

## Tipp 17/05

### Tragwerksnachweise nach Theorie I. oder II. Ordnung für allgemeine Tragwerke 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]

Schlanke Tragwerke können, bevor die Fließspannung im Querschnitt der Bauteile erreicht wird, durch Stabilitätsversagen ihre Standsicherheit einbüßen. Dieses Stabilitätsversagen wird durch eine unvermeidliche Tragwerksverformung unter den einwirkenden Beanspruchungen hervorgerufen. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den Beanspruchungen primär um Druckbeanspruchungen und den daraus resultierenden Zusatzmomenten infolge Imperfektion und Tragwerksverformung handelt. Deshalb sind i.d.R. die Einflüsse von Imperfektionen und Tragwerksverformungen bei der Ermittlung der Schnittkräfte zu berücksichtigen. Dies geschieht entweder durch eine Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung oder durch Stabilitätsnachweise nach dem Ersatzstabverfahren. Zugbeanspruchungen wirken i.d.R. günstig und sind deshalb zu vernachlässigen. Ausgenommen hiervon sind jedoch Seiltragwerke oder ähnliche Konstruktionen, bei denen die Berücksichtigung der Verformungen zur Herstellung des Gleichgewichts in der Tragkonstruktion erforderlich ist. In diesen, nachfolgend jedoch nicht behandelten Fällen, ist eine geometrisch nichtlineare Berechnung unter Berücksichtigung großer Verformungen (Theorie III. Ordnung) angezeigt.

Entsprechend der Vorgaben aus [1], Abschnitt 5.2.1 (3) ist auch eine Tragwerksberechnung nach Theorie I. Ordnung, d.h. ohne Berücksichtigung von Imperfektionen und Tragwerksverformungen, zulässig, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten werden.

- $\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$  für die elastische Berechnung
- $\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$  für die plastische Berechnung

In diesen Gleichungen sind die folgenden Werte berücksichtigt.

- $\alpha_{cr}$  Faktor, mit dem die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden müssen, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks zu erreichen
- $F_{cr}$  ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks
- $F_{Ed}$  Bemessungslast der Einwirkungen auf das Tragwerk

Es ist zu beachten, dass mit den nach [1] verwendeten Begriffen „elastische Berechnung“ bzw. „plastische Berechnung“ eigentlich die Berechnung nach der Elastizitätstheorie bzw. der Plastizitätstheorie gemeint ist.

In der in [1] enthaltenen Anmerkung zu dem Abschnitt 5.2.1 (3) wird noch der Hinweis gegeben, dass für bestimmte Rahmentragwerke kleinere Werte für  $\alpha_{cr}$  zulässig sind, wenn diese durch genauere Ansätze begründet werden. Leider wurde im nationalen Anhang der unkonkrete Begriff „bestimmte Rahmentragwerke“ nicht weiter konkretisiert. Jedoch wird nach [3] bei der Berechnung nach der Plastizitätstheorie (plastische Berechnung) gefordert, dass das statische System unmittelbar vor Ausbildung

des letzten Fließgelenks zu Grunde zu legen ist oder es muss jedes einzelne Teilsystem der Fließgelenkkette untersucht werden. Dabei ist der Grenzwert  $\alpha_{cr} = 10$  anzunehmen. Dies entspricht dem Grenzwert für die Berechnung nach der Elastizitätstheorie (elastische Berechnung) nach [1].

Bezüglich der in [1] aufgezeigten Verfahren der Tragwerksberechnung sei hier noch auf die folgenden grundsätzlichen Aspekte hingewiesen.

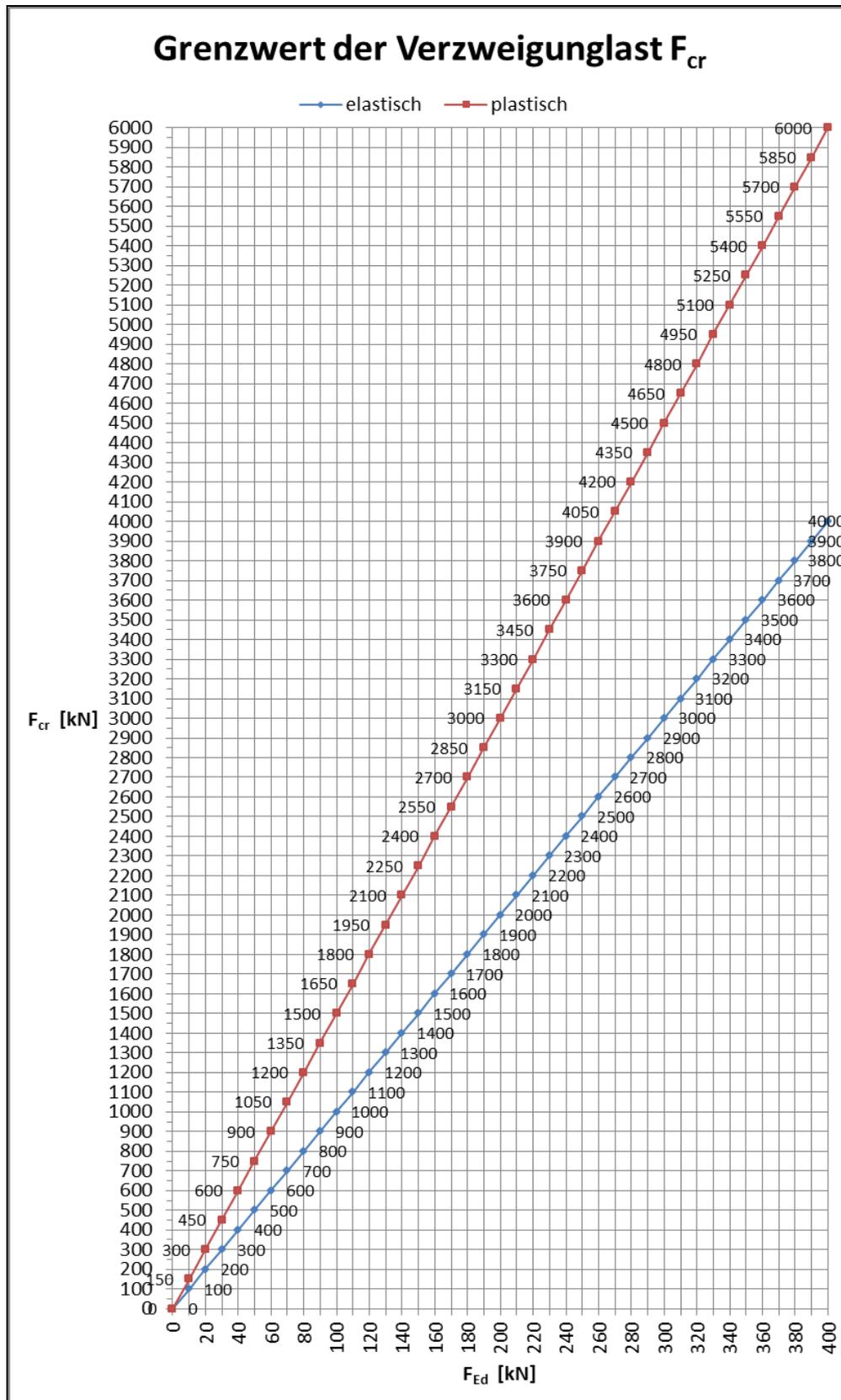
Bei der Berechnung nach Theorie I. Ordnung muss der Gleichgewichtszustand am unverformten Tragwerk erreicht werden. Die erhaltenen Ergebnisse sind i.d.R. ausreichend genau, da die Tragwerke gewöhnlich eine hohe Steifigkeit aufweisen und somit die Verformungen im Vergleich zu den Tragwerksabmessungen sehr klein sind. Das Superpositionsprinzip darf bei dieser Berechnungsmethode ohne Einschränkung angewandt werden.

Bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung ist der Gleichgewichtszustand am verformten Tragwerk zu erreichen. Somit finden Zusatzmomente und Abtriebskräfte, welche sich durch die Imperfektionen und Verformungen des Tragwerks ergeben, in der Tragwerksberechnung Berücksichtigung. Deshalb sind die erzielten Ergebnisse realitätsnäher als die Ergebnisse einer Berechnung nach Theorie I. Ordnung. Es ist jedoch zu beachten, dass die Anwendung des Superpositionsprinzips bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung nicht mehr möglich ist, wodurch sich der Berechnungsaufwand erhöht.

Eine Auswertung der obigen Gleichungen aus [1] wurde jeweils für die Bemessungslasten  $0 \leq F_{Ed} \leq 400$  kN durchgeführt. Somit kann der zu einer beliebigen Bemessungslast gehörige, jeweilige Grenzwert der Verzweigungslast  $F_{cr,grenz}$  sehr schnell ermittelt werden. Liegt die vorhandene ideale Verzweigungslast des Tragwerks über den entsprechenden Grenzwert  $F_{cr,grenz}$ , dann darf das Tragwerk nach Theorie I. Ordnung berechnet werden. Anderenfalls ist eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung zwingend erforderlich.

Bei der Anwendung der Vorgaben aus [3] für die Berechnung des Tragwerks nach der Plastizitätstheorie ist zu beachten, dass der Graph für die Berechnung nach der Plastizitätstheorie (plastisch) entfallen kann und dafür auch der Graph für die Berechnung nach der Elastizitätstheorie (elastisch) zu verwenden ist.

Mit Hilfe der graphischen Auswertung kann sehr schnell der Grenzwert der idealen Verzweigungslast des Gesamttragwerks  $F_{cr,grenz}$  ermittelt und somit die Zulässigkeit einer Berechnung des Gesamttragwerks nach Theorie I. Ordnung eingeschätzt werden.



Abschließend sein noch erwähnt, dass sich bei einem Wert  $\alpha_{cr} = 10$  (elastische Berechnung) ein Biegemomentenzuwachs vom  $\frac{M''}{M'} = 1,11$  ergibt. Dies entspricht einen ca. 10% Zuwachs und ist somit mit den Vorgaben aus [4], Element (739) nahezu identisch.

Literatur:

- |     |                            |   |
|-----|----------------------------|---|
| [1] | DIN EN 1993-1-1:2010-12    | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den<br>Hochbau   |
| [2] | DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den<br>Hochbau – 1. Änderung   |
| [3] | DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode<br>3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den<br>Hochbau |
| [4] | DIN 18800-1:2008-11        | Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion  |

## Impressum

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