DOI: 10.1002/stab.201420222

Leichtbau ist nicht schwer

Dünnwandige Stahl- und Aluminiumprofile in einem Schritt nachweisen

Helmut Wrede

Nach Einführung der Eurocode-Normenfamilie müssen Tragwerke mit kaltgeformten, dünnwandigen Bauteilen und Wanddicken von weniger als 3 mm nach dem Teil 1-3 des Eurocodes 3 bemessen werden. Strangpressprofile aus Aluminium müssen nach dem Teil 1-1 des Eurocodes 9 nachgewiesen werden. Die neuen Nachweisformate bieten heute eine sichere und wirtschaftliche Auslegung von Leichtbau-Tragwerken, andererseits steigt jedoch auch der Aufwand für die statische Berechnung dieser Profile.

Besonderheiten beim Nachweis von dünnwandigen Stahlprofilen

Wenn dünnwandige Stahlprofile durch Druck- oder Schubspannungen beansprucht werden, dann beeinflusst das Plattenbeulen der Gurte und Stege sehr stark die Tragfähigkeit des Querschnitts. Deshalb wird ein Querschnitt in seine einzelnen Teilflächen (Stege, Gurte und Lippen) zerlegt. Bei Querschnittsteilen, die auf Druck beansprucht werden, wird die Anfälligkeit auf Plattenbeulen untersucht. Wenn eine Beulgefährdung vorliegt, muss die Teilfläche abgemindert werden. Der ausbeulende Bereich wird dabei aus der Teilfläche herausgeschnitten und beim Tragfähigkeitsnachweis nicht mehr berücksichtigt. Die Nachweise für den daraus entstehenden effektiven Stahlquerschnitt beruhen auf der Methode der wirksamen Breiten. Dabei ist es wichtig, zwischen ausgesteiften und nicht ausgesteiften Querschnittsteilen zu unterscheiden. Bei nicht ausgesteiften Querschnittsteilen wird zur Berechnung der wirksamen Breiten das Spannungsverhältnis nach dem Teil 1-5 des Eurocodes 3 ermittelt. Das Spannungsverhältnis ist von der jeweiligen Lasteinwirkungskombination abhängig. Je nachdem, ob auf den Querschnitt positive oder negative Biegemomente oder reine Druckkräfte einwirken, ergeben sich bis zu fünf unterschiedliche effektive Querschnittseigenschaften, die der Statiker in seinem Nachweis durchgehen muss (Bild 1).

Wenn das Spannungsverhältnis nur mit den Werten des Bruttoquerschnitts ermittelt wird, kommt es zu mehr oder weniger großen Ungenauigkeiten. Der Eurocode empfiehlt daher, das Spannungsverhältnis iterativ mit dem bereits ermittelten wirksamen Querschnitt zu berechnen (Bild 2).

Bei ausgesteiften Querschnitten wie beispielsweise C-Querschnitten kann neben dem Plattenbeulen ein zusätzliches Stabilitätsproblem, die

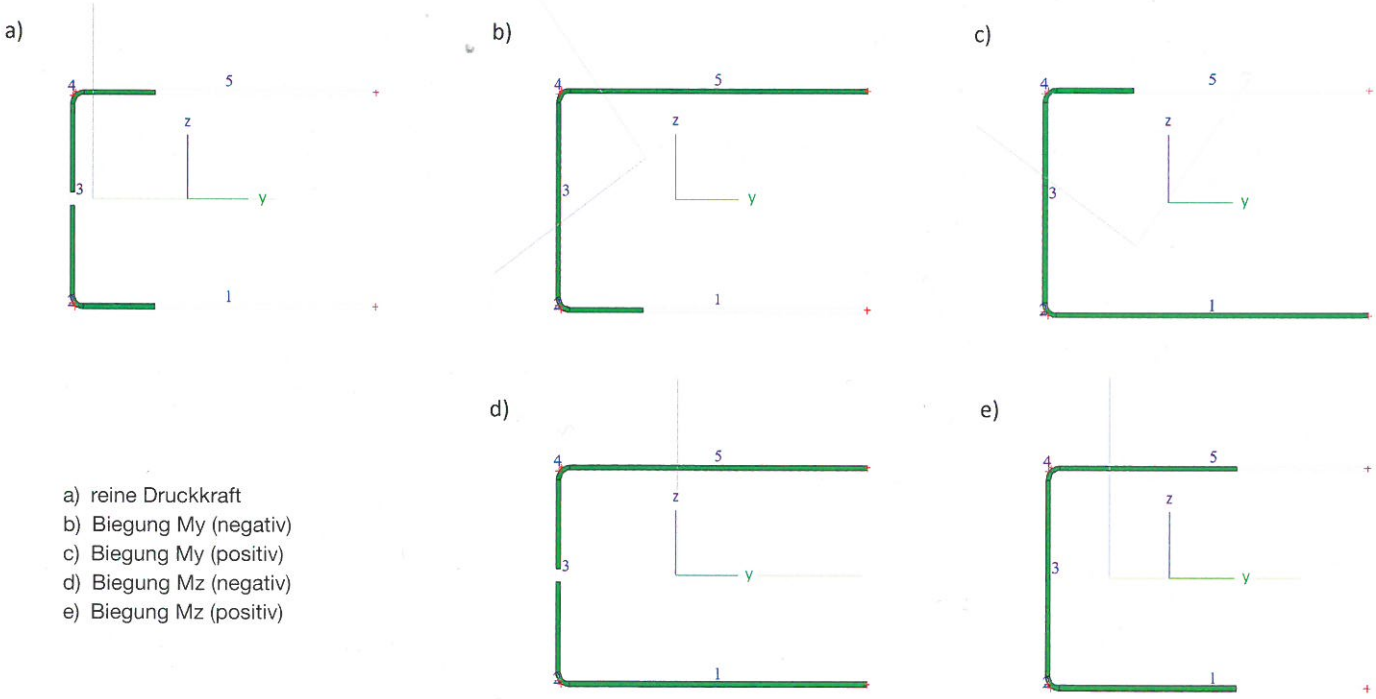

Bild 1. Effektive Querschnitte bei fünf verschiedenen Beanspruchungen

Forminstabilität auftreten. Die Forminstabilität wird im Eurocode als seitliches Ausweichen bzw. Knicken der Versteifungen interpretiert, wodurch der Querschnitt selbst seine ursprüngliche Form verliert (Bild 3).

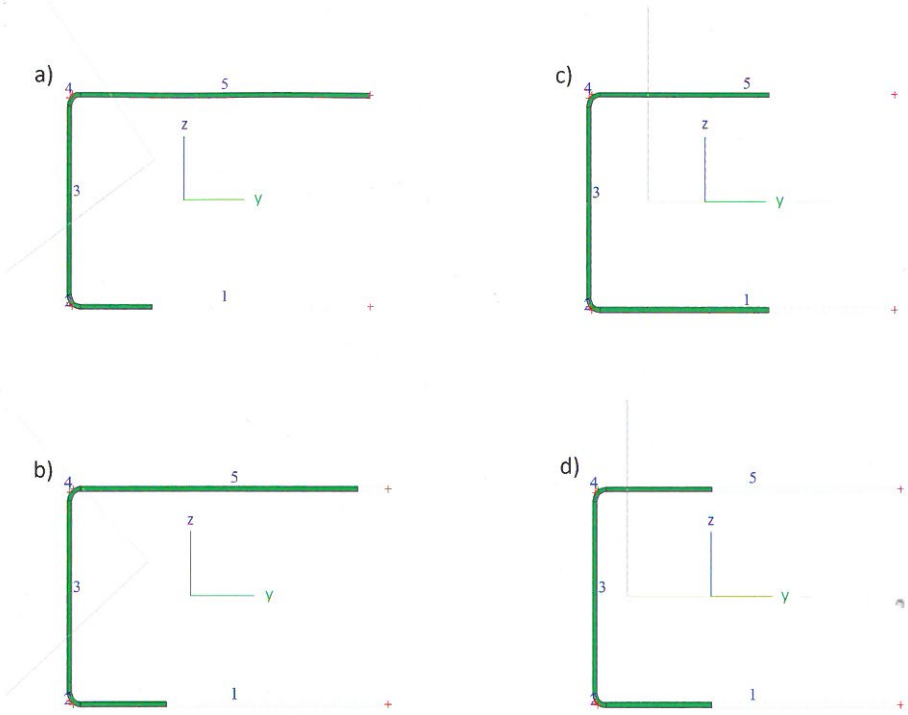

Bild 2. a) Effektiver Querschnitt bei negativem My und zum Vergleich b) nach 21 Iterationen sowie c) effektiver Querschnitt bei positivem Mz und zum Vergleich d) nach sechs Iterationen

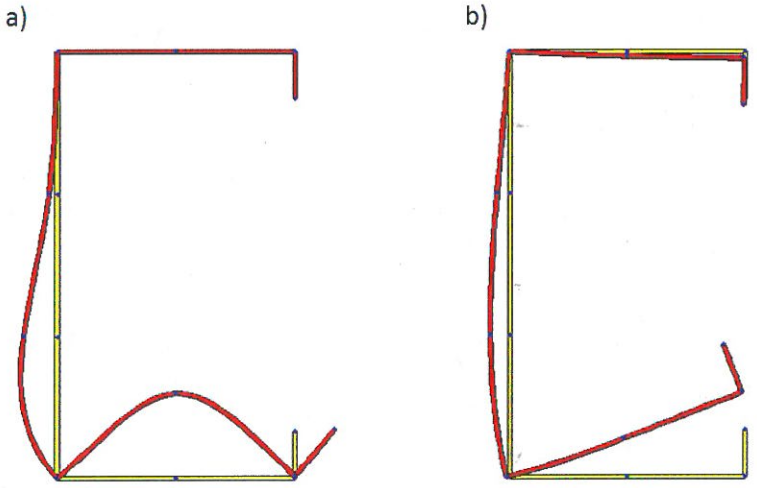

Bild 3. a) Plattenbeulen, b) Forminstabilität eines versteiften Querschnitts

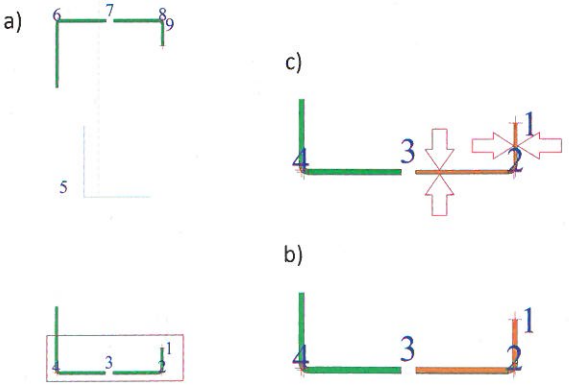

Bild 4. a) effektiver Querschnitt eines C-Profils bei zentrischem Druck nach der Methode der wirksamen Breiten, b) Ausschnitt des Untergurtes mit L-förmiger Steife, c) reduzierte Dicke der L-förmigen Steife

Da die druckbeanspruchten Steifen jedoch mit dem Gesamtprofil nicht ungehindert ausweichen können, werden diese mit einer kontinuierlichen Federlagerung angenommen. In einem ersten Schritt wird der effektive Querschnitt eines C-Profils mit der Methode der wirksamen Breiten ermittelt, um das Plattenbeulen seiner Querschnittsteile zu berücksichtigen (Bild 4a). Aus den Querschnittsteilen 1 (Randsteife), 2 (Ausrundung) und 3 (angrenzender Gurt) entsteht dabei ein L-förmiger Querschnitt (Bild 4b, orangefarbenes Element). In einer nächsten Berechnungsstufe wird der Einfluss des Knickens des L-förmigen Elements erfasst. Hierzu wird die kritische Knickspannung für das elastisch gebettete L-förmige Element ermittelt. Zum Schluss wird die Dicke des L-förmigen Elementes in Abhängigkeit des Forminstabilitäts-Abminderungsfaktors reduziert Bild 4c). Da es zwischen den beiden Stabilitätsformen Plattenbeulen und Forminstabilität eine Interaktion gibt, sollten die vorgenannten Schritte soweit wiederholt werden, bis es in den Ergebnissen keine nennenswerten Änderungen mehr gibt.

Die effektiven Querschnitte iterativ zu ermitteln, erzeugt wirtschaftliche Ergebnisse. In der praktischen Anwendung der Statik und Tragwerksplanung ist diese Berechnung jedoch sehr aufwendig.

In einem Gesamttragwerk kommen zu den lokalen Stabilitätsproblemen des Querschnitts noch die globalen Stabilitätsphänomene Biegeknicken und Biegedrillknicken hinzu. Während bei kurzen Stablängen lediglich Plattenbeulen und Forminstabilität auftreten, ist bei großen Stablängen meist globales Versagen maßgebend. Für den globalen Stabilitätsnachweis muss daher zusätzlich auf die „Allgemeinen Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ aus dem Teil 1-1 des Eurocode 3 zurückgegriffen werden.

Bei Druckbeanspruchung von nicht doppeltsymmetrischen, beulgefährdeten Querschnitten verschiebt sich der Schwerpunkt des effektiven Querschnitts relativ zum Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts (Bild 5).

Diese Schwerpunktsverschiebung muss bei der Nachweisführung durch ein zusätzliches Biegemoment am effektiven Querschnitt berücksichtigt werden.

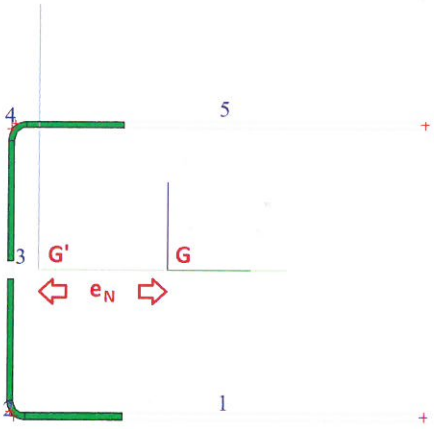

Bild 5. Schwerpunktverschiebung bei Druckbeanspruchung

Besonderheiten beim Nachweis von Aluminium Strangpressprofilen

Zusammenfassend betrachtet, müssen Aluminiumprofile, bei denen Plattenbeulen vor Erreichen der Dehngrenze im Querschnitt auftreten kann, mit effektiven Querschnittsflächen nachgewiesen werden. Diese Querschnitte werden in die Klasse 4 eingestuft. Für jede Schnittgrößenkomponente (–N, +My, ...) muss die Klassifizierung samt Berechnung des effektiven Querschnitts durchgeführt werden. Anders als bei Stahlprofilen verwendet der Eurocode 9 nicht die Methode der wirksamen Breiten, um einen Querschnitt abzumindern, sondern die Methode der wirksamen Dicken. Dabei werden Querschnittsteile, die druckbeansprucht sind, in ihren Dicken reduziert (Bild 6).

Die Klassifizierung eines Aluminiumquerschnitts ist vom Breiten-Dickenverhältnis b/t und vom Spannungsgradienten seiner druckbeanspruchten Querschnittsteile abhängig. Auch bei Aluminiumquerschnitten muss für jede Schnittgrößen-Komponente N, My (±) und Mz (±) die reduzierte Form bestimmt und seine effektiven Querschnittseigenschaften berechnet werden. Ebenso kann der Stabilitätsmodus „Forminstabilität" auftreten. Darüber hinaus muss die in der Nähe von Schweißnähten auftretende Reduktion der Festigkeitswerte berücksichtigt werden.

Zusammenfassung

Wegen der sehr aufwendigen Berechnung der effektiven Querschnittsflächen von dünnwandigen Stahl- oder Aluminiumprofilen ist der Zeitaufwand für den planenden Ingenieur sehr hoch. Eine programmtechnische Aufbereitung der Vorgaben aus den Eurocodes 3 und 9 ist daher sinnvoll. Zusätzlich werden Fehlerquellen bei ständig wiederkehrenden Berechnungen eliminiert. Beim Softwarekauf sollte man darauf achten, dass

- die Methode der wirksamen Breiten bei dünnwandigen Stahlprofilen
- die Methode der wirksamen Dicken bei Aluminiumprofilen
- der Stabilitätsmodus „Forminstabilität" bei Stahl- und Aluminiumprofilen
- Festigkeitsreduktionen in der Wärmeeinflusszone von Schweißungen bei Aluminiumprofilen

unterstützt werden.

Die SCIA Software GmbH in Dortmund ist die deutsche Vertretung von Nemetschek Scia, welche 40 Jahre Erfahrung in der Entwicklung von Statik-Programmen im Bauwesen hat. Die Statiksoftware Scia Engineer liefert die Nachweisformate für Leichtbauprofile aus Stahl und Aluminium nach Eurocode 3 und 9. Dabei wird das empfohlene iterative Verfahren für eine erhöhte Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit der Berechnung eingesetzt. Da die Leichtbau-Nachweise nahtlos in das 3D-Statikprogramm Scia Engineer eingebunden sind, wird für jede Lastfallkombination automatisch der passende effektive Querschnitt berücksichtigt. Der Anwender benötigt so für einen normgerechten Nachweis seiner Leichtbauprofile nur noch einen Mausklick.

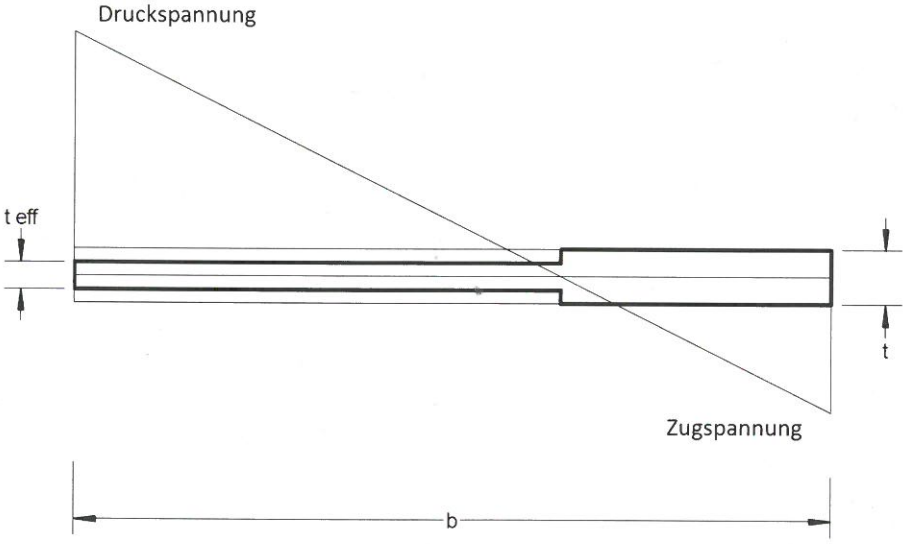

Bild 6. Reduzierte Querschnittsdicke für druckbeanspruchte Bereiche

Autor dieses Beitrages:
Dipl.-Ing. Helmut Wrede, Geschäftsführer
SCIA Software GmbH

Weitere Informationen:
www.scia-software.de