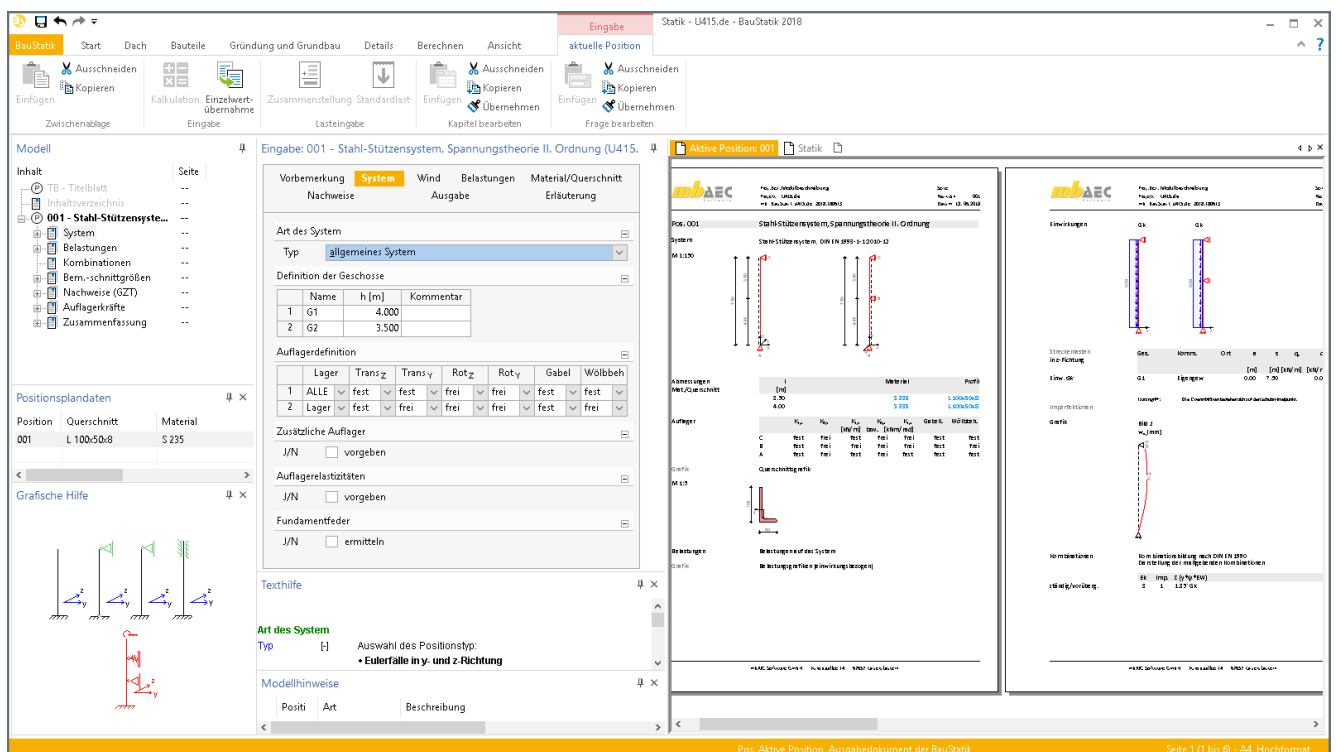


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Stahl-Stützensystem nach Spannungstheorie II. Ordnung

Leistungsbeschreibung des Moduls U415.de Stahl-Stützensystem nach Spannungstheorie II. Ordnung

Mit dem Modul U415.de werden Stabilitätsberechnungen nach DIN EN 1993-1-1 [3] Methode (a) durchgeführt. Die Schnittgrößenberechnung nach Theorie II. Ordnung erfolgt hierbei räumlich unter Ansatz von Imperfektionen und unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion. Dadurch ist es möglich, auch für unsymmetrische Querschnitte oder Stabsysteme unter Torsionsbeanspruchung Stabilitätsnachweise zu führen.



Allgemeines

Die Berechnung der Schnittgrößen kann entweder nach Theorie I. Ordnung unter Ansatz der Anfangsgeometrie oder nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Tragwerksverformungen erfolgen.

Theorie I. Ordnung ist nur dann zulässig, wenn DIN EN 1993-1-1 Gl. (5.1) [3] erfüllt ist.

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15$$

mit

α_{cr} Verzweigungslastfaktor
 F_{Ed} Bemessungswert der Einwirkung
 F_{cr} ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks

Ist Gleichung (5.1) nicht erfüllt, so ist stets eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung durchzuführen. Hierzu stehen im Eurocode 3 [4] drei Verfahren zur Verfügung, die sich nach Umfang und Art der Berücksichtigung der Tragwerksverformungen gemäß Theorie II. Ordnung unterscheiden, wobei die im Modul U415.de angebotene Methode (a) die größte Flexibilität hinsichtlich der Randbedingungen aufweist.

System

Statische Systeme

Mit dem Positionstyp wird zwischen einer allgemeinen Definition des Stützensystems und den sog. Eulerfällen unterschieden. Die Eulerfälle 1 bis 4 ermöglichen eine kompaktere Eingabe für Standardfälle. Mit der allgemeinen Definition können mehrgeschossige Stützen mit unterschiedlichen Lagerungsbedingungen je Achsrichtung definiert werden.

Bild 1. Eingabe Statisches System

Auflagerdefinitionen

An den Geschossgrenzen werden programmseitig automatisch Auflager angelegt, deren Freiheitsgrade anwenderseitig zu definieren sind. Folgende Komponenten können dabei unabhängig voneinander festgelegt werden:

- Translation in y- und z-Richtung
- Rotation um die y- und z-Achse
- Gabellager für die Rotation um die x-Achse
- Wölbbehinderung

Zwischen den Geschossgrenzen können zusätzliche Auflager definiert werden. Auch hier stehen die o.g. Freiheitsgrade zur Verfügung.

Für die Translations- und Rotationsfreiheitsgrade stehen außerdem Weg- und Drehfedern als Randbedingungen zur Verfügung.

Fundamentfeder

Zur Vereinfachung der Ermittlung des Einspanngrades der Stütze in ein Einzelfundament, ist eine automatische Ermittlung der entsprechenden Drehfederkonstanten integriert.

Eingabewerte sind hierbei die Fundamentabmessungen und der E-Modul des Bodens, wobei für erste Abschätzungen Standardwerte für unterschiedliche Gesteinsarten hinterlegt sind.

Belastungen

Eigengewicht

Das Eigengewicht der Stütze wird automatisch ermittelt.

Wind

Zur erleichternden Eingabe der Windlasten ist eine Übernahme aus dem Modul S031.de vorgesehen. Dabei wird im Modul S031.de die Lage des Bauteils im Gebäude mit Last-einzugsfläche festgelegt und automatisch die Windlast in allen vier Anströmrichtungen übergeben. Dabei werden sowohl Lastordinaten als auch die Lastanordnung direkt übertragen.

Lastabtrag

Der Lastabtrag ermöglicht die einfache Weiterleitung von Vertikallasten zwischen zwei Positionen. Hierbei werden standardmäßig durch Auswahl der lastabgebenden Position und des entsprechenden Auflagers alle Lastwerte in allen Einwirkungen übergeben. Durch vielfältige Steuerungsoptionen können u.a. der Umfang eingeschränkt, die Lasten mit Faktoren versehen oder mehrere Einwirkungen zusammengefasst werden.

Lasteingabe

Zur direkten Lasteingabe stehen an beliebiger Stelle in der Stütze folgende Lastarten zur Verfügung:

- Punktlasten (F_x, F_y, F_z)
- Momente (M_y, M_z)
- Gleich-, Block- und Trapezlasten (q_y, q_z)

Bei allen Lasten kann der Lastangriff mit einer Ausmitte versehen werden. Die hieraus resultierenden Torsionsbeanspruchungen werden bei der Schnittgrößenberechnung nach Theorie II. Ordnung und den entsprechenden Spannungsnachweisen berücksichtigt.

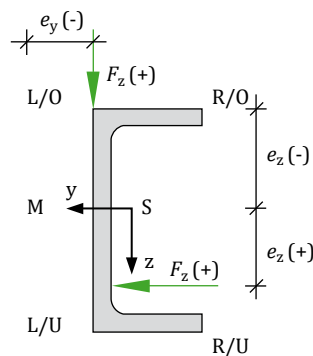


Bild 2. Lasteingabe mit Ausmitten

Material/Querschnitt

Material

Das Modul U415.de berechnet Stützen aus Stahl. Die Stahlarten nach DIN EN 1993-1-1 sind in den Stammdaten hinterlegt und können vom Modul aufgerufen werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Projekt- oder Bürostammdaten durch eigene Stahlsorten zu erweitern.

Querschnitte

Im Modul U415.de werden alle in den Stammdaten der mb WorkSuite 2018 hinterlegten Stahlprofile zur Auswahl angeboten. Neben I- und Hohlprofilen sind dies insbesondere:

- U-Profile
- Z-Profile
- L-Profile
- alle vom Anwender definierten Profile aus dem ProfilMaker, die in der Reihe „Komplex“ abgelegt sind

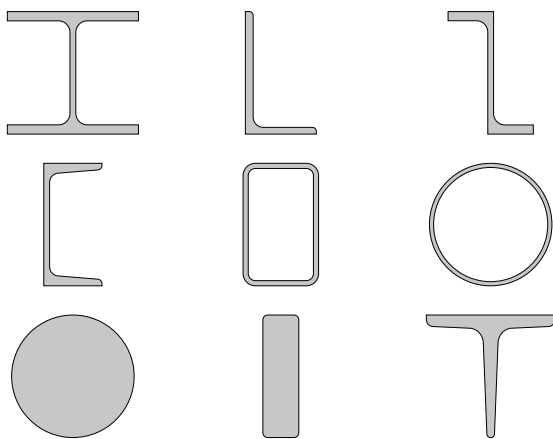


Bild 3. Normquerschnitte aus den Stammdaten

In ihrer Lage können die Profile in Schritten von 90° gedreht und an den Systemachsen gespiegelt werden.

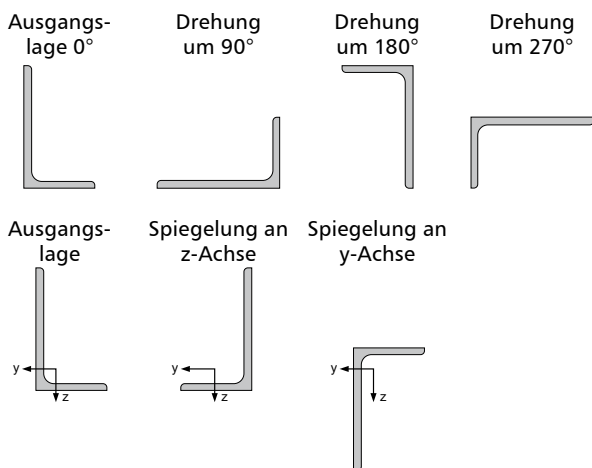


Bild 4. Drehung und Spiegelung der Querschnitte

Verfügt der Querschnitt über schiefe Hauptachsen, ist noch anzugeben, ob die schiefen Hauptachsen (frei) oder die Schwerpunktachsen (fest) für die Schnittgrößenermittlung herangezogen werden sollen.

Schnittgrößenermittlung

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt nichtlinear nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung der Imperfektionen. Abhängig von der Querschnittsform (wölbfrei, nicht-wölbfrei) können aufgrund der Imperfektionen auch Wölbmomente entstehen, die ihrerseits eine Aufteilung der Torsionsschnittgrößen in primäre und sekundäre Torsion bedingen.

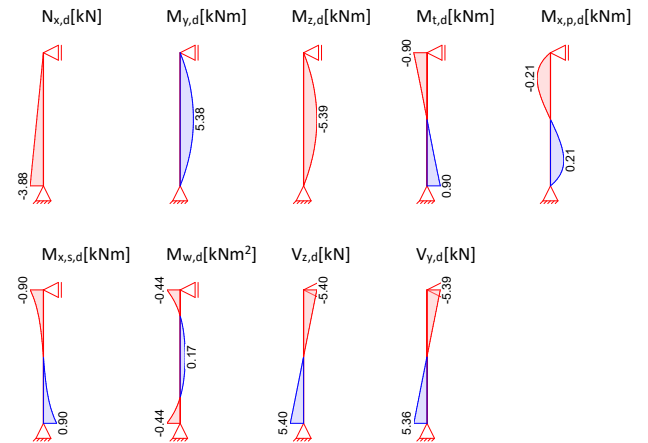


Bild 5. Schnittgrößenverläufe eines nicht-wölbfreien Querschnitts

Nachweise

Imperfektionen

Im Stahlbau werden Imperfektionen als Vorkrümmungen oder Vorverdrehungen vorgegeben. Bei der Vorkrümmung handelt es sich um die Abweichung von der Geradheit der Stabachse, bei der Vorverdrehung um die unplanmäßige Schiefstellung der Stabachse.

Im Modul U415.de werden beide Arten der Imperfektionen unabhängig voneinander vorgegeben, wobei bei gleichzeitigem Ansatz beider Vorverformungen eine Addition der Anteile erfolgt.

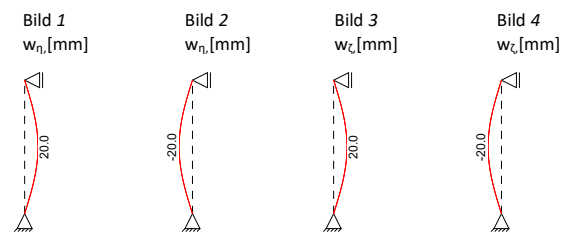


Bild 6. Imperfektionen als Vorkrümmung

Die Beträge und Verlauf der Imperfektionen können entweder automatisch nach den Regeln des EC 3 oder manuell vorgegeben werden. Die Zuordnung der Imperfektionen zu den Einwirkungskombinationen erfolgt automatisch unter der Maßgabe, dass in jeder Kombination diejenige Imperfektion angesetzt wird, die zur größten Beanspruchung des Tragwerks führt.

| Kombinationen | | Kombinationsbildung nach DIN EN 1990 Darstellung der maßgebenden Kombinationen | | |
|-------------------|----|---|--------------------------------|------------|
| | Ek | Imp. | $\Sigma (\gamma^* \psi^* E W)$ | |
| ständig/vorüberg. | 18 | 2 | 1.35*Gk | +1.50*Qk.N |
| quasi-ständig | 12 | | 1.00*Gk | +0.30*Qk.N |

Bild 7. Automatische Zuordnung der Imperfektionsfigur zur maßgebenden Kombination

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfolgt ein Spannungsnachweis für die Normal-, Schub- und Torsionsspannungen. Die Interaktion zwischen den Schnittgrößenkomponenten wird durch den Vergleichsspannungsnachweis berücksichtigt.

Nachweise (GZT) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1993

| Quersch.-klasse c/t-Verhältnis | x [m] | Ek [m] | QS- KL | vornC/t Gurt [-] | grenC/t Gurt [-] | vornC/t Steg [-] | grenC/t Steg [-] |
|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 2.00 | 18 | 1 | 4.33 | 9.00 | 23.43 | 33.00 |

für Tragfähigkeitsnachweis

Nachweis E-E Abs. 6.2 Nachweis der Biege- und Querkrafttragfähigkeit

| x [m] | Ek [m] | QS/ Pkt | N _{x,d} [kN] | M _{y,d} [kNm] | V _{y,d} [kN] | σ _d τ _d [N/mm ²] | η |
|----------|-----------|------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--|---|
| 2.00 | 18 | 1/1 | -1.94 | -27.74 | 0.00 | 135.09 | - |
| | | | | -10.98 | 0.01 | 0.00 | |

Torsion E-E Abs. 6.2 Nachweis der Tragfähigkeit einschließlich Torsion

| x [m] | Ek [m] | QS/ Pkt | σ _d τ _d [N/mm ²] | M _{x,p,d} [kNm] | M _{w,d} M _{x,s,d} [kNm] | σ _{t,d} τ _{t,d} σ _{y,d} [N/mm ²] | η |
|----------|-----------|------------|--|-----------------------------|---|--|--------|
| 2.00 | 18 | 1/1 | 135.09 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 172.00 |
| | | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.81 |
| | | | | | | 172.00 | |

v: maßgebende Ausnutzung aus Vergleichsspannung

Bild 8. Spannungsnachweis und Querschnittsklassifizierung

Der Nachweis erfolgt dabei an den maßgebenden Querschnittspunkten, die auch grafisch ausgegeben werden.

Die Sicherheit gegen lokales Beulen wird gewährleistet, indem der Querschnitt in die Querschnittsklassen 1 bis 4 eingeordnet wird. Handelt es sich hierbei um einen Querschnitt in der Querschnittsklasse 4, so bleiben die beulgefährdeten Querschnittsteile bei der Ermittlung der Querschnittswerte unberücksichtigt. Die Nachweise werden dann mit entsprechend reduzierten Querschnittswerten geführt.

Um den Stabilitätsnachweis in U415.de möglichst realitätsnah abzubilden, lassen sich zusätzliche Halterungen des Trägers bei einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung berücksichtigen. Entweder kann eine Halterung des Druckgurtes durch Trapezbleche angesetzt werden oder es lassen sich Halterungen entlang des Trägers (an verschiedenen Querschnittspunkten, getrennt nach y- und z-Richtung) und/oder eine Einspannung um die x-Achse definieren. Dabei sind punktuelle oder kontinuierliche und/oder elastische Definitionen möglich.

Stabilität

Zusätzliche Halterungen

J/N vorgeben

Art Trapezbleche allgemeine Definition

Auswahl des Trapezprofils

Bez: ARCELOR 100/275-0.75 (positiv)

Halterung des Druckgurtes durch Trapezbleche

| | | | |
|------------------|------------|---|---|
| L _q | 5.000 | m | max. Stützweite Trapezblech in Querricht. |
| L _s | 2.000 | m | Länge des Schubfeldes |
| n _F | 3 | | Anzahl der Felder |
| n _R | zweite | | Anzahl der Befestigungen |
| a _q | oben | | Ort der Befestigungen |
| K _{1,2} | Normal | | Art der Befestigungen |
| VBM | Setzbolzen | | Art der Verbindungsmittel |
| e _L | 0.250 | m | Abstand der VBM am Längsstoß |

Bild 9. Vorgabe einer seitlichen Halterung durch Trapezblech

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Gemäß DIN EN 1993-1-1, 7.2.2 ist der Grenzwert der horizontalen Verschiebung mit dem Auftraggeber abzustimmen. Es gibt keinen konkreten Grenzwert nach Norm. Der Grenzwert der Verformungen wird daher vom Anwender vorgegeben und in der gewählten Bemessungssituation nachgewiesen. Die Ermittlung der Verformungen erfolgt nach Theorie I. Ordnung ohne Berücksichtigung der Imperfektionen.

Nachweise (GZG) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach DIN EN 1993

Verformungsnachweis

| max. Verformungen | | w _x | w _y | w _z | w _{res} | w _{zul} | η |
|-------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------|
| x [m] | Ek [m] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [mm] | [-] |
| 2.00 | 12 | 0.00 | 4.88 | -0.10 | 4.88 | 13.33 | 0.37 |

Bild 10. Ausgabe des Verformungsnachweises

Ausgabe

Es wird eine vollständige und übersichtliche Ausgabe zur Verfügung gestellt. Durch die Auswahl verschiedenster Ausgabeoptionen bis hin zur De-/Aktivierung ganzer Ausgabeoptionen lässt sich der Umfang der Ausgabe den unterschiedlichsten Anforderungen flexibel anpassen.

Dipl.-Ing. Sascha Heuß
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Literatur

- [1] DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [2] DIN EN 1991-1-1: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [3] Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009. Ausgabe Dezember 2010. Beuth Verlag.
- [4] bauforumstahl e.V., Kuhlmann U., Feldmann M. Lindner J., Müller C., Stroetmann R.: Eurocode 3 – DIN EN 1993-1-1 mit Nationalem Anhang – Kommentar und Beispiele. 1. Auflage 2014. Verlag Ernst & Sohn, Beuth Verlag.

Preise und Angebote

U415.de Stahl-Stützensystem nach Spannungstheorie II. Ordnung **990,- EUR**
Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgekosten-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Juli 2018

Unterstützte Betriebssysteme: Windows 7 (64) / Windows 8 (64) / Windows 10 (64)

Preisliste: www.mbaec.de