

Dr.-Ing. Joachim Kretz

# Querschnitts- und Stabtragfähigkeiten nach EC 3

## Klassifizierung von Querschnitten nach DIN EN 1993-1-1

Die Grundlage einer Bemessung von Tragwerken ist neben der Ermittlung der Beanspruchungen die Bestimmung der Querschnittskennwerte sowie der Nachweis einer ausreichenden Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Aus wirtschaftlichen Gründen werden verstärkt die plastischen Reserven der Querschnitte ausgenutzt. In der neuen Normengeneration der Eurocodes nimmt deshalb die Plastizitätstheorie neben der Elastizitätstheorie eine immer bedeutendere Stellung ein. Zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Querschnitten sieht der Eurocode 3 (DIN EN 1993) ein Klassifizierungssystem vor in dem vier Querschnittsklassen unterschieden werden. Die Zuordnung zu einer der Querschnittsklassen erfolgt aufgrund der vorhandenen Querschnittseigenschaften und Beanspruchungen.



Dieser Artikel gibt zunächst einen Überblick über die Grundlagen zur elasto-plastischen Berechnung von Stabtragwerken, wobei die wesentlichen Kenngrößen wie plastische Querschnittstragfähigkeit, Rotationskapazität, Rotationswinkel und örtliche Instabilität infolge von Beulen kurz erläutert werden. Aufbauend auf diesen Grundlagen wird anschließend das in DIN EN 1993-1-1 enthaltene Klassifizierungssystem vorgestellt. Die Einstufung der Querschnitte

in Querschnittsklassen bedingt eine zur Querschnittsklasse konforme Nachweisführung. Für die Tragfähigkeits- und die Stabilitätsnachweise werden die zu berücksichtigenden Kenngrößen der unterschiedlichen Querschnittsklassen angegeben. Abschließend erfolgt ein Ausblick auf ein neues Bemessungskonzept, das zu einer wirtschaftlicheren Auslegung der semi-kompakten Querschnitte (Querschnittsklasse 3) führt.

## Einleitung

Nach DIN EN 1993-1-1 [5] Abschnitt 5.4 können folgende Methoden zur Schnittgrößenermittlung von Tragwerken angewendet werden:

- Elastische Tragwerksberechnung
- Plastische Tragwerksberechnung

Bei einer elastischen Tragwerksberechnung (Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch) wird davon ausgegangen, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehung des Materials in jedem Spannungszustand linear verläuft. Sie darf in allen Fällen zur Tragwerksberechnung angewendet werden. Nach Abschnitt 5.4.2 (2) des EC 3 dürfen darüber hinaus die Schnittgrößen mit elastischen Berechnungsverfahren ermittelt werden, auch wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeiten plastisch ermittelt sind (Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch).

Eine plastische Tragwerksberechnung (Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch) darf hingegen nur dann durchgeführt werden, wenn das Tragwerk über eine ausreichende Rotationskapazität an den Stellen verfügt, an denen sich Fließzonen bzw. plastische Gelenke bilden. An den Stellen plastischer Gelenke in Bauteilen sollte der Baustahlquerschnitt doppelt-symmetrisch oder einfach-symmetrisch mit einer Symmetrieebene in der Rotationsebene des plastischen Gelenkes sein. Zusätzlich müssen die in Abschnitt 5.6 des Eurocode 3 festgelegten Anforderungen „Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung“ erfüllt werden.

Die Bestimmung der Querschnitts- und Stabtragfähigkeiten wird in DIN EN 1993-1-1 auf einem Querschnitts-Klassifizierungssystem aufgebaut, das vier Querschnittsklassen unterscheidet. Die qualitativen Momenten-Verdrehungscharakteristiken bzw. die Momenten-Rotationskurven der einzelnen Querschnittsklassen sind Bild 1 zu entnehmen. Das Klassifizierungssystem für Querschnitte nach Eurocode 3 wird im Kapitel 2 beschrieben.

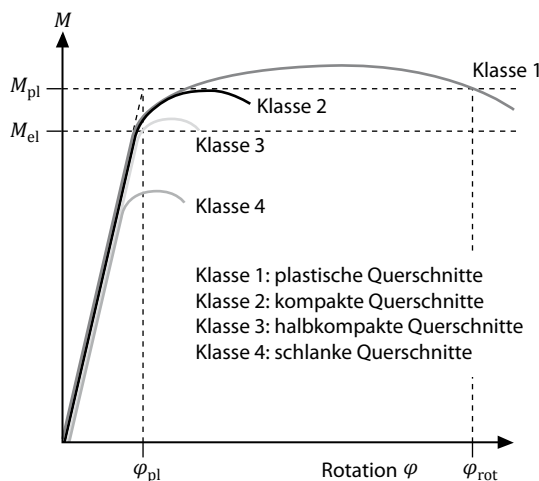


Bild 1. Momenten-Rotationskurven der Querschnittsklassen 1 bis 4 nach EC 3

Da anspruchsvolle Aufgaben wie z. B. die Anwendung der plastischen Tragwerksberechnung nur dann sicher gelöst werden, wenn die Grundlagen, Methoden und Verfahren dazu beherrscht werden, werden nachfolgend die wesentlichen Grundlagen zur plastischen Berechnung von Stahl-Stabtragwerken erläutert.

## 1. Grundlagen zur plastischen Berechnung von Stabtragwerken; Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch

Beim Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch sind die Beanspruchungen nach der Fließzonen- oder Fließgelenktheorie, den Beanspruchbarkeiten unter Ausnutzung plastischer Tragfähigkeiten der Querschnitte und des Systems gegenüberzustellen. Das Spannungs-Dehnungsdiagramm des Werkstoffs Stahl mit einem ausgeprägten Fließvermögen ist nach DIN EN 1993-1-1 als bilineares Diagramm (Bild 2) angegeben. Dieses Werkstoffgesetz bildet die Grundlage der Trag- und Verformungsberechnungen. Alternativ darf auch eine genauere Spannungs-Dehnungsbeziehung nach DIN EN 1993-1-5 mit einem ggf. vorhandenen Verfestigungsbereich berücksichtigt werden.

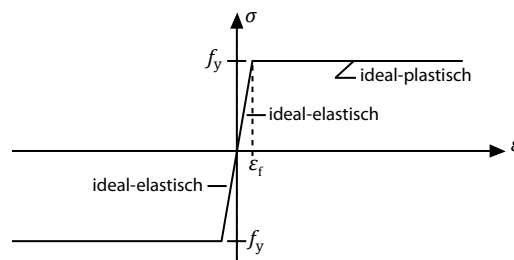


Bild 2. Bilineares Spannungs-Dehnungsdiagramm nach EC 3

Bild 2 unterstellt, dass die Fließgrenze im Druckbereich (Stauchgrenze) gleich der Fließgrenze im Zugbereich ist. Bei Stauchungen des Querschnitts bzw. von Querschnittsteilen ist stets sicherzustellen (Querschnittsklassifizierung), dass keine lokalen Instabilitäten (Beulen) auftreten z. B. in Biegedruckbereichen der Flansche bei Trägern.

### 1.1 Fließzonentheorie

Berechnungen nach der Fließzonentheorie sind extrem aufwändig. In der Baupraxis kommt diese Berechnungsmethode nur in Sonderfällen zur Anwendung. Das Berechnungsverfahren nach der Fließzonentheorie bildet jedoch das tatsächliche Trag- und Verformungsverhalten am genauesten ab.

Anhand eines symmetrischen Einfeldträgers mit rechteckförmigem Querschnitt unter Gleichstreckenbelastung wird der Berechnungsablauf nach der Fließzonentheorie erläutert (Bilder 3 und 4).

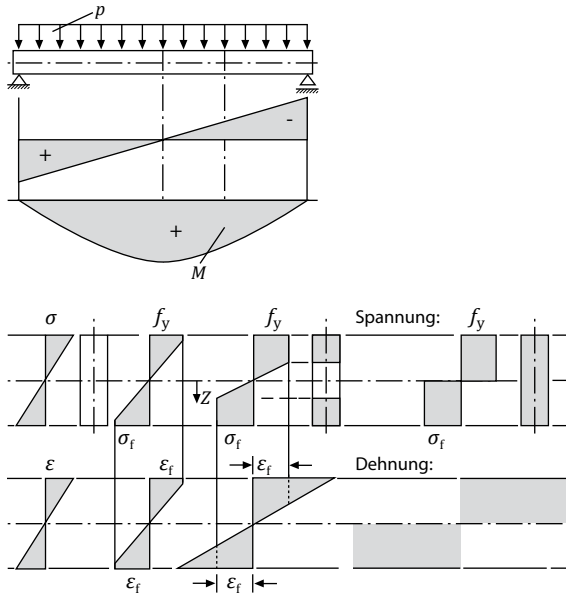


Bild 3. Spannungs-Dehnungsverläufe bei unterschiedlichen Lastniveaus nach [11]

In der Systemmitte durchläuft der Querschnitt unter der Voraussetzung eines ideal-elastischen / ideal-plastischen Spannungs-Dehnungsgesetzes die in Bild 3 dargestellten Spannungs- und Dehnungszustände. Eine Belastung unterhalb der elastischen Grenzlasterreicht, sobald die Randfasern die Streckgrenze  $f_y$  erreichen. Die Randspannung  $f_y$  ist über die Spannungs-Dehnungsbeziehung der Fließdehnung  $\epsilon_f$  zugeordnet. Eine weitere Laststeigerung vergrößert die Krümmung des Querschnitts und damit die Verzerrung in den einzelnen Fasern. Aufgrund des Werkstoffgesetzes beginnen die Ränder des Querschnitts zu fließen. In den Fließbereichen fällt der E-Modul des Querschnitts wegen des ideal-plastischen Materialverhaltens auf Null ab. Die Fließbereiche verlieren ihre Steifigkeit, so dass die Biegesteifigkeit des Trägers an dieser Stelle abnimmt. Mit weiterer Laststeigerung tritt eine fortschreitende Plastizierung des Trägers in Richtung Spannungsmittellinie ein. Im „idealen“ Grenzzustand, der vollplastischen Tragfähigkeit, sind dann alle Fasern vollständig plastiziert. Diesem Spannungszustand entspricht ein Dehnungssprung in der Mittellinie von  $-\infty$  auf  $+\infty$ , der in realen Tragwerken so nicht möglich ist.

Während Bild 3 die Spannungs-Dehnungsverläufe nur an der lokalen Stelle „Systemmitte“ verdeutlicht, ist in Bild 4 die Ausbreitung der Fließzonen in Stablängsrichtung bei steigender Belastung dargestellt. Die Fließzonen breiten sich also nicht nur über die Querschnittshöhe, sondern auch in Stablängsrichtung aus.

Wegen des rechteckigen Querschnitts, der einen Formbeiwert

$$\alpha_{pl} = \frac{\text{Grenzschnittgröße nach der Plastizitätstheorie}}{\text{Grenzschnittgröße nach der Elastizitätstheorie}} = 1.5$$

besitzt, breiten sich die Fließzonen in Stablängsrichtung relativ weit aus.

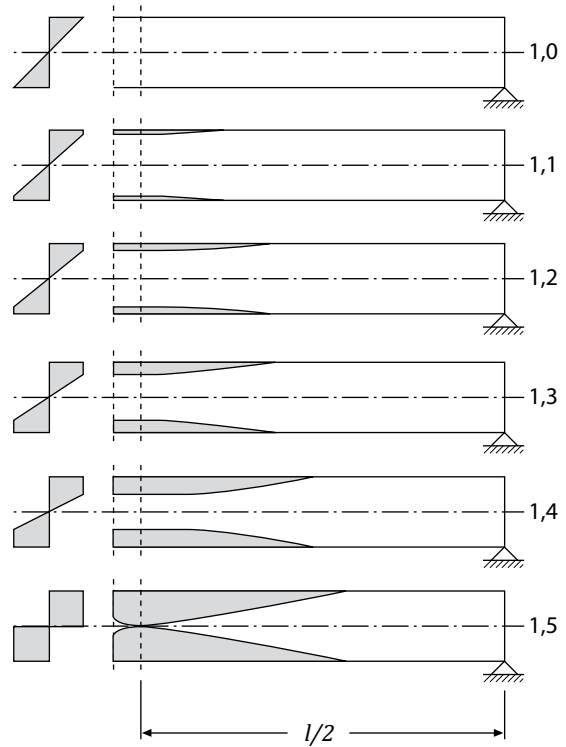


Bild 4. Spannungsverläufe und Fließzonen in Stablängsrichtung auf unterschiedlichen Lastniveaus nach [11]

Infolge der Fließzonen verringert sich die Biegesteifigkeit des Trägers in Teilbereichen, so dass sich größere Durchbiegungen ergeben als bei rein elastischer Berechnung. Bei dem vorliegenden statisch bestimmten System ändern sich die Schnittgrößen infolge der Fließzonen nicht.

Die Effekte der Fließzonen sind jedoch bei anderen baustatischen Systemen von Bedeutung:

- Infolge der größeren Verformungen können sich die Schnittgrößen verändern. Dies ist beispielsweise bei vorhandenen Druckkräften entscheidend.
- In statisch unbestimmten Systemen führen die Fließzonen infolge der Steifigkeitsänderungen in den Fließzonen zu **Schnittgrößenumlagerungen**.

### 1.2 Fließgelenktheorie

Für Berechnungen nach der Fließgelenktheorie werden die Fließzonen idealisiert durch lokale Fließgelenke ersetzt. Diese Fließgelenke stellen Gelenke mit vorhandenen Fließmomenten dar. Für die Stabbereiche außerhalb der Fließgelenke wird elastisches Verhalten vorausgesetzt. Die Fließgelenktheorie stellt damit ein vereinfachtes Verfahren (Näherungsverfahren) zur Fließzonentheorie dar.

Eine für die EDV geeignete Methode zur Ermittlung der Traglast nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch stellt die schrittweise elastische Berechnung dar [13]. Bei diesem Verfahren wird durch schrittweise Laststeigerung in einer ersten Analyse die Last bestimmt, bei der das 1. Fließgelenk entsteht. An der Stelle des 1. Fließgelenkes wird nun ein Gelenk mit dem korrespondierenden Momentenpaar  $M_{p11}$  (vgl. Bild 6) eingeführt. Besitzt das statische System noch

weitere Reserven, kann die Last bis zum Erreichen der plastischen Momententragfähigkeit an der nächsten Stelle im System schrittweise weiter gesteigert werden. Auch an dieser Stelle wird ein Gelenk mit dem dort vorhandenen Momentenpaar  $M_{pl2}$  eingeführt. Diese Berechnungsschritte können solange fortgeführt werden, bis die Systemreserven erreicht sind. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist, dass die Stellen der plastischen Gelenke eine ausreichende Rotationskapazität besitzen.

### 1.2.1 Rotationskapazität

An Einspannstellen oder Zwischenauflagern, also an Stellen mit einem großen Momentengradienten, ist die Länge der Fließzone relativ klein und damit die Hypothese eines lokalen Fließgelenkes gut erfüllt. Wie bereits zuvor ausgeführt, hängt die Länge der Fließzone von dem Formbeiwert  $\alpha_{pl}$  ab, so dass sich im Feldbereich eines Trägers ggf. ein relativ langer Fließzonenbereich einstellt, bei dem die Hypothese eines lokalen Fließgelenkes nicht ausreichend erfüllt ist.

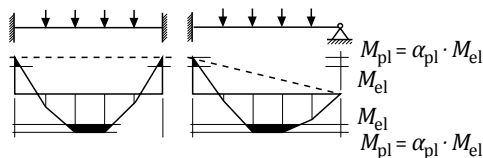


Bild 5. Unterschiedliche Fließgelenkausbildungen

Im statischen System stellen sich die Fließgelenke sukzessive mit steigender Belastung ein. Demnach erleidet das sich einstellende 1. Fließgelenk bei weiterer Laststeigerung bis zum Erreichen des plastischen Grenzzustandes die größte Rotation. Das sich als letztes bildende Fließgelenk erfährt keine Rotation, da sich mit Bildung dieses Fließgelenkes der plastische Grenzzustand einstellt und das System versagt (kinematische Kette).

### Rotationswinkel $\varphi$

Sobald sich ein Fließgelenk eingestellt hat und die äußere Belastung bis zum Erreichen des plastischen Grenzzustandes gesteigert wird, „rotieren“ die Nachbarquerschnitte beidseitig des Fließgelenkes um den Rotationswinkel  $\varphi$  zueinander (Bild 6). Der maximal erreichbare Rotationswinkel  $\varphi$  definiert die (maximale) Rotationskapazität des Querschnitts. Die Rotationskapazität gilt dann als erreicht (erschöpft), wenn der Querschnitt das plastische Grenzmoment  $M_{pl}$  im Zuge der Rotation nicht mehr aufrecht erhalten kann [11].

In der Literatur wird der maximale Rotationswinkel  $max \varphi \leq 0.10 \text{ rad}$  (ca.  $6^\circ$ ) angegeben.

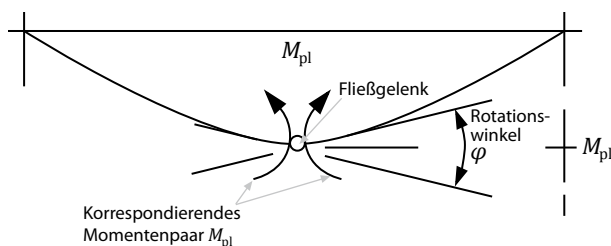


Bild 6. Rotationswinkel  $\varphi$

Die maximal mögliche Gelenkrotation hängt ganz wesentlich von der Tragfähigkeit der Querschnitte in Abhängigkeit der Schlankheit ( $c/t$ -Werte) der gedrückten Flansche und des Steges ab. Diese Schlankheit bestimmt die Beultragfähigkeit.

Bis zum Erreichen eines Fließgelenkes tritt in einem Querschnitt zunächst nur eine elastische Krümmung ein:

$$\kappa = \frac{M}{EJ}$$

Eine Gelenkrotation  $\varphi$  beginnt entsprechend der Fließgelenkhypothese erst, wenn das plastische Moment  $M_{pl}$  erreicht bzw. überschritten wird. In Bild 7 sind verschiedene Momenten-Rotationskurven angegeben.

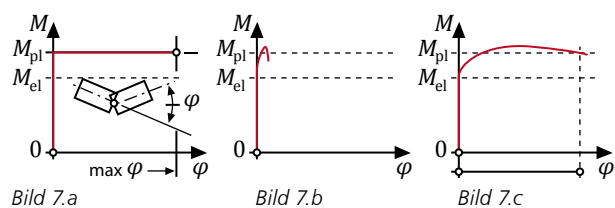


Bild 7.a stellt die maximale Größe des Rotationswinkels  $\varphi$  und damit die maximale Rotationskapazität dar.

Bei dünnwandigen Querschnitten ist die maximale Rotationsfähigkeit im Wesentlichen von der Beultragfähigkeit der plastisch gestauchten Teile des Querschnitts abhängig. Die Momenten-Rotationskurve des Bildes 7.b charakterisiert einen Querschnitt, der zwar die plastische Momententragfähigkeit  $M_{pl}$  erreicht bzw. geringfügig übersteigt, dann aber ausbeult. Er besitzt nur eine sehr geringe Rotationskapazität und ist damit für die Anwendung einer Fließzonen- oder Fließgelenktheorie nicht geeignet.

Ein für die Anwendung der Fließgelenk- bzw. Fließzonen- theorie geeigneter Querschnitt ist in Bild 7.c angegeben. Nach dem Erreichen der plastischen Tragfähigkeit ermöglicht dieser Querschnitt einen ausgeprägten Rotationswinkel  $\varphi$  und damit eine große Rotationskapazität. Die Tragfähigkeit des so charakterisierten Querschnitts fällt erst nach der Ausbildung eines großen Rotationswinkels auf bzw. unter die plastische Momententragfähigkeit ab.

### 1.2.2 Sicherheit gegen lokale Instabilität - Beulen

Das Auftreten von Beulen kennzeichnet eine lokale ggf. auch globale Instabilität von Teilen eines Querschnitts z. B. druckbeanspruchte Gurte eines Trägers. Diese Beulerscheinungen treten oft infolge von kombinierten Beanspruchungen aus Längs- und Schubspannungen auf.

Liegt im höchstbeanspruchten Querschnittsteil eines Tragwerks die Beanspruchung im elastischen Bereich, sind die Spannungen und Verzerrungen über das Hookesche-Gesetz miteinander verknüpft. In diesem Fall kann über die lineare Beultheorie der Nachweis geführt werden, dass der Querschnitt beulfrei bleibt. Um die Beulfreiheit nachzuweisen, ist das Grenzverhältnis  $grenz \ c/t$  zu bestimmen.

Die Beulspannung eines ebenen Bleches der Breite  $c$  und der Dicke  $t$  ermittelt sich zu:

$$\sigma_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{c}\right)^2$$

Der Beulwert  $k$  ist von der Art der Lagerung sowie vom Spannungsverlauf innerhalb der Breite  $c$  der Platte abhängig. Die Auflösung der Gleichung nach  $(c/t)$  unter Gleichsetzung von  $\sigma_{cr}$  mit der Fließspannung, ergibt:

$$\left(\frac{c}{t}\right) = \sqrt{\frac{\pi^2}{12 (1 - \nu^2)} \cdot k \cdot \frac{E}{f_y}} = 0.951 \cdot \sqrt{k} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$\nu$  = Querkontraktionszahl,  $E$  = Elastizitätsmodul

Das zuvor berechnete  $(c/t)$ -Grenzverhältnis kann als Grenzschlankheit zur Vermeidung von Beulen gedeutet werden. Über dieses  $(c/t)$ -Grenzverhältnis kann die Querschnittsklasse bestimmt werden, die für eine Berechnung nach dem Verfahren Elastisch-Elastisch geeignet ist. Eine Auslegung nach den Verfahren Elastisch-Plastisch oder Plastisch-Plastisch muss strengere Anforderungen erfüllen. In diesem Fall werden Stauchungen über die Fließgrenze hinaus zugelassen. Die Grenz  $(c/t)$ -Werte für die Verfahren Elastisch-Plastisch und Plastisch-Plastisch sind in DIN EN 1993-1-1 in Tabelle 5.2 festgelegt.

## 2. Klassifizierung von Querschnitten

DIN EN 1993-1-1 sieht vor, dass mit der Klassifizierung von Querschnitten die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen festgestellt werden soll.

### 2.1 Grundlagen und Einstufung in Querschnittsklassen

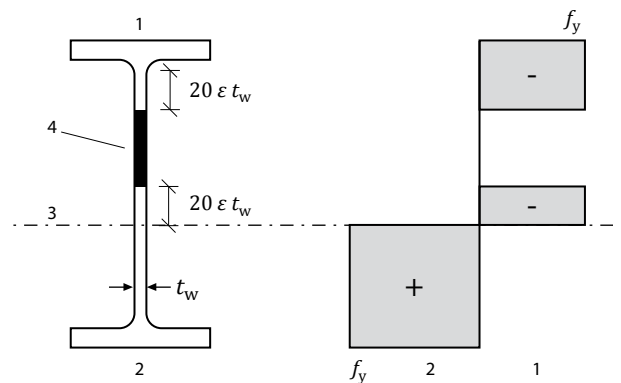
Die Bestimmung der Querschnitts- und Stabtragfähigkeit wird im EC 3 auf ein Klassifizierungssystem aufgebaut. Dieses Klassifizierungssystem unterscheidet 4 Querschnittsklassen, deren Momenten-Rotationskurven bereits in Bild 1 dargestellt sind. Die Einstufung dient dazu, dass die Nachweise in einer für die jeweilige Querschnittsklasse geeigneten Vorgehensweise geführt werden.

Einstufung in die vier Querschnittsklassen nach [5]:

- Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastische Berechnung ausbilden
- Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität
- Querschnitte der Klasse 3 erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln
- Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt

Bei Querschnitten der Klasse 4 dürfen effektive Breiten verwendet werden, um die Abminderung der Beanspruchbarkeit infolge lokalen Beulens zu berücksichtigen. Die Klassifizierung eines Querschnitts ist vom  **$c/t$ -Verhältnis seiner druckbeanspruchten Teile** abhängig. Dabei können druckbeanspruchte Teile entweder vollständig oder teilweise unter der zu untersuchenden Einwirkungskombination Druckspannungen aufweisen. Die verschiedenen druckbeanspruchten Querschnittsteile (wie z. B. Steg oder Flansch) können im Allgemeinen verschiedenen Querschnittsklassen zugeordnet werden.

Ein Querschnitt wird durch die höchste (ungünstigste) Klasse seiner druckbeanspruchten Querschnittsteile klassifiziert. Ausnahmen davon sind nach EC 3 in 6.2.1 (10) und 6.2.2.4 (1) angegeben. Nach 6.2.2.4 (1) dürfen Querschnitte mit Klasse-3-Steg und Klasse 1- oder Klasse-2-Flanschen insgesamt als Klasse-2-Querschnitte eingestuft werden, wenn die gedrückte Fläche des Steges entsprechend Bild 8 in einen Anteil mit der wirksamen Breite  $20\epsilon t_w$  am Druckgurt und einen weiteren Anteil mit der wirksamen Breite  $20\epsilon t_w$  an der neutralen Achse der plastischen Spannungsverteilung des Querschnitts aufgeteilt wird.



#### Legende

- 1 gedrückter Querschnittsbereich
- 2 gezogener Querschnittsbereich
- 3 plastische Nulllinie des wirksamen Querschnitts
- 4 nichtwirksame Fläche

Bild 8. Wirksame Stegfläche für Klasse-2-Querschnitte nach [5]

Alternativ ist es zulässig, die Klasse eines Querschnitts durch Klassifizierung der Flansche sowie des Stegs festzulegen.

Die Grenzabmessungen druckbeanspruchter Querschnittsteile für die Klassen 1, 2 und 3 können der Tabelle 5.2 des EC 3 bzw. der nebenstehenden Tabelle 1 entnommen werden. Querschnitte, die die Anforderungen der Klasse 3 nicht erfüllen, sind der Klasse 4 zuzuordnen. Querschnitte der Klasse 4 dürfen wie Querschnitte der Klasse 3 behandelt werden, wenn das  $c/t$ -Verhältnis, das nach Tabelle 5.2 (EC 3) mit einer Erhöhung von

$$\epsilon \text{ um } \sqrt{\frac{f_y / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}}$$

ermittelt wird, kleiner als die Grenze für Klasse 3 ist. Dabei ist  $\sigma_{com,Ed}$  der größte Bemessungswert der einwirkenden

Druckspannung im Querschnittsteil, die nach Theorie I. Ordnung oder, falls notwendig, nach Theorie II. Ordnung ermittelt wird.

Bei Stabilitätsnachweisen eines Bauteils nach Kapitel 6.3 der DIN EN 1993-1-1 sollten jedoch immer die Grenzabmessungen der Klasse 3 Tabelle 5.2 (EC 3) ohne Erhöhung von  $\epsilon$  verwendet werden.

Sofern der Steg nur für die Schubkraftübertragung vorgesehen ist und nicht zur Abtragung von Biegemomenten oder Normalkräften eingesetzt wird, darf der Querschnitt alleine abhängig von der Einstufung der Gurte den Klassen 2, 3 oder 4 zugeordnet werden.

Die Querschnittstragfähigkeiten (Querschnittswiderstände) sowie die zulässige Methode zur Tragwerksberechnung sind Bild 9 zu entnehmen. Deutlich zu erkennen ist der sprunghafte Tragfähigkeitsunterschied beim Übergang von Querschnittsklasse 2 (plastischer Tragwiderstand) zur Querschnittsklasse 3 (elastischer Tragwiderstand).

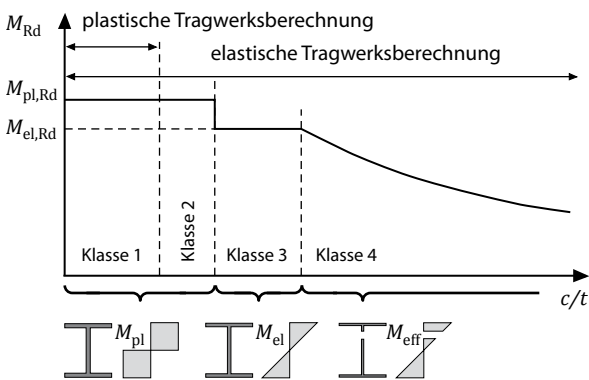


Bild 9. Querschnitts-Tragfähigkeiten und zulässige Berechnungsmethoden für Querschnitte der Klassen 1 bis 4 nach [15]

### 2.2 Klassifizierungsvorgang

Die Klassifizierung der Querschnitte dient zur Auswahl der geeigneten Nachweismethode für:

- die globale Tragwerksberechnung (Schnittgrößenermittlung)
- die Stabnachweise (Tragfähigkeits- und Stabilitätsnachweise)
- die Querschnittsnachweise (Querschnittstragfähigkeiten)

Der Spannungsverlauf kann über die Stablänge stark veränderlich sein. Deshalb können auch die Querschnittsklassen über die Stablänge variieren. Für die Nachweisführung muss deshalb ein äquivalenter (Ersatz)-Querschnitt festgelegt werden, der den maßgebenden Querschnitt repräsentiert. Aus mechanischer Sicht ist hierfür der Querschnitt bzw. die Querschnittsklasse auszuwählen, die sich am Punkt der höchsten Ausnutzung des Stabes einstellt.

Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile			auf Druck beanspruchte Querschnittsteile			auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile		
	Spannungsverteilung über Querschnittsteile			Spannungsverteilung über Querschnittsteile			Spannungsverteilung über Querschnittsteile		
1	$c/t \leq 72\epsilon$			$c/t \leq 33\epsilon$			für $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$		
2	$c/t \leq 83\epsilon$			$c/t \leq 38\epsilon$			für $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$		
3	$c/t \leq 124\epsilon$			$c/t \leq 42\epsilon$			für $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi > -1$ : $c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$		
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$		$f_y$	235	275	355	420	460		
		$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71		

Tabelle 1. Maximales  $c/t$ -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile bei beidseitiger Stützung nach [5]

Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile					
		freier Rand im Druckbereich	freier Rand im Zugbereich				
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$				
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$				
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ für $k_\sigma$ siehe EN 1993-1-5					
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$		$f_y$	235	275	355	420	460
		$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabelle 1 (Fortsetzung). Maximales  $c/t$ -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile bei einseitig gestützten Flanschen nach [5]



Für eine Klassifizierung in die Querschnittsklassen 3 bzw. 4 ist die elastische Spannungsverteilung unter Berücksichtigung der Normalkraft und der zweiachsigen Biegung zugrunde zu legen (Bild 10).

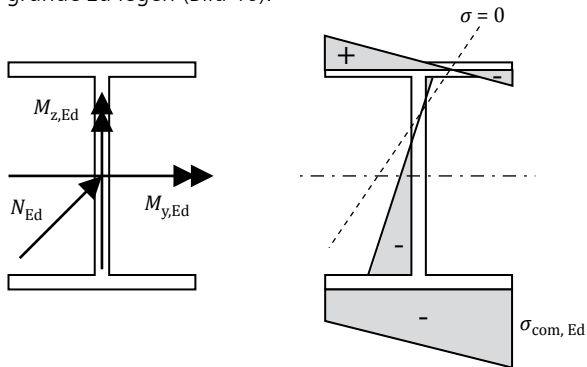


Bild 10. Prinzipieller elastischer Spannungsverlauf unter Normalkraft und zweiachsiger Biegung bei I-Profilen

Für eine gegebene Beanspruchung ist beispielhaft in Bild 11 die Analyse der  $c/t$ -Verhältnisse und damit die Ermittlung der Querschnittsklasse für die Teilquerschnitte eines I-Profiles dokumentiert. Da in diesem Beispiel der Teilquerschnitt des Steges (hier Teil T1) der Querschnittsklasse 3 zugeordnet wird, die Flansche jedoch der Querschnittsklasse 1, muss die Gesamteinstufung des Querschnitts infolge dieser Beanspruchung in die ungünstigste Querschnittsklasse erfolgen. In diesem Fall der Querschnittsklasse 3. Unter Berücksichtigung der wirksamen Stegfläche könnte auch eine Einstufung in Querschnittsklasse 2 vorgenommen werden.

Teil	Stützung	ya	za	ye	ze	w	vorh.	c/t	grenz.	c/t	QK
	$\sigma_{com,Ed}$	$\frac{c}{t}$	$\frac{c}{t}$	$\frac{c}{t}$	$\frac{c}{t}$	$\frac{c}{t}$					
T1	beidseitig	130,0	50,0	130,0	440,0	1,00		32,5	34,2	3	
T2	einseitig	117,0	11,5	0,0	11,5	1,00		5,1	7,3	1	
T3	einseitig	183,0	11,5	300,0	11,5	1,00		5,1	7,3	1	
T4	einseitig	183,0	478,5	300,0	478,5	1,00		5,1	7,3	1	
T5	einseitig	117,0	478,5	0,0	478,5	1,00		5,1	7,3	1	

Bild 11. Beispiel: Ergebnisausdruck des Moduls „P100.de ProfilMaker“ mit Ausgabe der Querschnittsklasse für die Teilquerschnitte des Profils

Die Berücksichtigung der Querschnittsklasse auf die zu führenden Nachweise ist im nachfolgenden Bild 12 in der Ergebnisausgabe des Moduls „EuroStahl.stahl“ zu sehen.

Stab	r	N <sub>Ed</sub>	M <sub>Ed,t</sub>	sigma	QK	relsigma	Lkn
[m]	[kN]	[kNm]	[N/mm²]			[%]	
S-1 HEA 500	0.00	-5893.63	-0.00	297.66	3	83.8	1
	1.25	-5891.00	-26.05	304.86	3	85.9	1
	2.50	-5888.38	-52.11	312.07	3	87.9	1
	3.75	-5885.76	-78.16	319.28	3	89.9	1
	5.00	-5883.13	-104.21	326.48	3	92.0	1
S-2 IPE 400	0.00	-20.84	-104.21	92.31	1	39.3	1
	3.50	-20.84	85.02	75.76	1	32.2	1
	3.50	-20.84	85.02	75.76	1	32.2	1
	7.00	-20.84	-104.21	92.31	1	39.3	1
S-3 HQ 400-10	0.00	-1166.35	-0.00	75.25	2	32.0	1
	1.25	-1164.29	26.05	88.44	2	37.6	1
	2.50	-1162.24	52.11	101.62	2	43.2	1
	3.75	-1160.19	78.16	114.81	2	48.9	1
	5.00	-1158.13	104.21	128.00	2	54.5	1

Bild 12. Beispiel: Ergebnisausdruck des Moduls „EuroStahl.stahl“ unter Berücksichtigung der Querschnittsklasse

Eine Klassifizierung für Querschnitte der Klassen 1 oder 2 ist infolge der plastischen Spannungsverteilung und der Beanspruchung Normalkraft und zweiachsiger Biegung vorzunehmen. Bei einer plastischen Berechnung ist der Einfluss aus Schubspannungen (falls  $V_{Ed} \geq 0.5 V_{pl,Rd}$ ) ggf. durch die Ermittlung reduzierter Streckgrenzen zu berücksichtigen. Die Beanspruchung aus Normalkraft und zweiachsiger Biegung sollte solange schrittweise vergrößert werden, bis der zugehörige plastische Grenzzustand erreicht wird. Die zugehörigen Spannungsblöcke der Querschnittsteile sind dann für die Klassifizierung des Querschnitts anzusetzen.

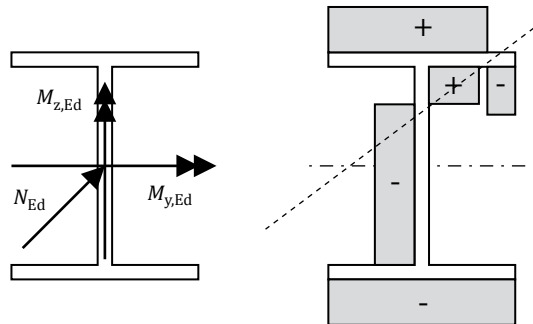


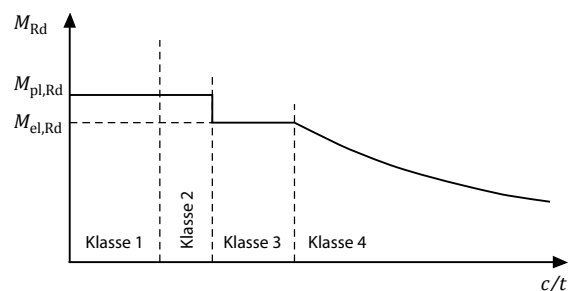
Bild 13. Prinzipieller plastischer Spannungsverlauf unter Normalkraft und zweiachsiger Biegung bei I-Profilen

### 3. Nachweis der Querschnittstragfähigkeit

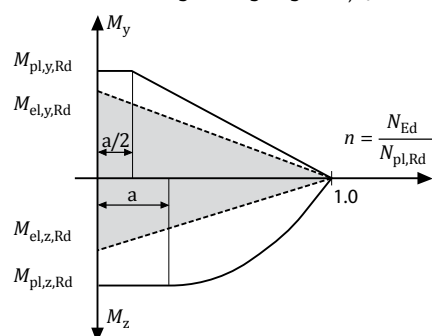
Die Bemessungsregeln zur Querschnittstragfähigkeit sind in DIN EN 1993-1-1 Kapitel 6.2 „Beanspruchbarkeit von Querschnitten“ umfassend beschrieben. Auf eine Erläuterung der einzelnen Nachweise wird deshalb hier verzichtet. Dennoch wird der Bemessungsvorgang [15] für die Querschnittstragfähigkeit von I-Profilen kurz vorgestellt.

Der prinzipielle Berechnungsablauf für eine plastische Nachweisführung lässt sich in drei Schritten zusammenfassen:

1. Schritt: Ermittlung der Biegetragfähigkeit  $M_{pl,Rd}$  getrennt für jede Achse (y- bzw. z-Achse)



2. Schritt: Interaktion von Normalkraft und einachsiger Biegung ( $M_{N,Rd}$ )





3. Schritt: Interaktion für zweiachsige Biegung

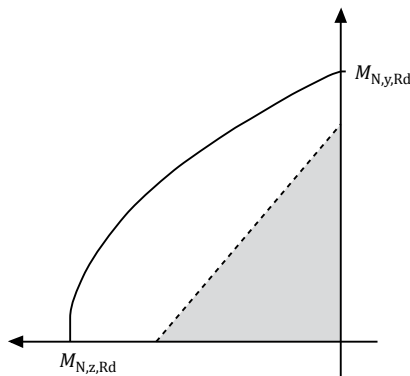


Bild 14. Prinzipieller Bemessungsvorgang für plastische Querschnittstragfähigkeiten

Klasse 2:	Schritt 1:	$M_{y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \quad M_{z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$
	Schritt 2:	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{(1-n)}{(1-0,5a)} \leq M_{pl,y,Rd}$ $n \leq a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$ $n > a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a}\right)^2\right]$ $a = \frac{(A - 2bt_f)}{A} \leq 0,5 \quad n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$
	Schritt 3:	$\alpha = 2; \quad \beta = 5n \geq 1 \quad \left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta \leq 1$
Klasse 3:	$\frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1$	
Klasse 4:	$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$	

Tabelle 2. Querschnittstragfähigkeit von I-Profilen gemäß DIN EN 1993-1-1 nach [15]

Einfluss der Querschnittsform auf die plastische Querschnittstragfähigkeit

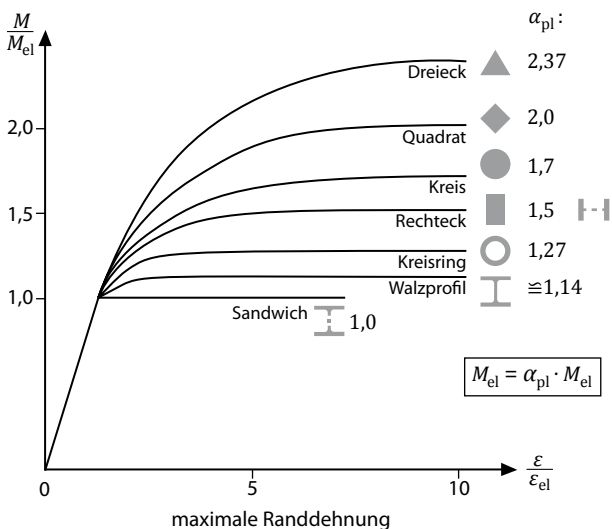


Bild 15. Formbeiwert  $\alpha_{pl}$  für verschiedene Querschnitte bei Biegung um die horizontale Achse nach [13]

Der plastische Formbeiwert wird üblicherweise zur Beurteilung der Momententragfähigkeit benutzt. Definiert ist dieser Wert zu:

$$\alpha_{pl,M} = \frac{M_{pl}}{M_{el}}$$

Aus Bild 15 wird die mögliche plastische Tragfähigkeitsreserve im Vergleich zur elastischen Tragfähigkeit deutlich. Für die häufig verwendeten Walzprofile beträgt  $\alpha_{pl,M}$  um die starke Achse ca. 1.14.

4. Stabilität von Stäben, Stabtragfähigkeit

Die Stabilitätsnachweise sind in DIN EN 1993-1-1 im Abschnitt 6.3 ausführlich erläutert, so dass auch hier auf eine detaillierte Beschreibung aller Nachweisgleichungen verzichtet wird. Die Nachweisgleichungen (6.61) und (6.62) des EC 3 für auf Biegung und Druck beanspruchte Bauteile werden angegeben. Je nach vorhandener Querschnitts-kategorie 1 bis 4 sind die der Querschnittskategorie entsprechenden Werte nach Tabelle 3 zu berücksichtigen.

Ausweichen um y-y:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Ausweichen um z-z:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Dabei sind:

- $N_{Ed}, M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  die Bemessungswerte der einwirkenden Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y und z-z-Achse
- $\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$  die Momente aus der Verschiebung der der Querschnittsachsen von Klasse 4-Querschnitten
- $k_y, k_z$  die Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken nach 6.3.1
- $\chi_{LT}$  der Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken nach 6.3.2
- $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$  die Interaktionsfaktoren

Kategorie	1	2	3	4
$A_i$	A	A	A	$A_{eff}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

Tabelle 3. Werte für  $N_{Rk} = f_y A_i, M_{i,Rk} = f_y W_i$  und  $\Delta M_{i,Ed}$  in den Stabilitätsnachweisen Gl (6.61) und Gl (6.62) des EC 3 in Abhängigkeit der Querschnittskategorie

## 5. Ausblick: Bemessungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stab-bemessung nach Eurocode 3

Im bestehenden Eurocode 3 [5, 6] wird davon ausgegangen, dass für die Querschnittsklasse 3 nicht mehr als die elastische Tragfähigkeit berücksichtigt werden kann. Neuere Erkenntnisse zeigen jedoch, dass durch innere Plastizierungen eine erhebliche Steigerung der Tragfähigkeit der Klasse 3-Querschnitte möglich ist.

Auf der Grundlage der Ergebnisse zweier Forschungsvorhaben wurde ein **Vorschlag** für ein neues Bemessungskonzept erarbeitet, das einerseits die Eurocode 3-Regelungen erfüllt, andererseits aber einen erhöhten Tragwiderstand von Klasse 3-Querschnitten im Vergleich zu der konservativen Regelung des derzeitigen Eurocodes zu nutzen erlaubt. Der Vorschlag berücksichtigt neben der Tragfähigkeit auch die erhöhten Tragfähigkeiten in den Stabilitätsnachweisen.

Ergebnis: Der Bemessungsvorschlag ermöglicht die Nutzung der höheren Tragfähigkeit der Klasse 3-Querschnitte durch linearen Übergang zwischen den Grenzen zu Klasse 2 und Klasse 4.

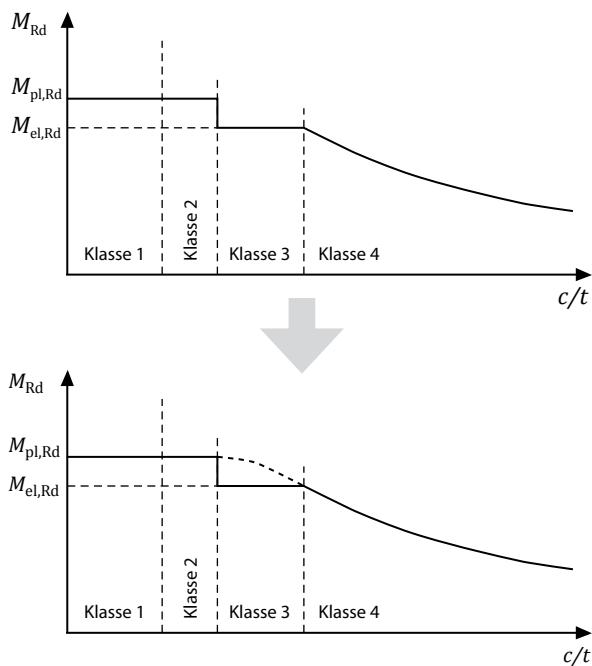


Bild 16. Bemessungskonzepte zur Querschnittstragfähigkeit für die Querschnittsklassen 1 bis 4  
 a) momentanes Bemessungskonzept  
 b) Vorschlag eines neuen Bemessungskonzeptes mit erhöhtem Tragwiderstand für Klasse 3-Querschnitte nach [15]

Dr.-Ing. Joachim Kretz  
 mb AEC Software GmbH  
 mb-news@mbaec.de

## Literatur

- [1] DIN EN 1990:2012-12, Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010.
- [2] DIN EN 1990/ NA:2012-12, Eurocode 0: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Grundlagen der Tragwerksplanung
- [3] DIN EN 1991:2012-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke, Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. Deutsche Fassung EN 1991-1:2002 + AC:2009
- [4] DIN EN 1991:2012-12, Eurocode 1: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke, Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [5] DIN EN 1993-1-1:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [6] DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, Eurocode 3: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [7] DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
- [8] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12: Eurocode 3: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen.
- [9] Kretz, J.: Stabilität und Theorie II. Ordnung von Stäben und Stabtragwerken, mb-news Nr. 4/2011, Juni 2011.
- [10] Kuhlmann, U.; Zizza, A.; Stahlbaunormen: DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. In Stahlbau Kalender 2011. Ernst & Sohn Verlag. Berlin 2011.
- [11] Petersen, Christian: Stahlbau. Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten. 4. Auflage Springer Vieweg. Wiesbaden 2013
- [12] Kindmann, R., Krüger, U.: Stahlbau Teil 1: Grundlagen. 5. Auflage. Ernst & Sohn Verlag. März 2013
- [13] Kindmann, R. Frickel, J.: Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit: Grundlagen, Methoden, Berechnungsverfahren, Beispiele. Ernst & Sohn Verlag. Berlin 2002.
- [14] Wagenknecht, G.: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen. Beuth Verlag GmbH Berlin 2011.
- [15] Valorisation Project: SEMI-COMP+ n° RFS2-CT-2010-00023, Berechnungsrichtlinie für die Querschnitts- und Stabbemessung nach Eurocode 3 mit Schwerpunkt auf semi-kompakten Querschnitten, TU Graz, Institut für Stahlbau. Juli 2011.



### Hinweis zu den Tabellen

#### „Zusammenstellung der Querschnittsklassen“

In den folgenden Tabellen sind für die Walzprofilreihen IPE, HEA, HEB und HEM die Querschnittsklassen infolge:

- reiner Biegebeanspruchung
- reiner Druckbeanspruchung

in Abhängigkeit von der Mindeststreckgrenze angegeben. Die Einstufung erfolgt dabei unabhängig von der Verfügbarkeit der Walzprofile in den entsprechenden Festigkeiten.

Deutlich zu erkennen ist, dass mit steigender Festigkeit auch eine Einstufung in eine ungünstigere Querschnittsklasse bei einigen Profilen erfolgt.

Profil	Querschnittsklassen nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12) Tabelle 5.2 in Abhängigkeit vom Mindestwert der Streckgrenze [in N/mm <sup>2</sup> ] bei reiner Biegebeanspruchung														
	235	355	420	460	550	620	690	Profil	235	355	420	460	550	620	690
IPE 80	1	1	1	1	1	1	1	HEB 100	1	1	1	1	1	1	1
IPE 100	1	1	1	1	1	1	1	HEB 120	1	1	1	1	1	1	1
IPE 120	1	1	1	1	1	1	1	HEB 140	1	1	1	1	1	1	1
IPE 140	1	1	1	1	1	1	1	HEB 160	1	1	1	1	1	1	1
IPE 160	1	1	1	1	1	1	1	HEB 180	1	1	1	1	1	1	1
IPE 180	1	1	1	1	1	1	1	HEB 200	1	1	1	1	1	1	1
IPE 200	1	1	1	1	1	1	1	HEB 220	1	1	1	1	1	1	2
IPE 220	1	1	1	1	1	1	1	HEB 240	1	1	1	1	1	1	2
IPE 240	1	1	1	1	1	1	1	HEB 260	1	1	1	1	1	2	2
IPE 270	1	1	1	1	1	1	1	HEB 280	1	1	1	1	2	2	3
IPE 300	1	1	1	1	1	1	2	HEB 300	1	1	1	1	2	3	3
IPE 330	1	1	1	1	1	1	1	HEB 320	1	1	1	1	1	2	2
IPE 360	1	1	1	1	1	1	1	HEB 340	1	1	1	1	1	1	2
IPE 400	1	1	1	1	1	1	1	HEB 360	1	1	1	1	1	1	1
IPE 450	1	1	1	1	1	1	1	HEB 400	1	1	1	1	1	1	1
IPE 500	1	1	1	1	1	1	1	HEB 450	1	1	1	1	1	1	1
IPE 550	1	1	1	1	1	1	2	HEB 500	1	1	1	1	1	1	1
IPE 600	1	1	1	1	1	1	2	HEB 550	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 600	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 650	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 700	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 800	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 900	1	1	1	1	1	1	1
								HEB 1000	1	1	1	1	1	2	2
HEA 100	1	1	1	1	1	1	1	HEM 100	1	1	1	1	1	1	1
HEA 120	1	1	1	1	1	2	2	HEM 120	1	1	1	1	1	1	1
HEA 140	1	1	1	2	2	3	3	HEM 140	1	1	1	1	1	1	1
HEA 160	1	1	2	2	3	3	3	HEM 160	1	1	1	1	1	1	1
HEA 180	1	2	3	3	3	3	3	HEM 180	1	1	1	1	1	1	1
HEA 200	1	2	3	3	3	3	3	HEM 200	1	1	1	1	1	1	1
HEA 220	1	2	3	3	3	3	3	HEM 220	1	1	1	1	1	1	1
HEA 240	1	2	3	3	3	3	3	HEM 240	1	1	1	1	1	1	1
HEA 260	1	3	3	3	3	3	4	HEM 260	1	1	1	1	1	1	1
HEA 280	1	3	3	3	3	3	4	HEM 280	1	1	1	1	1	1	1
HEA 300	1	3	3	3	3	3	4	HEM 300	1	1	1	1	1	1	1
HEA 320	1	2	3	3	3	3	3	HEM 320	1	1	1	1	1	1	1
HEA 340	1	1	2	3	3	3	3	HEM 340	1	1	1	1	1	1	1
HEA 360	1	1	2	2	3	3	3	HEM 360	1	1	1	1	1	1	1
HEA 400	1	1	1	1	2	3	3	HEM 400	1	1	1	1	1	1	1
HEA 450	1	1	1	1	1	2	2	HEM 450	1	1	1	1	1	1	1
HEA 500	1	1	1	1	1	1	1	HEM 500	1	1	1	1	1	1	1
HEA 550	1	1	1	1	1	1	1	HEM 550	1	1	1	1	1	1	1
HEA 600	1	1	1	1	1	1	1	HEM 600	1	1	1	1	1	1	1
HEA 650	1	1	1	1	1	1	1	HEM 650	1	1	1	1	1	1	1
HEA 700	1	1	1	1	1	1	1	HEM 700	1	1	1	1	1	1	1
HEA 800	1	1	1	1	1	2	2	HEM 800	1	1	1	1	1	1	1
HEA 900	1	1	1	1	2	2	2	HEM 900	1	1	1	1	1	1	1
HEA 1000	1	1	1	2	2	3	3	HEM 1000	1	1	1	1	1	1	1

Die Tabellen wurden von der Technischen Universität Dresden erstellt und sind hier nur auszugsweise für die o.g. Walzprofilreihen angegeben.

Profil	Querschnittsklassen nach DIN EN 1993-1-1 (2010-12) Tabelle 5.2 in Abhängigkeit vom Mindestwert der Streckgrenze [in N/mm <sup>2</sup> ] bei reiner Druckbeanspruchung															
	235	355	420	460	550	620	690	Profil	235	355	420	460	550	620	690	
IPE 80	1	1	1	1	1	1	1	HEB 100	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 100	1	1	1	1	1	1	1	HEB 120	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 120	1	1	1	1	1	2	2	HEB 140	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 140	1	1	1	2	2	3	3	HEB 160	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 160	1	1	2	2	3	3	4	HEB 180	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 180	1	2	2	3	4	4	4	HEB 200	1	1	1	1	1	1	1	
IPE 200	1	2	2	3	4	4	4	HEB 220	1	1	1	1	1	1	2	
IPE 220	1	2	3	4	4	4	4	HEB 240	1	1	1	1	1	1	2	
IPE 240	1	2	3	4	4	4	4	HEB 260	1	1	1	1	1	2	2	
IPE 270	2	3	4	4	4	4	4	HEB 280	1	1	1	1	2	2	3	
IPE 300	2	4	4	4	4	4	4	HEB 300	1	1	1	1	2	3	3	
IPE 330	2	4	4	4	4	4	4	HEB 320	1	1	1	1	1	2	2	
IPE 360	2	4	4	4	4	4	4	HEB 340	1	1	1	1	1	1	2	
IPE 400	3	4	4	4	4	4	4	HEB 360	1	1	1	1	1	2	2	
IPE 450	3	4	4	4	4	4	4	HEB 400	1	1	1	1	2	2	2	
IPE 500	3	4	4	4	4	4	4	HEB 450	1	1	1	2	2	3	4	
IPE 550	4	4	4	4	4	4	4	HEB 500	1	2	2	2	3	4	4	
IPE 600	4	4	4	4	4	4	4	HEB 550	1	2	3	3	4	4	4	
								HEB 600	1	3	3	4	4	4	4	
								HEB 650	2	3	4	4	4	4	4	
								HEB 700	2	4	4	4	4	4	4	
								HEB 800	3	4	4	4	4	4	4	
								HEB 900	3	4	4	4	4	4	4	
								HEB 1000	4	4	4	4	4	4	4	
HEA 100	1	1	1	1	1	1	1	HEM 100	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 120	1	1	1	1	1	2	2	HEM 120	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 140	1	1	1	2	2	3	3	HEM 140	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 160	1	1	2	2	3	3	3	HEM 160	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 180	1	2	3	3	3	3	3	HEM 180	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 200	1	2	3	3	3	3	3	HEM 200	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 220	1	2	3	3	3	3	3	HEM 220	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 240	1	2	3	3	3	3	3	HEM 240	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 260	1	3	3	3	3	3	4	HEM 260	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 280	1	3	3	3	3	3	4	HEM 280	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 300	1	3	3	3	3	3	4	HEM 300	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 320	1	2	3	3	3	3	4	HEM 320	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 340	1	1	2	3	3	3	4	HEM 340	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 360	1	1	2	2	3	4	4	HEM 360	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 400	1	2	2	2	3	4	4	HEM 400	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 450	1	2	3	3	4	4	4	HEM 450	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 500	1	3	4	4	4	4	4	HEM 500	1	1	1	1	1	1	1	
HEA 550	2	4	4	4	4	4	4	HEM 550	1	1	1	1	1	2	2	
HEA 600	2	4	4	4	4	4	4	HEM 600	1	1	1	1	2	2	3	
HEA 650	3	4	4	4	4	4	4	HEM 650	1	1	2	2	3	3	4	
HEA 700	3	4	4	4	4	4	4	HEM 700	1	2	2	3	4	4	4	
HEA 800	4	4	4	4	4	4	4	HEM 800	1	3	4	4	4	4	4	
HEA 900	4	4	4	4	4	4	4	HEM 900	2	4	4	4	4	4	4	
HEA 1000	4	4	4	4	4	4	4	HEM 1000	3	4	4	4	4	4	4	

Die Tabellen wurden von der Technischen Universität Dresden erstellt und sind hier nur auszugsweise für die o.g. Walzprofilreihen angegeben.