

Tipp 18/04

Querschnittsklassen 1 und 2 von durch Druck und Biegung beanspruchten gewalzten I-Profile 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]

Entsprechend [1], Abschnitt 5.5.2 können z.B. druck- und biegebeanspruchte Querschnittsteile den nachfolgend aufgeführten vier verschiedenen Querschnittsklassen zugeordnet werden. Mit dieser Klassifizierung der Querschnitte soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen der Querschnittsteile dieser Querschnitte festgelegt werden. Die vier Querschnittsklassen sind wie folgt charakterisiert.

- Klasse 1 Querschnitte können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastische Berechnung ausbilden, d.h. es darf eine plastische Bemessung (Berechnung nach der Plastizitätstheorie) mit Umlagerung der Schnittgrößen durchgeführt werden
- Klasse 2 Querschnitte können eine plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber nur eine begrenzte Rotationskapazität auf Grund örtlichen Beulens, d.h. plastische Querschnittsreserven dürfen ausgenutzt werden
- Klasse 3 Querschnitte erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber auf Grund örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht erreichen, d.h. im Druckbereich des Querschnitts darf nur elastisch bis zu der um den Teilsicherheitsbeiwert reduzierten Streckgrenze bemessen werden, wobei jedoch im Zugbereich des Querschnitts die vorhandene Dehnung die Fließdehnung überschreiten darf
- Klasse 4 Querschnitte bei denen örtliches Beulen vor dem Erreichen der Streckgrenze in mindestens einem Querschnittsteil eintritt, d.h. die Bemessung erfolgt im Wesentlichen nach den Vorgaben aus DIN EN 1993-1-5

Maßgebend für die Querschnittsklassifizierung sind die druckbeanspruchten Teile des Querschnitts. Dies gilt auch für druck- und biegebeanspruchte Bauteile, bei denen ein Teil des Gesamtquerschnitts infolge der Momentenbeanspruchung auch als druckbeanspruchter Querschnitt wirkt.

Die Klassifizierung der druckbeanspruchten Teile eines druck- und biegebeanspruchten Querschnitts erfolgt durch das Verhältnis der Breite bzw. Höhe c und der Dicke t dieses Querschnittsteils (c/t -Verhältnis). Theoretisch könnten sich für den Steg und die Flansche eines Querschnitts verschiedene Querschnittsklassen ergeben. Da Walzprofile jedoch i.d.R. so eingebaut werden, dass die maximale Druck- und Biegetragfähigkeit bei geringem Materialeinsatz erreicht wird, ist davon auszugehen, dass die Querschnittsrichtung mit der höchsten Druck- und Biegetragfähigkeit beansprucht wird.

Entsprechend [1], Tabelle 5.2 sind die folgenden Grenzwerte für die Festlegung der Querschnittsklasse bei druck- und einachsig biegebeanspruchten Querschnittsteilen zu beachten. Hier wurde berücksichtigt, dass sich in den maßgebenden Flanschen infolge der Druck- und Biegebeanspruchung auf dem Gesamtquerschnitt eine konstante Druckspannung einstellen kann.

Querschnittsklasse	Steg		Flansch
1	für $\alpha > 0,5$	$c/t \leq \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1}$	$c/t \leq 9 * \varepsilon$
	für $\alpha \leq 0,5$	$c/t \leq \frac{36 * \varepsilon}{\alpha}$	
2	für $\alpha > 0,5$	$c/t \leq \frac{456 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1}$	$c/t \leq 10 * \varepsilon$
	für $\alpha \leq 0,5$	$c/t \leq \frac{41,5 * \varepsilon}{\alpha}$	
3	für $\psi > -1$	$c/t \leq \frac{42 * \varepsilon}{0,67 + 0,33 * \psi}$	$c/t \leq 14 * \varepsilon$
	für $\psi \leq -1$	$c/t \leq 62 * \varepsilon * (1 - \psi) * \sqrt{-\psi}$	
4	für $\psi > -1$	$c/t > \frac{42 * \varepsilon}{0,67 + 0,33 * \psi}$	$c/t > 14 * \varepsilon$
	für $\psi \leq -1$	$c/t > 62 * \varepsilon * (1 - \psi) * \sqrt{-\psi}$	

In diesen Gleichungen werden die folgenden Werte berücksichtigt.

- c Breite bzw. Höhe des druckbeanspruchten Querschnittsteils
- t Steg- bzw. Flanschdicke
- ε Faktor in Abhängigkeit von der Streckgrenze f_y des Materials (bezogene Streckgrenze)
- α Spannungsausnutzung im Stegquerschnitt
- ψ Spannungsverhältnis im Gesamtquerschnitt

Nachfolgend soll die Klassifizierung in die Querschnittsklassen 1 und 2 genauer betrachtet werden.

Die Breite bzw. Höhe c des Querschnittsteils kann bei den Walzprofilen den entsprechenden Profiltafeln entnommen werden.

Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass dieser Wert bei den einseitig gestützten Flanschen der Walzprofile nach der folgenden Gleichung ermittelt wird.

$$c_f = (b - t_w) / 2 - r$$

In dieser Gleichung wurden die folgenden geometrischen Größen berücksichtigt.

- c_f Breite des druckbeanspruchten, einseitig gestützten Flanschabschnitts
- b Breite des gesamten Flanschs (aus Profiltafeln zu entnehmen)
- t_w Dicke des Profilstegs (aus Profiltafeln zu entnehmen)
- r Ausrundungsradius an Übergang vom Profilsteg zum –flansch (aus Profiltafeln zu entnehmen)

Die Höhe des Stegs der Walzprofile wird nach der folgenden Gleichung ermittelt.

$$c_{st} = h - 2 * (t_w + r)$$

In dieser Gleichung wurden die folgenden geometrischen Größen berücksichtigt.

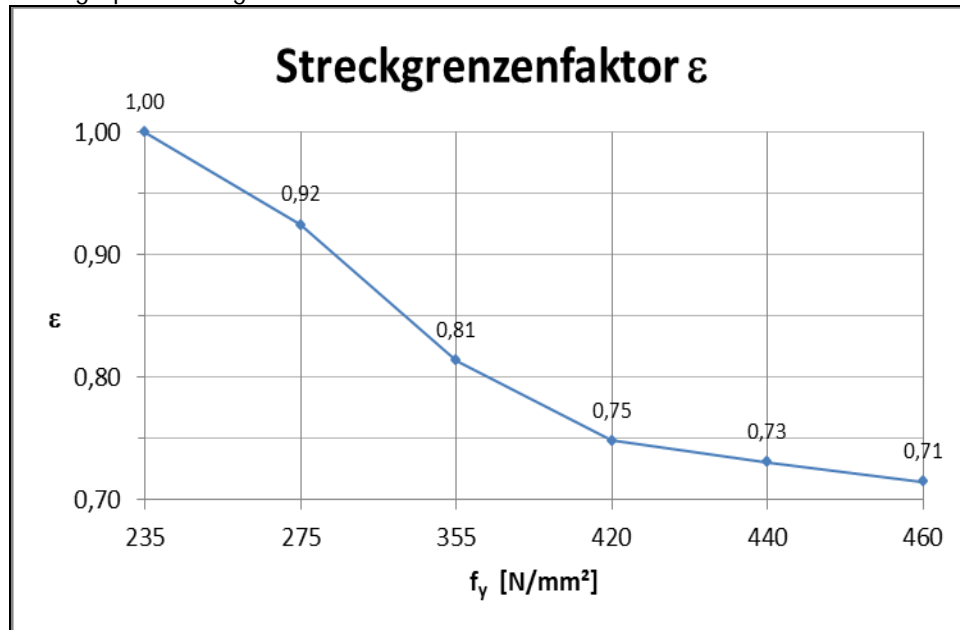
- c_{st} Höhe des beidseitig gestützten Stegs
- h Profilhöhe (aus Profiltafeln zu entnehmen)

Die Stegdicke t kann bei den Walzprofilen den entsprechenden Profiltafeln entnommen werden.

Der Faktor ε in Abhängigkeit von der Streckgrenze f_y des Materials ist entsprechend der folgenden Gleichung zu berechnen.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Die Auswertung dieser Gleichung wurde nachfolgend für die Streckgrenzen $f_y = 235, 275, 355, 420, 440$ und 460 N/mm^2 graphisch vorgenommen.



Die Lage der plastischen Nulllinie innerhalb der Steghöhe c eines doppel-symmetrischen I-Profiles bei einer Beanspruchung infolge Biegung und Drucklängskraft kann mit Hilfe der folgenden Überlegungen bestimmt werden.

$$h_N = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_y / \gamma_{M0}}$$

$$\alpha * c = \frac{c}{2} + \frac{h_N}{2} \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{2} + \frac{h_N}{2 * c} = 0,5 * \left(1 + \frac{h_N}{c} \right) = 0,5 * \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c * t_w * f_y / \gamma_{M0}} \right)$$

Die Spannungsausnutzung α im Stegquerschnitt kann somit nach der folgenden Gleichung ermittelt werden.

$$\alpha = 0,5 * \left(1 + \frac{N_{Ed}}{N_{pl,w,Rd}} \right) = 0,5 * \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c * t_w * f_y / \gamma_{M0}} \right)$$

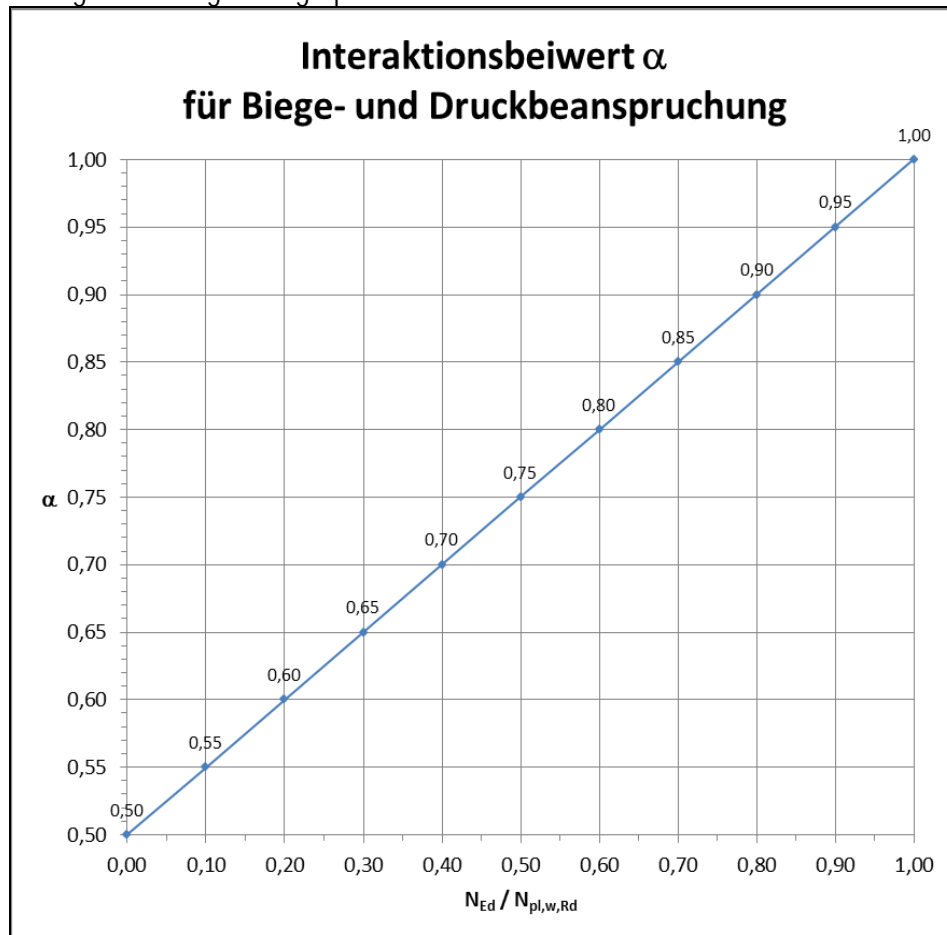
In dieser Gleichung werden die folgenden Größen berücksichtigt.

N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft
c	Höhe des Profilsteges
t_w	Dicke des Profilsteges
f_y	Materialstreckgrenze
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert

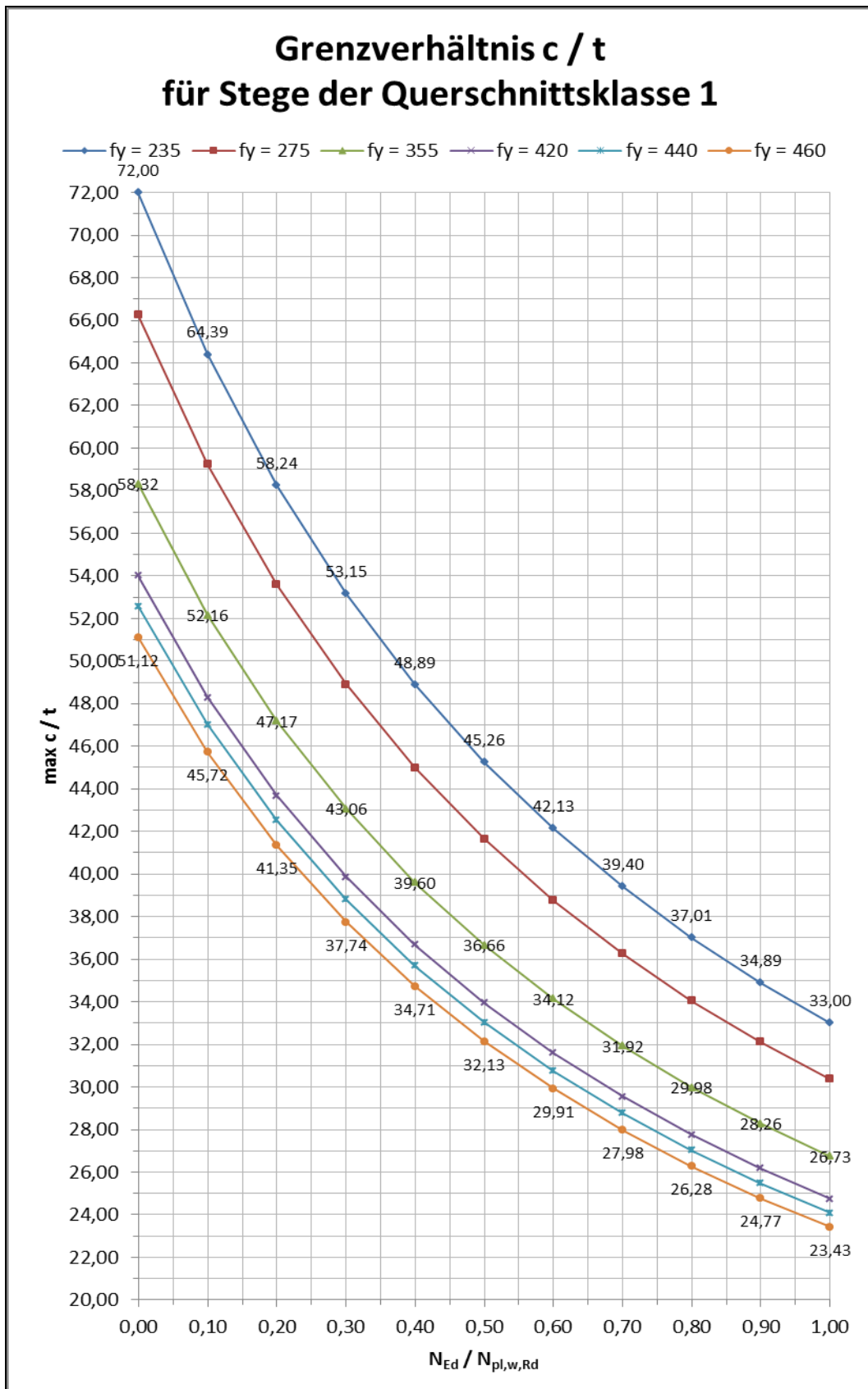
Der Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft N_{Ed} ergibt sich aus der objektbezogenen Schnittgrößenermittlung. Höhe c und Dicke t_w des Profilsteges können einschlägigen Profiltafeln ent-

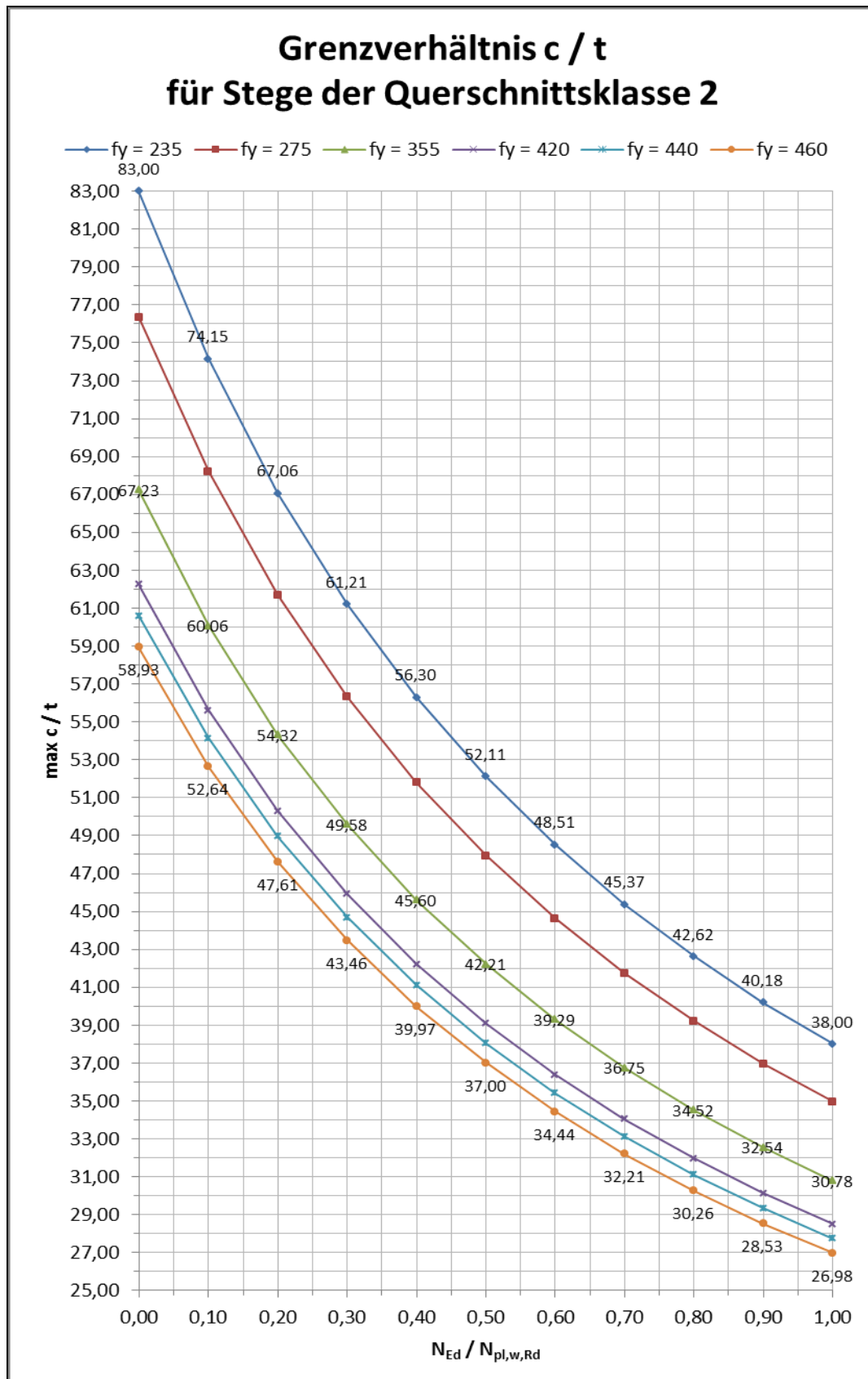
nommen werden. Die Materialstreckgrenze f_y wird vom Tragwerksplaner festgelegt und kann den entsprechenden Projektunterlagen entnommen werden. Als Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} ist nach [3] ein Wert von $\gamma_{M0} = 1,0$ anzusetzen.

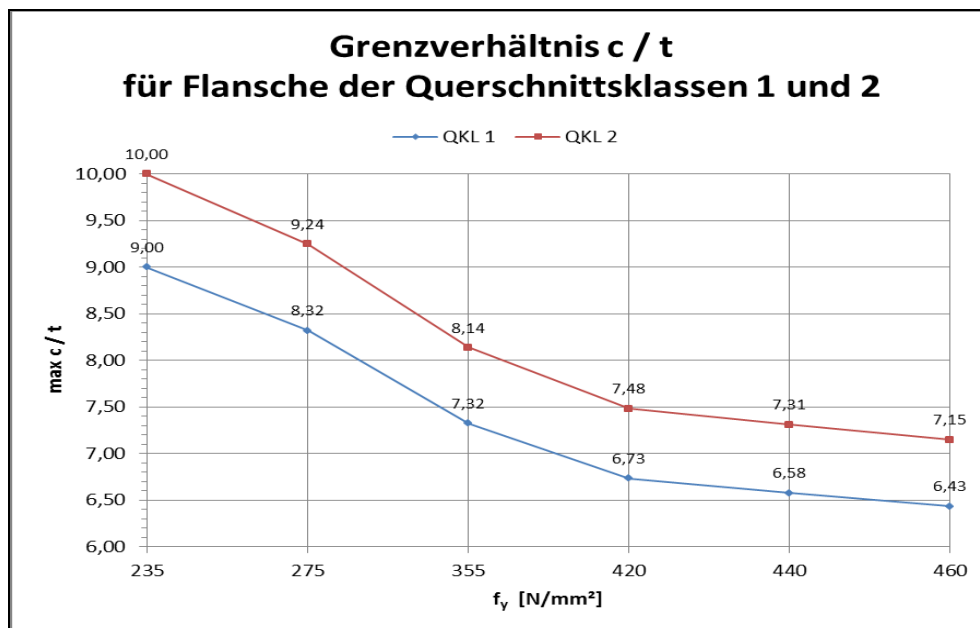
Unter Beachtung dieser Vorgaben kann der Grad der Spannungsausnutzung im Steg α , welcher in den weiteren Berechnungen als Interaktionsbeiwert verwendet wird, ermittelt werden. Diese Berechnung wurde in dem folgenden Diagramm graphisch aufbereitet.



Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben kann der Maximalwert des c/t -Verhältnisses für die Querschnittsklassen 1 und 2 in Abhängigkeit von der Streckgrenze $f_y = 235, 275, 355, 420, 440$ und 460 N/mm^2 ermittelt werden. Eine entsprechende graphische Auswertung wurde in den folgenden Diagrammen vorgenommen.







An Hand dieser Diagramme kann sehr einfach festgestellt werden, ob ein die Querschnittsteile eines druck- und biegebeanspruchtes, gewalztes I-Profil der Querschnittsklasse 1 oder 2 zugeordnet werden können. Die jeweilige Querschnittsklasse für den Gesamtquerschnitt des Walzprofils ergibt sich aus der jeweils ungünstigsten, d.h. größeren Querschnittsklasse für den Steg oder Flansch dieses Profils.

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
www.lbv.brandenburg.de