdungsfestigkeit muss der Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} verwendet werden.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf Werte für γ_{Mf} festlegen. Es wird empfohlen, EN 1993-1-9, Tabelle 3.1 anzuwenden.

D NDP zu 9.2(2)P

Als Standardfall für Kranbahnen ist von einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Mf} = 1,15$ verbunden mit 3 Inspektionsintervallen auszugehen. Davon abweichende Teilsicherheitsbeiwerte sind an die Mindestanzahl der Inspektionsintervalle gemäß Tabelle NA.3 [hier: Tabelle 12] geknüpft.

Tabelle 12 Erforderliche Anzahl von Inspektionsintervallen (Tabelle NA.3 in [24])

Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf}	Anzahl der Inspektionsintervalle
1,00	4
1,15	3
1,35	2
1,60	1

Hintergrund

Tabelle 13 zeigt die Empfehlungen für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} nach DIN EN 1993-1-9 [15]. Zum einen wird bei der Unterscheidung von nur zwei Schadensfolgen das Konzept der drei Schadensfolgeklassen CC1 bis CC3 (engl. *consequence class*) nach DIN EN 1090-1 [6] durchbrochen. Zum anderen wird beim Bemessungskonzept mit Schadenstoleranz nicht auf die Anzahl der Inspektionen und die Art der Beanspruchung (Zeitfestigkeits- oder Dauerfestigkeitsbereich) eingegangen. An dieser Stelle besteht offensichtlich ein Überarbeitungsbedarf in DIN EN 1993-1-9 [15]. Eine Beseitigung dieser Unzulänglichkeit im NA zu DIN EN 1993-6 unabhängig von den anderen Bereichen des Stahlbaus wird als nicht sinnvoll erachtet.

Auf die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mf} aus Tabelle 12 wurden im Hintergrund zu Abs. 2.1.3.2(1)P eingegangen.

Tabelle 13 Empfehlungen nach DIN EN 1993-1-9 für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{Mf} für die Ermüdungsfestigkeit

Bemessungskonzept	Schadensfolgen	
	niedrig	hoch
Schadenstoleranz	1,00	1,15
Sicherheit gegen Ermüdungsversagen ohne Vorankündigung	1,15	1,35

9.3.3(1) Beanspruchungsgruppen, bei denen Biegung aus Exzentrizität vernachlässigt werden kann

EU EN 1993-6, Abs. 9.3.3(1)

(1) Im Steg sollten folgende lokale Spannungen infolge Radlasten am Obergurt berücksichtigt werden:

- Druckspannungen $\sigma_{z,Ed}$ nach 5.7.1, ohne dass bei nicht vollständig durchgeschweißten Nähten ein Kontakt zwischen Flansch und Steg angenommen wird,
- Schubspannungen $\tau_{xz,Ed}$ nach 5.7.2,
- sofern nicht anderweitig festgelegt, Biegespannungen $\sigma_{T,Ed}$ infolge seitlicher Exzentrizität e_y der Vertikallasten $F_{z,Ed}$ nach 5.7.3.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf Beanspruchungsgruppen bestimmen, für die die Biegespannungen $\sigma_{T,Ed}$ vernachlässigt werden können. Dies wird für die Beanspruchungsgruppen S0 bis S3 empfohlen.

D NDP zu 9.3.3(1)

Es gilt die Empfehlung für die Beanspruchungsgruppen S0 bis S2.

Hintergrund

In der bisherigen Bemessungspraxis musste die Exzentrizität nach DIN 4132 [5], Abs. 3.1.2 in den alten Beanspruchungsgruppen B4 bis B6 berücksichtigt werden.

Der Zusammenhang zwischen alten Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und neuen Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 wird in Kapitel E dieses Berichts dargestellt, vgl. Bild 10.

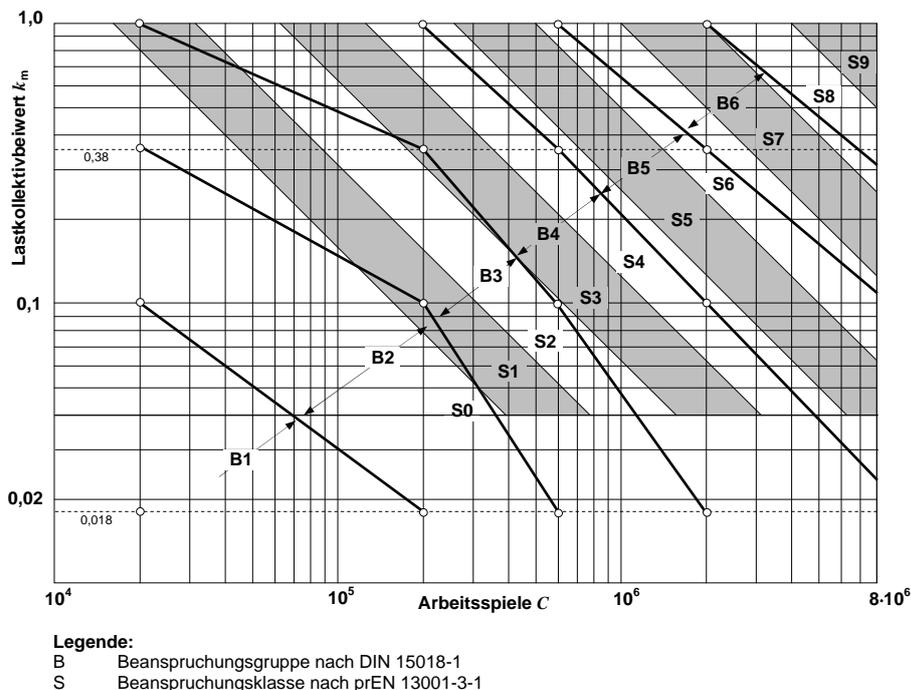


Bild 10 Vergleich der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 und der Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1

9.4.2(5) Schädigungsäquivalente Beiwerte λ_{dup} für Beanspruchung aus mehreren Kranen

EU EN 1993-6, Abs. 9.4.2(5)

Falls keine genaueren Informationen vorhanden sind, dürfen die schadensäquivalenten Spannungsschwingbreiten $\Delta\sigma_{E2}$ aus zwei oder mehr zeitweise zusammenwirkenden Kranen mit Hilfe des Schadensäquivalenzfaktors λ_{dup} bestimmt werden.

ANMERKUNG: Der Nationale Anhang kann Werte für λ_{dup} festlegen. Es wird empfohlen, für λ_{dup} die Werte für λ_i aus EN 1991-3, Tabelle 2.12 für die Beanspruchungsgruppe S_i wie folgt zu verwenden:

- bei 2 Kranen: 2 Beanspruchungsgruppen unter der Beanspruchungsgruppe des Krans mit der niedrigsten Beanspruchungsgruppe.
- bei 3 oder mehr Kranen: 3 Beanspruchungsgruppen unter der Beanspruchungsgruppe des Krans mit der niedrigsten Beanspruchungsgruppe.

D NDP zu 9.4.2(5)

Es gilt die Empfehlung.

Hintergrund

In der bisherigen Bemessungspraxis gab es mit DIN 4132 [5], Abs. 4.4.2 eine vergleichbare Regelung.

E. Vergleich der Beanspruchungsklassen nach nationaler und europäischer Normung

E.1 Systematik der Beanspruchungsklassen nach EN 13001-3-1

Die Beanspruchungsklasse (auch in Anlehnung an die Terminologie von DIN 15018 gelegentlich Beanspruchungsgruppe genannt) wird nach DIN EN 13001-3-1 [28] auf der Grundlage eines Parameters, dem Spannungsverlaufparameter s_m , festgelegt, Tabelle 14:

$$s_m = v \cdot k_m \quad (13)$$

In diesen Parameter gehen folgende Einflussgrößen ein:

- der Lastkollektivbeiwert k_m des Lastkollektivs repräsentiert durch die Klasse Q. (In DIN EN 13001-1 [26] wird der Lastkollektivbeiwert abweichend mit k_Q bezeichnet.)
- die Gesamtzahl C der Arbeitsspiele repräsentiert durch die Klasse U nach DIN EN 13001-1 [26]
- die Neigung m der Wöhlerlinie

Anmerkung: Die Formelzeichen von DIN EN 13001-3-1 [28] unterscheiden sich von denen in DIN EN 13001-1 [26]. Aufgrund der größeren Aktualität der ersteren Norm werden im Folgenden die Formelzeichen von DIN EN 13001-3-1 [28] verwendet.

Tabelle 14 Beanspruchungsklassen S nach DIN EN 13001-3-1 [28]

Beanspruchungsklasse	Spannungsverlaufparameter s_m für $m = 3$
S02	$0,001 < s_3 \leq 0,002$
S01	$0,002 < s_3 \leq 0,004$
S0	$0,004 < s_3 \leq 0,008$
S1	$0,008 < s_3 \leq 0,016$
S2	$0,016 < s_3 \leq 0,032$
S3	$0,032 < s_3 \leq 0,063$
S4	$0,063 < s_3 \leq 0,125$
S5	$0,125 < s_3 \leq 0,250$
S6	$0,250 < s_3 \leq 0,500$
S7	$0,500 < s_3 \leq 1,000$
S8	$1,000 < s_3 \leq 2,000$
S9	$2,000 < s_3 \leq 4,000$

In den folgenden Abschnitten wird der Hintergrund zu den Einflussgrößen von s_m ausführlich beschrieben. Desweiteren werden die entsprechenden Werte der Einflussgrößen für die alten Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 [4] ermittelt, um einen Vergleich mit den neuen Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 [28] zu ermöglichen.

E.2 Lastkollektivbeiwert

E.2.1 Vorbemerkung

Der Lastkollektivbeiwert k_m kann aus der Erweiterung der Gesetzmäßigkeiten für das Einstufen-Spannungskollektiv auf mehrstufige Kollektive abgeleitet werden, vgl. z. B. [32], [39].

E.2.2 Einstufenkollektiv

Im Zeitfestigkeitsbereich gilt für eine einstufige Schwingbeanspruchung (Blockbeanspruchung) mit $i = 1$:

$$N_c \cdot \Delta\sigma_c^m = N_i \cdot \Delta\sigma_i^m = \text{const} \quad (14)$$

mit N_c der ertragbaren Schwingspielzahl bei einer einwirkenden Schwingbeanspruchung $\Delta\sigma_c$ eines Bezugspunkts, der im Eurocode mit $N_c = 2 \cdot 10^6$ gewählt wird, Bild 11.

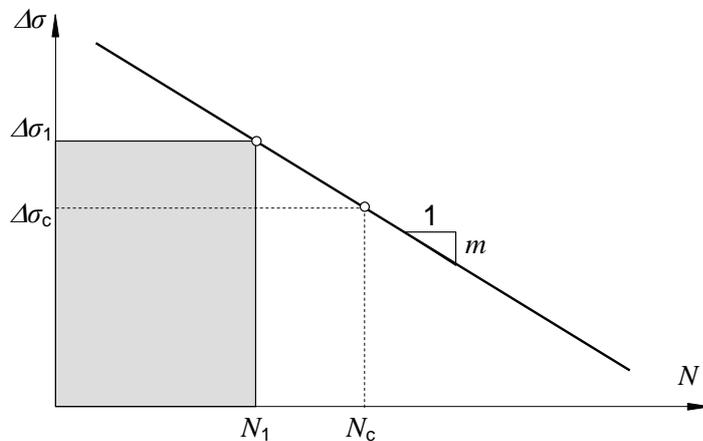


Bild 11 Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich mit Einstufenkollektiv (Vernachlässigung der Dauerfestigkeit)

Der Schädigungsbeitrag ΔD_1 (= Schädigung infolge eines Schwingsspiels) wird als Kehrwert der unter der Schwingbeanspruchung $\Delta\sigma_1$ insgesamt ertragbaren Schwingspielzahl N_1 definiert:

$$\Delta D_1 = \frac{1}{N_1} = \frac{\Delta\sigma_1^m}{N_c \cdot \Delta\sigma_c^m} \quad (15)$$

Die Gesamtschädigung D des Einstufenkollektivs am Ende der Nutzungsdauer ergibt sich aus der Multiplikation des Schädigungsbeitrags ΔD_1 mit der über die gesamte Nutzungsdauer zu erwartenden Schwingspielzahl N_{total} :

$$D = \Delta D_1 \cdot N_{\text{total}} \quad (16)$$

Die Schwingspielzahl N_{ult} , die zu einer Schädigung von 100 % führt, beträgt damit:

$$N_{\text{ult}} = \frac{n_1}{D_1} \quad (17)$$

Beispiel:

Für ein Kerbdetail einer Konstruktion soll gelten: $\Delta\sigma_c = 80 \text{ N/mm}^2$ bei $N_c = 2 \cdot 10^6$. Die Konstruktion wird mit $\Delta\sigma_1 = 100 \text{ N/mm}^2$ beansprucht. Die Schwingbeanspruchung liegt damit im Zeitfestigkeitsbereich ($m = 3$). Während der Nutzungsdauer soll die Konstruktion eine Schwingspielzahl $N_{\text{total}} = 120.000$ ertragen. Damit beträgt die Schädigung pro Schwingspiel:

$$\Delta D_1 = \frac{100^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 80^3} = 9,77 \cdot 10^{-7}$$

Die Gesamtschädigung am Ende der Nutzungsdauer für $n = 120.000$ beträgt:

$$D = 9,77 \cdot 10^{-7} \cdot 120.000 = 0,12$$

Das entspricht einer Schädigung von 12 %. Damit könnte rein rechnerisch das Bauteil über die vorgesehene Nutzungsdauer hinaus beansprucht werden. Ein Schädigung von 100 % wird erreicht bei:

$$N_{\text{ult}} = \frac{120.000}{0,12} = 1.024.000$$

E.2.3 Mehrstufenkollektive

Wird eine mehrstufige Schwingbeanspruchung ($k > 1$) betrachtet, dann sind die obigen Beziehungen entsprechend zu erweitern.

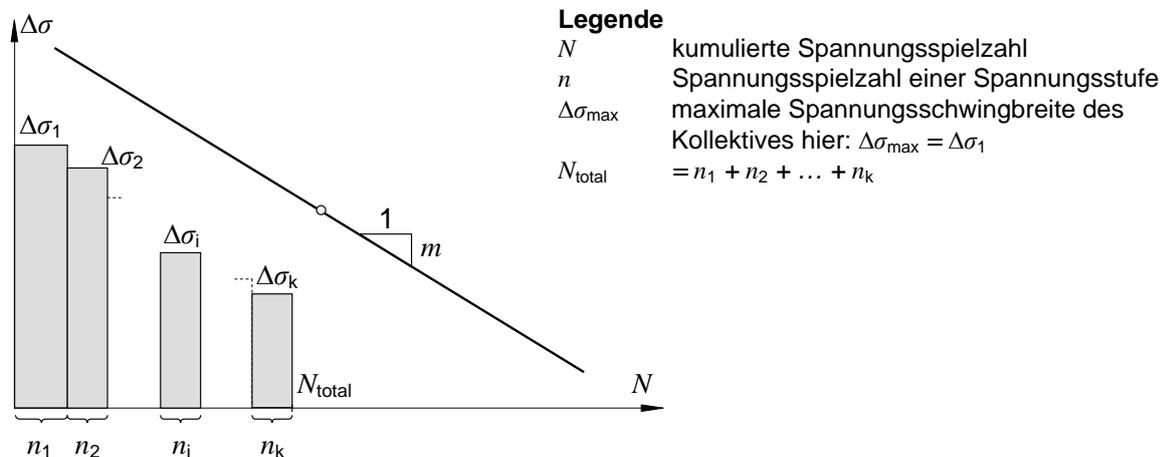


Bild 12 Wöhlerlinie im Zeitfestigkeitsbereich mit Mehrstufenkollektiv (Vernachlässigung der Dauerfestigkeit)

Für jede Spannungsstufe $\Delta\sigma_i$ wird der Schädigungsbeitrag ΔD_i ermittelt, vgl. (15):

$$\Delta D_i = \frac{1}{N_i} = \frac{\Delta\sigma_i^m}{N_c \cdot \Delta\sigma_c^m} \quad (18)$$

Die Gesamtschädigung D für die Spannungsspielzahl N_{total} am Ende der Nutzungsdauer ergibt sich dann als Summe über alle Spannungsstufen $i = 1, 2, \dots, k$ zu:

$$D = \sum_{i=1}^k \Delta D_i \cdot n_i = \sum_{i=1}^k \left(n_i \cdot \frac{\Delta \sigma_i^m}{N_c \cdot \Delta \sigma_c^m} \right) \quad (19)$$

Schließlich kann die rechnerische Lebensdauer N_{ult} (100 % Schädigung) ermittelt werden:

$$N_{\text{ult}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{D} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k \left(n_i \cdot \frac{\Delta \sigma_i^m}{N_c \cdot \Delta \sigma_c^m} \right)} \quad (20)$$

Anstelle des Bezugspunktes der Ermüdungsfestigkeit nach Eurocode mit N_c und $\Delta \sigma_c$ kann auch irgendein beliebiger Punkt auf der Zeitfestigkeitsgeraden in Gl. (20) verwendet werden, da Gl. (14) gilt. Wählt man z. B. den Höchstwert des Spannungskollektives $\Delta \sigma_{\text{max}}$ und definiert alle anderen Spannungsschwingbreiten als dessen Vielfache $\Delta \sigma_i = x_i \cdot \Delta \sigma_{\text{max}}$, so ergibt sich

$$N_{\text{ult}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{D} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k \left(n_i \cdot \frac{(x_i \cdot \Delta \sigma_{\text{max}})^m}{N_{\Delta \sigma_{\text{max}}} \cdot \Delta \sigma_{\text{max}}^m} \right)} = N_{\Delta \sigma_{\text{max}}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k (n_i \cdot x_i^m)} = N_{\Delta \sigma_{\text{max}}} \cdot \frac{1}{k_m} \quad (21)$$

mit

$$\sum_{i=1}^k n_i = N_{\text{total}} \quad = \text{Schwingspielzahl während der gesamten Nutzungsdauer}$$

$$k_m \quad = \text{Beiwert des Lastkollektives}$$

$$x_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \sigma_{\text{max}}} \quad = \text{auf die maximale, im Kollektiv auftretende Spannungsschwingbreite bezogene Spannungsschwingbreite der Spannungsstufe } i$$

In der folgenden Form ist der Lastkollektivbeiwert in DIN EN 13001-3-1 [28] eingeführt:

$$k_m = \sum_i \left[\left(\frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \sigma_{\text{max}}} \right)^m \cdot \frac{n_i}{N_{\text{total}}} \right] \quad (22)$$

Es ist zu erkennen, dass der Lastkollektivbeiwert für das Einstufenkollektiv gleich 1 beträgt. Für mehrstufige Kollektive hängt er neben der Kollektivform auch von der Neigung m der Wöhlerlinie ab. Die Dauerfestigkeit wird aufgrund der Annahmen in [28] nicht berücksichtigt.

E.3 Gesamtzahl der Arbeitsspiele

Die Arbeitsspielbereiche, die der Einteilung der Beanspruchungsklassen in DIN EN 13001-3-1 [28] zugrundegelegt werden, können Tabelle 15 entnommen werden. Verglichen mit DIN 15018-1 ist diese Unterteilung feiner abgestuft, vgl. Tabelle 15 und Tabelle 19.

Tabelle 15 Arbeitsspielbereiche nach DIN EN 13001-1 [26]

Spannungsspielbereiche	C
U0	$C \leq 1,6 \cdot 10^4$
U1	$1,6 \cdot 10^4 < C \leq 3,15 \cdot 10^4$
U2	$3,15 \cdot 10^4 < C \leq 6,30 \cdot 10^4$
U3	$6,30 \cdot 10^4 < C \leq 1,25 \cdot 10^5$
U4	$1,25 \cdot 10^5 < C \leq 2,50 \cdot 10^5$
U5	$2,50 \cdot 10^5 < C \leq 5,00 \cdot 10^5$
U6	$5,00 \cdot 10^5 < C \leq 1,00 \cdot 10^6$
U7	$1,00 \cdot 10^6 < C \leq 2,00 \cdot 10^6$
U8	$2,00 \cdot 10^6 < C \leq 4,00 \cdot 10^6$
U9	$4,00 \cdot 10^6 < C \leq 8,00 \cdot 10^6$

E.4 Parameter der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1

E.4.1 Lastkollektivbeiwerte

Die Lastkollektivbeiwerte k_m mit $m = 3$ für die in DIN 15018-1 [4] zugrundeliegenden Spannungskollektivformen S_1 (sehr leicht) bis S_3 (schwer) werden im Folgenden ermittelt. Die Kollektive können in einer idealisierten bezogenen Form dem Bild 8 in DIN 15018-1 [4] entnommen werden (Bild 13). Entsprechende Wertpaare für die Begrenzungslinien der Spannungskollektive in diesem Bild sind in Tabelle 15, DIN 15018-1 [4] hinterlegt (Tabelle 16). In DIN 15018-1 [4] wird der Umfang des idealisierten Spannungskollektivs mit $N_{\text{total}} = 10^6$ unterstellt. Die Darstellung in DIN 15018-1 [4] ist auf Oberspannungen ausgelegt, die sich jedoch nicht verändert, wenn an Stelle der Oberspannungen die Spannungsschwingbreiten verwendet werden, vgl. Bild 13.

In einem ersten Schritt werden für die Spannungskollektive gemäß den Wertepaaren aus Tabelle 16 stetige Regressionsfunktionen ermittelt:

Kollektiv S3:

$$\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{max}} = 1 \quad (23)$$

Kollektiv S2:

$$\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{max}} = -1,68480 \cdot x^6 + 4,34160 \cdot x^5 - 4,41000 \cdot x^4 + 2,06100 \cdot x^3 - 0,54220 \cdot x^2 - 0,09960 \cdot x + 1,00000 \quad (24)$$

Kollektiv S1:

$$\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{max}} = -2,78640 \cdot x^6 + 6,90120 \cdot x^5 - 6,90300 \cdot x^4 + 3,27150 \cdot x^3 - 0,95810 \cdot x^2 - 0,19220 \cdot x + 1,00000 \quad (25)$$

Kollektiv S0:

$$\Delta\sigma/\Delta\sigma_{\text{max}} = -4,79520 \cdot x^6 + 11,79360 \cdot x^5 - 11,43000 \cdot x^4 + 5,09400 \cdot x^3 - 1,35280 \cdot x^2 - 0,30960 \cdot x + 1,00000 \quad (26)$$

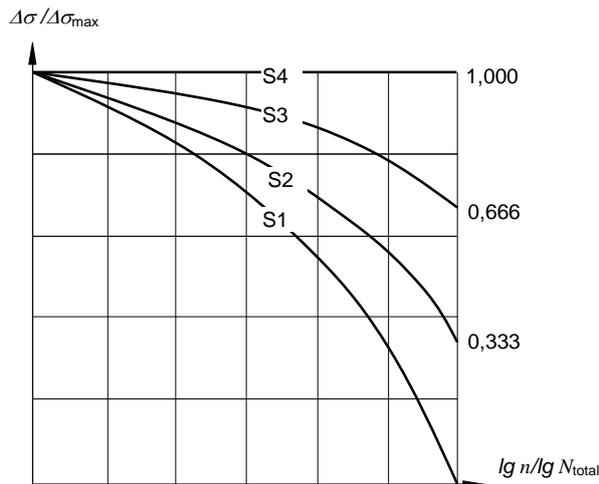


Bild 13 Spannungskollektive nach Bild 8 in DIN 15018-1 [4] (Anmerkung: Formelzeichen wurden angepasst.)

Tabelle 16 Wertepaare für die Spannungskollektive nach Tabelle 15 in DIN 15018-1 [4]

	$x = \lg N / \lg N_{\text{total}}$	0	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6	6/6
Spannungskollektiv	S ₃ (schwer)	1	1	1	1	1	1	1
	S ₂ (mittel)	1	0,975	0,944	0,906	0,856	0,787	0,666
	S ₁ (leicht)	1	0,952	0,89	0,814	0,716	0,579	0,333
	S ₀ (sehr leicht)	1	0,927	0,836	0,723	0,576	0,372	0

Der x -Wert liegt in den Regressionsfunktionen als Logarithmus vor, $x = \lg N / \lg N_{\text{total}}$. Für Gl. (22) wird aber das einfache Verhältnis benötigt. Für die kumulierten Spannungsspiele N gilt für $N_{\text{total}} = 10^6$:

$$\frac{\lg N}{\lg N_{\text{total}}} = x \quad (27)$$

$$N = 10^{6 \cdot x} \quad (28)$$

Damit kann auf die Spannungsspiele n der einzelnen Spannungsstufen zurückgerechnet

$$n_i = N_{i-1} - N_i \quad (29)$$

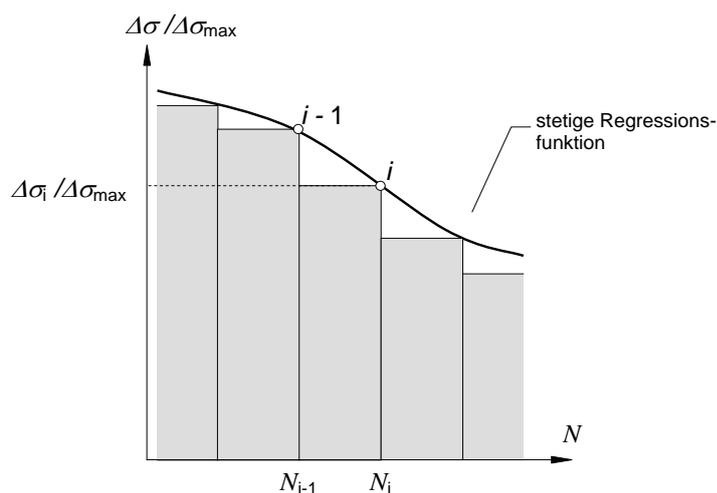
und die entsprechenden Verhältnisse n/N_{total} gebildet werden, vgl. Tabelle 17. Bei einer entsprechend feinen Diskretisierung ($k = 1000$) der stetigen Regressionsfunktionen (Bild 14) liefert Gl. (22) für die Spannungskollektive in DIN 15018-1 [4] die Lastkollektivbeiwerte k_m in Tabelle 18. Im Gegensatz zu DIN EN 13001-3-1 [28] können keine Bandbreiten der Lastkollektivbeiwerte angegeben werden.

Tabelle 17 Berechnung der Schwingzahlverhältnisse (ausgewählte Werte)

$x = \lg N / \lg N_{\text{total}}$	0	1/6	2/6	3/6	4/6	5/6	6/6
N	1	10	100	1000	10000	100000	1000000
n	1	9	90	900	9000	90000	900000
n/N_{total}	0,000001	0,000009	0,00009	0,0009	0,009	0,09	0,9

Tabelle 18 Lastkollektivbeiwerte k_m für die Spannungskollektive nach DIN 15018-1 [4]

Spannungskollektiv	k_m
S ₃ (schwer)	1,000
S ₂ (mittel)	0,381
S ₁ (leicht)	0,102
S ₀ (sehr leicht)	0,018

**Bild 14** Diskretisierung

E.4.2

E.4.3 Vergleich

Die Definition der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 erfolgt auf der Basis von Tabelle 14 in DIN 15018-1 [4], vgl. Tabelle 19.

Tabelle 19 Beanspruchungsgruppen nach Tabelle 14 in DIN 15018-1 [4]

Spannungsspielbereich	N1	N2	N3	N4
Gesamte Anzahl C der vorgesehenen Spannungsspiele	$2 \cdot 10^4 < C \leq 2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5 < C \leq 6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5 < C \leq 2 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6 < C$
Spannungskollektiv	Beanspruchungsgruppe			
S ₀ → $k_m = 0,018$	B1	B2	B3	B4
S ₁ → $k_m = 0,102$	B2	B3	B4	B5
S ₂ → $k_m = 0,382$	B3	B4	B5	B6
S ₃ → $k_m = 1,000$	B4	B5	B6	B6

In Bild 15 werden die alten Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 [4] gemeinsam mit den neuen Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 [28] gemeinsam dargestellt. Da für die Lastkollektivbeiwerte k_m keine Spannweiten in DIN 15018-1 [4] definiert werden, können hier nur einzelne Punkte auf den Gruppengrenzen als Orientierung gelten. Der Verlauf zwischen diesen Punkten oder über diese Punkte hinaus wird abgeschätzt.

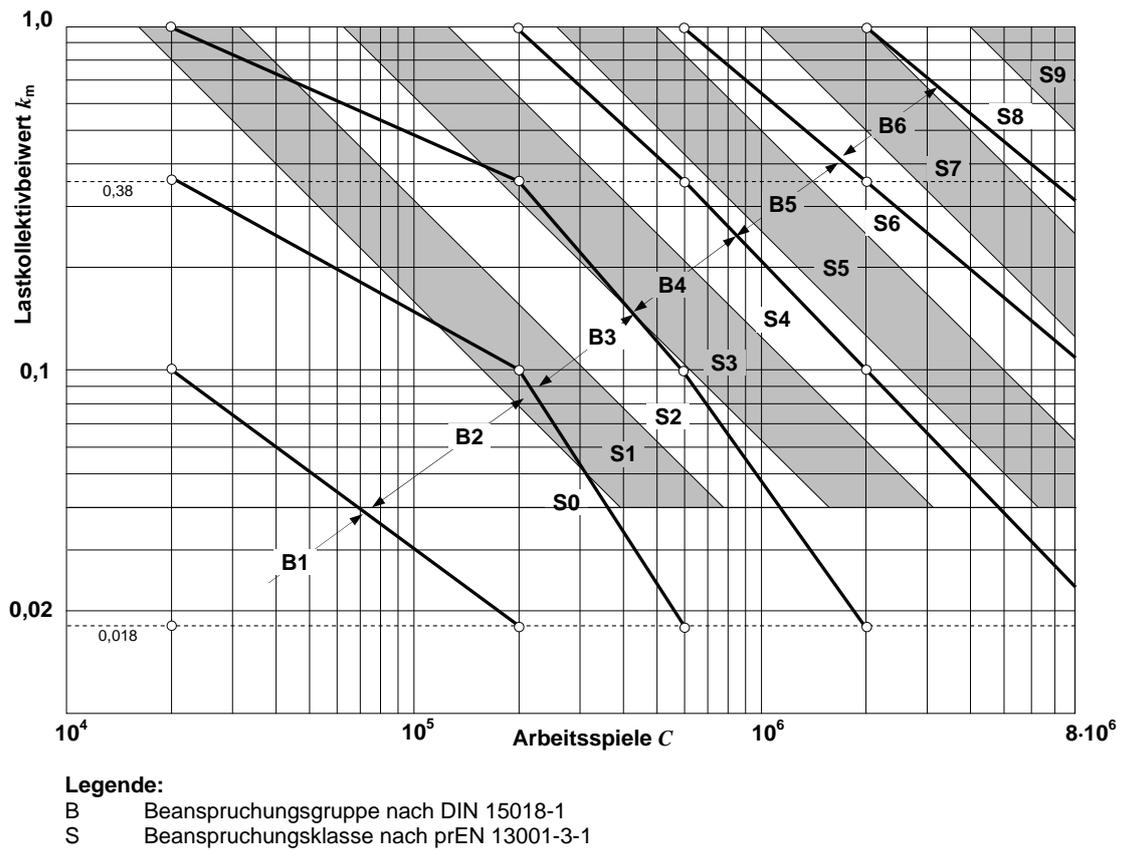


Bild 15 Gemeinsame Darstellung der Beanspruchungsklassen nach DIN EN 13001-3-1 [28] und der Beanspruchungsgruppen nach DIN 15018-1 [4]

F. Literatur

- [1] von Berg, Dietrich 1988. Krane und Kranbahnen – Berechnung, Konstruktion Ausführung. B. G. Teubner Stuttgart.
- [2] Bierett, G. 1966. Berechnung und Gestaltung von Kranbahnen. Stahl und Eisen 86 (1966), S. 22 – 33.
- [3] DIN 1055-10:2004. Einwirkungen auf Tragwerke Teil 10: Einwirkungen infolge Krane und Maschinen.
- [4] DIN 15018-1. Krane – Grundsätze für Stahltragwerke, Berechnung.
- [5] DIN 4132: Kranbahnen Stahltragwerke – Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchbildung und Ausführung, 1981.
- [6] DIN EN 1090-1. Tragende Stahl- und Aluminiumbauteile - Teil 1: Allgemeine Lieferbedingungen.
- [7] DIN EN 1090-2. Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Anforderungen an die Ausführung von Tragwerken aus Stahl.
- [8] DIN EN 1991-3:2010-12. Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen.
- [9] DIN EN 1993-1-1:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [10] DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [11] DIN EN 1993-1-5:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile.
- [12] DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile.
- [13] DIN EN 1993-1-8:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
- [14] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
- [15] DIN EN 1993-1-9:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung.
- [16] DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung.
- [17] DIN EN 1993-1-10:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung.
- [18] DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung.
- [19] DIN EN 1993-1-11:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl.
- [20] DIN EN 1993-1-12:2010-12: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S700.
- [21] DIN EN 1993-2:2010-12. Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -Teil 2: Stahlbrücken.
- [22] DIN EN 1993-2/NA: 2010-12: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –Teil 2: Stahlbrücken.
- [23] DIN EN 1993-6:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 6: Kranbahnen.
- [24] DIN EN 1993-6/NA:2010-12: Nationaler Anhang –National festgelegte Parameter –Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –Teil 6: Kranbahnen.
- [25] DIN-Fachbericht 126: Nationales Anwendungsdokument NAD DIN V ENV 1993-6:2001-02. Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1993-6:2001-02.
- [26] DIN EN 13001-1:2009-12: Krane - Konstruktion allgemein. Teil 1: Allgemeine Prinzipien und Anforderungen.

- [27] DIN EN 13001-2:2010-09: Krane - Konstruktion allgemein. Teil 2: Lasteinwirkungen (Entwurf).
- [28] DIN EN 13001-3-1:2010-07. Krane - Konstruktion allgemein - Teil 3-1: Grenzzustände und Sicherheitsnachweis von Stahltragwerken (Entwurf).
- [29] EN 1990. Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.
- [30] ENV 1993-6:1999. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 6: Crane supporting structures.
- [31] FEM-Richtlinie 9.341 1983. Örtliche Trägerbeanspruchung. Federation Europeenne de la Manutention (FEM), Sektion IX Serienhebezeuge, 1. Ausgabe.
- [32] Haibach, E. 1989. Betriebsfestigkeit – Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung. VDI-Verlag, 1989.
- [33] Kuhlmann, U., Dürr, A., Günther, H.-P. 2003. Kranbahnen und Betriebsfestigkeit. In: Stahlbaukalender 2003, S. 375-496.
- [34] Kuhlmann, U., Euler, M.: Kranbahnträger – Wirtschaftliche Bemessung und Konstruktion robuster Radlasteinleitungen. Schlussbericht zu IGF-Forschungsvorhaben Nr. 14173 N/1, erhältlich über DAST, Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf.
- [35] Kühn, B., Sedlacek, G. 2006: DAST-Richtlinie 009 Stahlsortenwahl für geschweißte Stahlbauten – Kommentar. In: Stahlbaukalender 2006, S. 345-380.
- [36] Lindner, J., Glitsch, T. 2004: Vereinfachter Nachweis für I- und U-Träger – beansprucht durch doppelte Biegung und Torsion. Stahlbau 73 (2004), S. 704-715.
- [37] Meister, J. 2006: Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Kranbahnen und Kranbahnunterstützungen – Begrenzung von Schwingungen. In: Stahlbau 75 (2006), Heft 1, S. 21 – 29.
- [38] Naumes, J., Strohmam, I., Ungermann, D. Sedlacek, G. 2008. Die neuen Stabilitätsnachweise im Stahlbau nach Eurocode 3. In: Stahlbau 77 (2008), Heft 10, S. 748-761.
- [39] Oxfort, J. 1969. Beitrag zur Betriebsfestigkeitsuntersuchung von Stahlkonstruktionen. Der Stahlbau 8/1969, S. 240 bis 247.
- [40] Petersen, C. 1987. Stahlbau – Grundlage der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten. Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden.
- [41] Schweer, W. 1964. Beanspruchungskollektive als Bemessungsgrundlage für Hüttenwerkslaufkrane. Stahl und Eisen 84 (1964) Nr. 3, S. 138 bis 153.
- [42] Seeßelberg, C. 2009. Kranbahnen, 3. Auflage Berlin: Bauwerk, 2009.
- [43] Thiele, A., Lohse, W. 1997. Stahlbau, Teil 2. Stuttgart: B. G. Teubner 1997.
- [44] VDI 3576. Schienen für Krananlagen, Schienenverbindungen, Schienenlagerungen, Schienenbefestigungen, Toleranzen für Kranbahnen. Verein Deutscher Ingenieure.
- [45] VDI 2388. Krane in Gebäuden – Planungsgrundlagen (Entwurf). Verein Deutscher Ingenieure.