

Tipp 19/08

Biegeknicknachweis nach DIN EN 1993-1-1:2010-12 [1] und DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 [2] in Verbindung mit DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 [3]

Bei planmäßig zentrisch belasteten Druckstäben muss in der Regel der Bauteilnachweis gegenüber Biegeknicken nach [1], Abschnitt 6.3.1.1 geführt werden. Dazu ist die folgende Gleichung zu verwenden.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

N_{Ed} Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft

$N_{b,Rd}$ Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit des druckbeanspruchten Bauteils

Es sei darauf hingewiesen, dass dieser Nachweis auch bei Stäben mit veränderlichen Querschnitten und bzw. oder veränderlichen Druckkräften angewandt werden darf. In diesen Fällen ist der Nachweis jeweils an den maßgebenden Querschnitten des Bauteils mit den dort vorliegenden Querschnittswerten und Normalkräften zu führen.

Der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft N_{Ed} auf das relevante Bauteil ergibt sich aus der Schnittgrößenermittlung. Dabei ist zu beachten, dass bei unsymmetrischen Querschnitten der Querschnittsklasse 4 ein Zusatzmoment ΔM_{Ed} zu berücksichtigen ist. Dieses Zusatzmoment ΔM_{Ed} resultiert aus den verschobenen Hauptachsen des wirksamen Querschnitts. Es wird nach [1], Abschnitt 6.2.2.5(4) mit der folgenden Gleichung ermittelt.

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_N$$

In diese Gleichung geht die Hauptachsenverschiebung e_N als Hebelarm für die einwirkende Druckkraft N_{Ed} ein.

Somit muss für unsymmetrische Querschnitte der Querschnittsklasse 4 ein Interaktionsnachweis für Druck- und Biegebeanspruchung geführt werden.

Der Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit $N_{b,Rd}$ des druckbeanspruchten Bauteils ist, entsprechend [1], Abschnitt 6.3.1.1(3) nach den folgenden Gleichungen zu bestimmen.

$$\begin{aligned} - \text{für Querschnitte der Querschnittsklassen 1 bis 3} \quad N_{b,Rd} &= \frac{\chi^* A^* f_y}{\gamma_{M1}} \\ - \text{für Querschnitte der Querschnittsklasse 4} \quad N_{b,Rd} &= \frac{\chi^* A_{eff}^* f_y}{\gamma_{M1}} \end{aligned}$$

In diesen Gleichungen werden die folgenden Werte berücksichtigt.

χ Abminderungsfaktor für die maßgebende Biegeknickrichtung

A Querschnittsfläche des Bauteils

f_y Streckgrenze

γ_{M1} Teilsicherheitsbeiwert bei Stabilitätsversagen
 A_{eff} effektive Querschnittsfläche

Nachfolgend wird nur auf den Biegeknicknachweis für Querschnitte der Querschnittsklasse 1 bis 3 detaillierter eingegangen. Für Querschnitte mit einer Querschnittsklasse 4 können die vorgestellten Überlegungen sinngemäß angewandt werden.

Die Querschnittsfläche A des Bauteils kann entweder Tabellenbüchern entnommen oder nach den Vorgaben der allgemeinen Festigkeitslehre ermittelt werden.

Die Streckgrenze f_y des Materials des Bauteils ergibt sich aus dem gewählten Material.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} ist nach [1] in Verbindung mit [3] im Regelfall mit $\gamma_{M1} = 1,1$ anzusetzen.

Die Ermittlung des Abminderungsfaktors χ ist ein wenig komplexer. Der Abminderungsfaktor ist entsprechend [1], Abschnitt 6.3.1.2(1) mit Hilfe der folgenden Gleichung zu bestimmen.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

Φ Funktion zur Bestimmung des Abminderungsfaktors χ
 $\bar{\lambda}$ Schlankheitsgrad des Bauteils

Die Funktion Φ ist in [1], Abschnitt 6.3.1.2(1) wie folgt festgelegt.

$$\Phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

In dieser Gleichung ist der Imperfektionsbeiwert α für die maßgebende Knicklinie zu berücksichtigen. Die maßgebende Knicklinie (a₀ bis d) ergibt sich an Hand der Querschnittsform des Bauteils aus der Tabelle 6.2 in [1]. Nach der Festlegung der maßgebenden Knicklinie kann der Imperfektionsbeiwert α aus [1], Tabelle 6.1 abgelesen werden. Diese Tabelle ist nachfolgend wiedergegeben.

Knicklinie	a ₀	a	b	c	d
Imperfektinsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ ist für Querschnitte der Querschnittsklassen 1 bis 3 entsprechend der Vorgaben aus [1], Abschnitt 6.3.1.3 nach der folgenden Gleichung zu bestimmen.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i * \lambda_1}$$

In dieser Gleichung werden, zusätzlich zu den bisher eingeführten, die folgenden Werte berücksichtigt.

N_{cr} ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall gerechnet mit den Abmessungen des Bruttoquerschnitts
 L_{cr} Knicklänge in der betrachteten Knickebene
 i Trägheitsradius des Bruttoquerschnitts für die maßgebende Knickebene
 λ_1 Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrades

Die ideale Verzweigungslast N_{cr} wird mit der folgenden Gleichung bestimmt.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2}$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

- E Elastizitätsmodul des Baustahls
I Trägheitsmoment des Querschnitts

Der Elastizitätsmodul E für Baustahl ist nach [1], Abschnitt 3.2.6 mit $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ anzunehmen. Dieser Wert wurde als konstanter Wert festgelegt und muss nicht durch einen Teilsicherheitsbeiwert abgemindert werden.

Das Trägheitsmoment I des Bauteils kann entweder Tabellenbüchern entnommen oder nach den Vorgaben der allgemeinen Festigkeitslehre ermittelt werden.

Die Knicklänge L_{cr} ergibt sich aus einem Knicklängenbeiwert β und der Systemlänge L des Bauteils und wird nach der Gleichung $L_{cr} = \beta \cdot L$ ermittelt.

Der Trägheitsradius i des Bauteils kann entweder Tabellenbüchern entnommen oder nach den Vorgaben der allgemeinen Festigkeitslehre ermittelt werden.

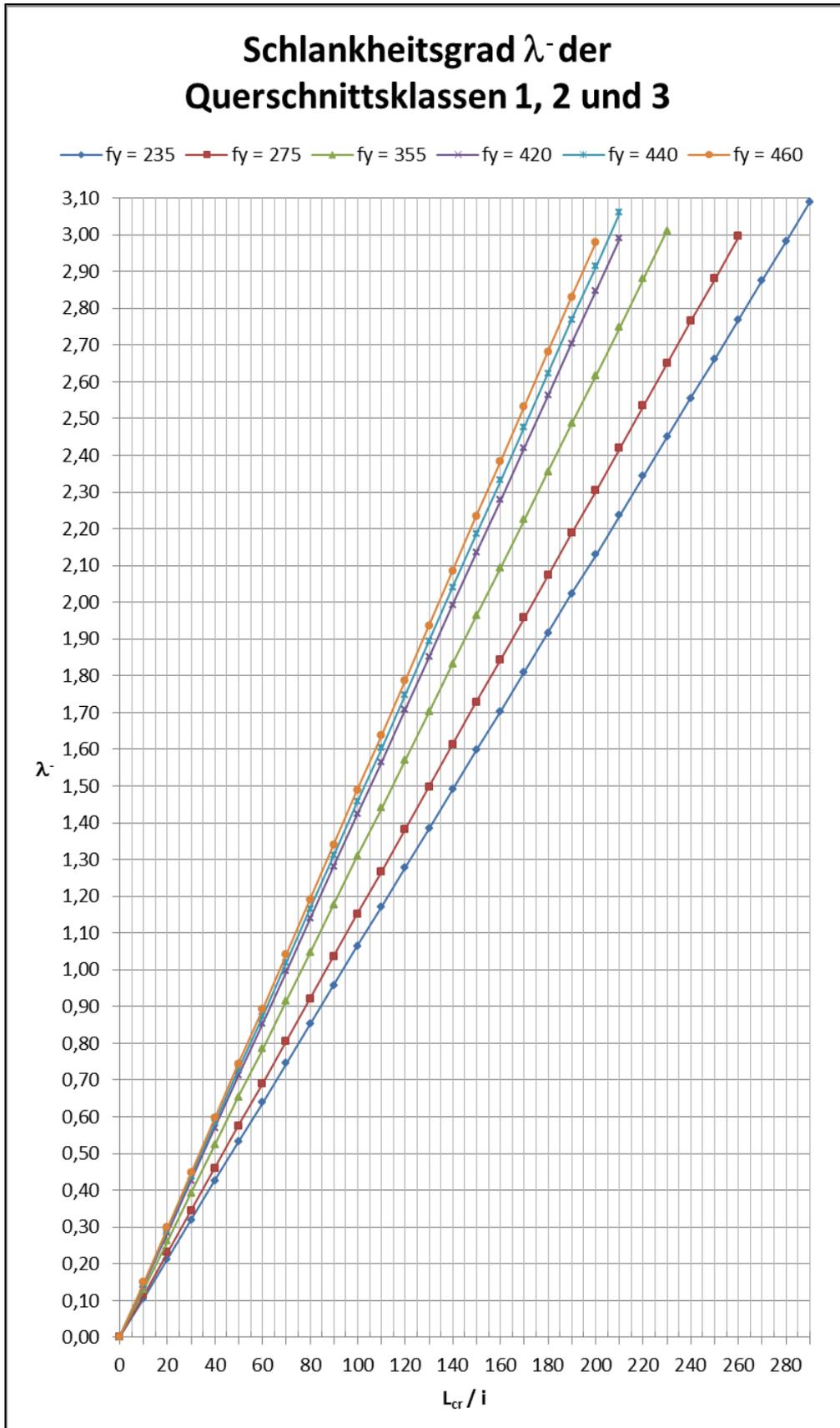
Die Schlankheit λ_1 wird mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt.

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

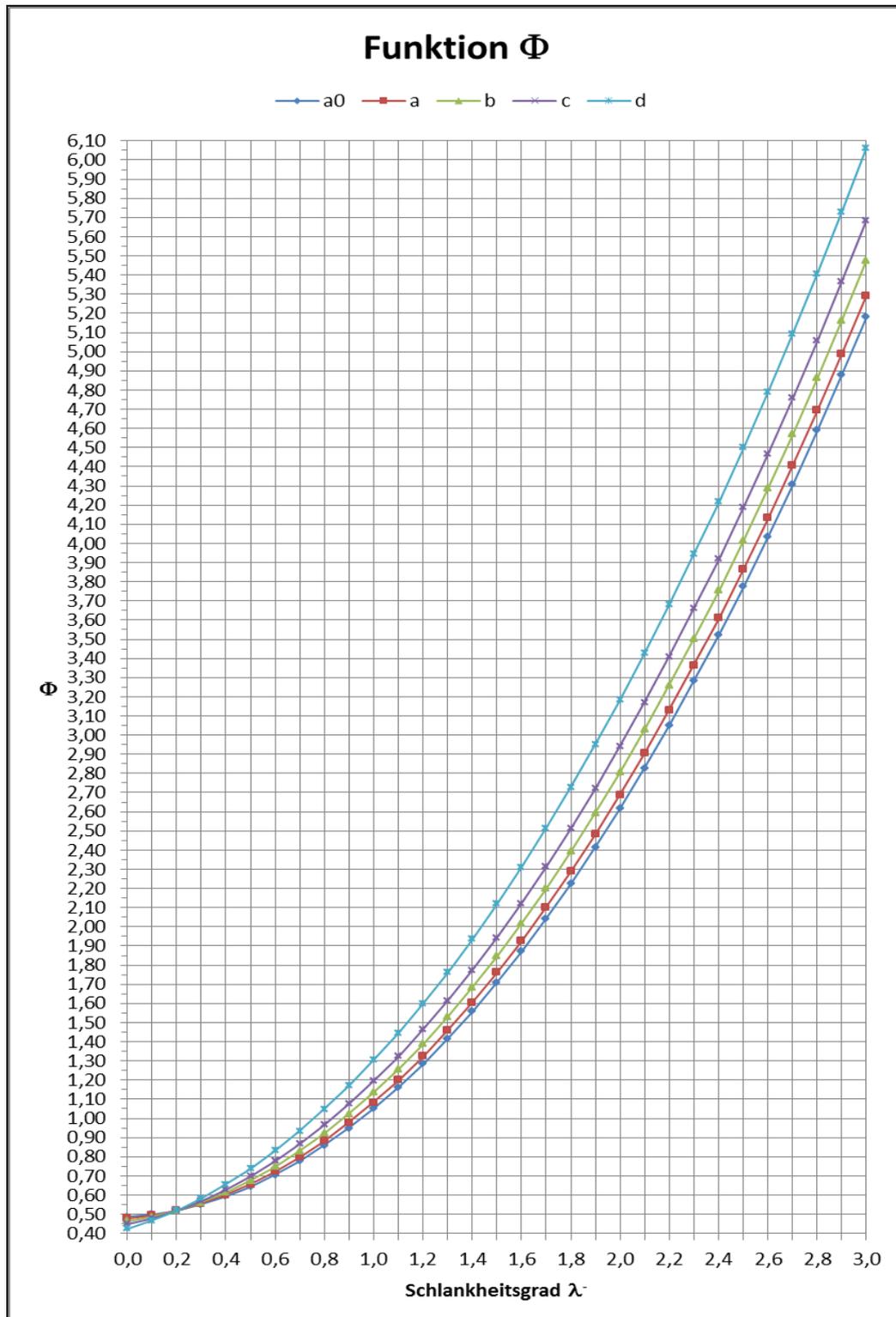
Somit ergeben sich für die verschiedenen Streckgrenzen f_y des Baustahls verschiedene Werte für ε und λ_1 , welche in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind.

Streckgrenze f_y [N/mm ²]	235	275	355	420	460
ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
λ_1	92,90	86,80	76,40	70,24	67,12

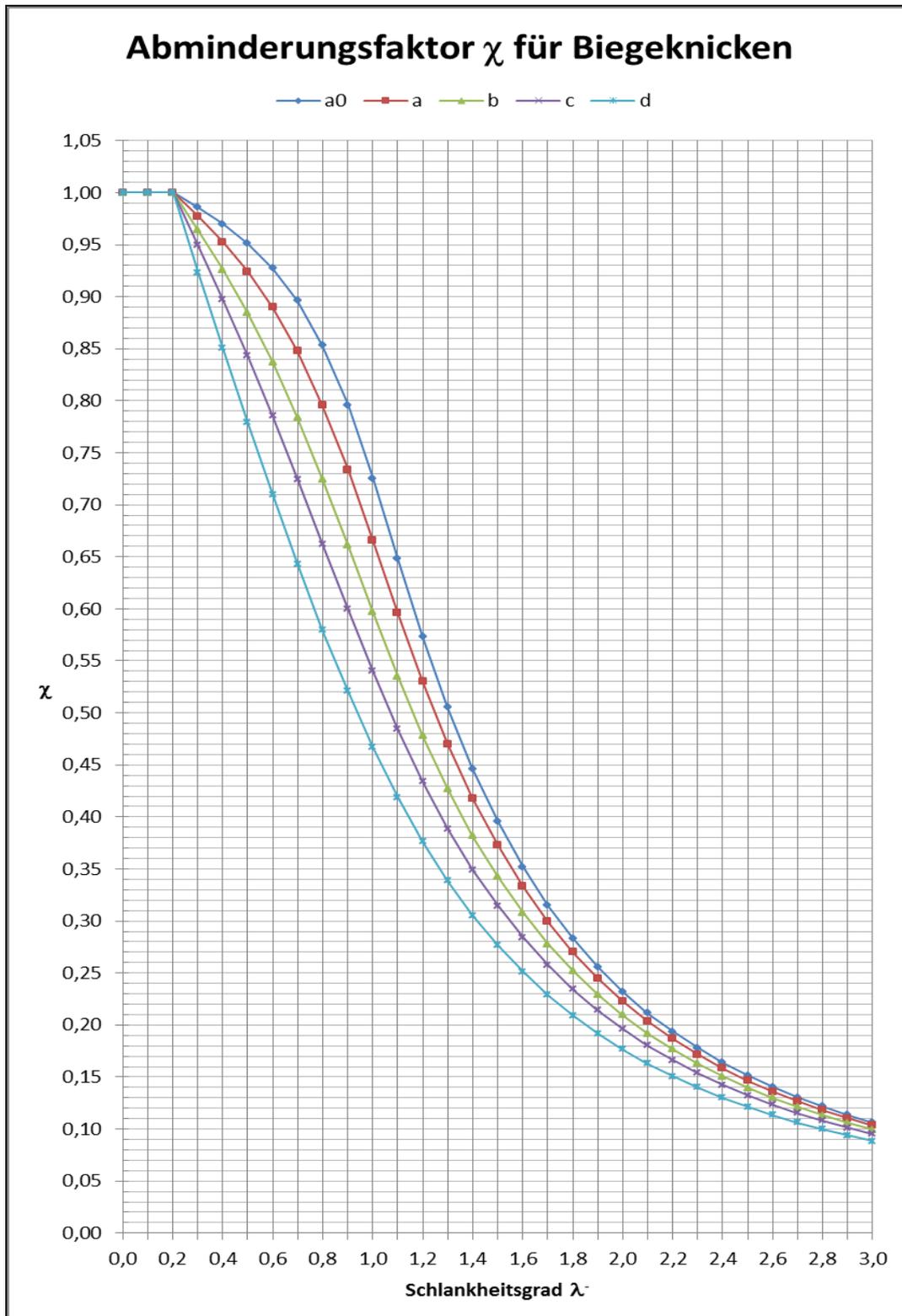
Unter Beachtung dieser Vorgaben, kann eine Ermittlung des Schlankgrades $\bar{\lambda}$ für die verschiedenen Streckgrenzen f_y vorgenommen werden. Grundlage bildet das Verhältnis der Knicklänge des Bauteils L_{cr} zum Trägheitsradius i. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in dem folgenden Diagramm dargestellt. Es ist zu beachten, dass entsprechend [1], Abschnitt 6.3.1.2(4) bei einem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda} \leq 0,2$ der Biegeknicknachweis entfallen darf und nur ein Querschnittsnachweis zu führen ist.



Nach der Ermittlung des Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}$ kann die Funktion Φ bestimmt werden. In dem folgenden Diagramm ist der Verlauf der Funktion Φ für die verschiedenen Knicklinien in Abhängigkeit von dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ dargestellt.



Mit Hilfe dieser Funktion Φ und dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ kann der Abminderungsfaktor χ ermittelt werden. Somit ergibt sich der folgende graphische Verlauf von χ für die verschiedenen Knicklinien in Abhängigkeit von dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ des Bauteils.



An Hand dieser Überlegungen und Diagramme kann sehr schnell der Abminderungsfaktor χ für die relevante Knicklinie in Abhängigkeit von dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ des Bauteils ermittelt und somit der Biegeknicknachweis geführt werden.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal darauf hingewiesen, dass nach [1], Abschnitt 6.3.1.2(4) für Schlankheitsgrade $\bar{\lambda} \leq 0,2$ bzw. $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,4$ der Biegeknicknachweis entfallen darf. In diesen Fällen

sind nur die Querschnittsnachweise zu führen. Dies wird auch aus den Verläufen der Funktion Φ und des Abminderungsbeiwertes χ ersichtlich. Die jeweiligen Kurvenverläufe haben bei $\bar{\lambda} = 0,2$ jeweils einen Schnittpunkt.

Literatur:

- | | | |
|-----|----------------------------|--|
| [1] | DIN EN 1993-1-1:2010-12 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau |
| [2] | DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau – 1. Änderung |
| [3] | DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau |

Impressum

Landesamt für Bauen und Verkehr
Bautechnisches Prüfamnt
T. Schellenberg
Gulbener Straße 24
03046 Cottbus
Telefon 03342 4266-3501
Telefax 03342 4266-7608
PoststelleCB@LBV.Brandenburg.de
<https://lbv.brandenburg.de>