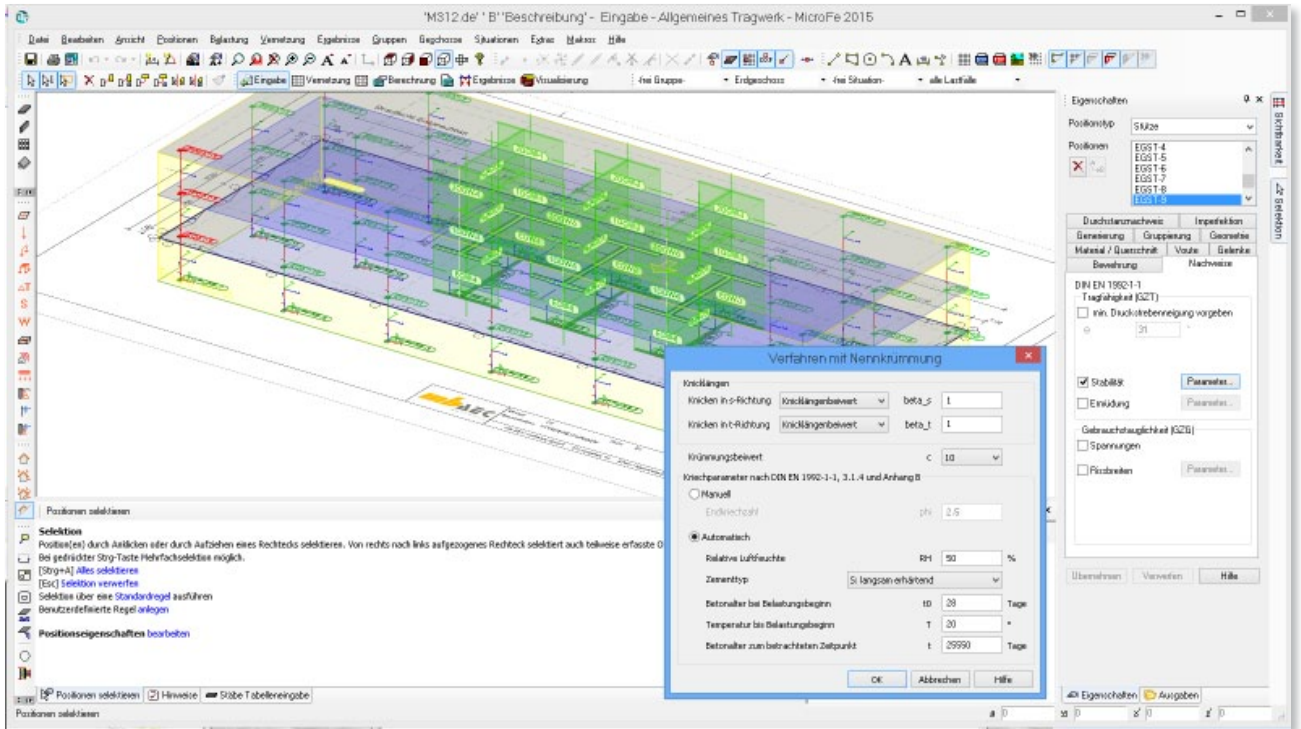


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

Verfahren mit Nennkrümmung

Leistungsbeschreibung des MicroFe-Moduls M312.de Stahlbeton-Stützenbemessung, Verfahren mit Nennkrümmung - DIN EN 1992-1-1

Einzelstützen mit definierter Knicklänge und konstanter Normalkraft sind im Geschossbau die Regel. Überschreiten sie die Grenزشlankheit nach DIN EN 1992-1-1, 5.8.3.1 so ist eine Bemessung nach Theorie II. Ordnung erforderlich. Mit dem Modul M312.de wird das bewährte Verfahren mit Nennkrümmung (früher: „Modellstützenverfahren“) in MicroFe integriert und die gleichzeitige Bemessung aller Stützen in einem Zug ermöglicht.



Modellierung

Voraussetzung für die Anwendung des Moduls M312.de ist die Nutzung des „Allgemeinen Tragwerks“. Die Stahlbeton-Stützen und Stahlbeton-Stäbe werden mit dem Modul M312.de um das Verfahren mit Nennkrümmung erweitert. Der Nachweis bzw. die Bemessung der Stützen nach dem Nennkrümmungsverfahren wird aktiviert, indem in den Positionseigenschaften die Stabilitätsnachweise ausgewählt werden. Die Nachweissteuerung wird über die Schaltfläche „Parameter“ aufgerufen. Dort sind die Knicklängen, der Krümmungsbeiwert und die Endkriechzahl festzulegen. Bei der Kriechzahl bestehen die Möglichkeiten der manuellen Vorgabe oder der automatischen Berechnung unter Vorgabe der Kriechparameter.

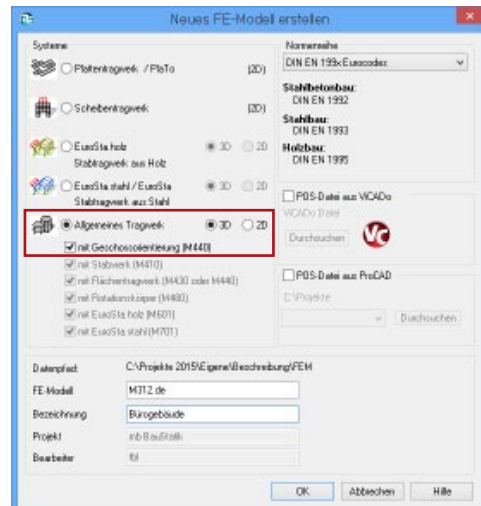


Bild 1. Dialog „Neues FE-Modell erstellen“

Berechnungsgrundlagen

Grenzwert der Schlankheit für Einzeldruckglieder

Auswirkungen nach Theorie II. Ordnung dürfen vernachlässigt werden, wenn die Schlankheit der Stütze kleiner als die Grenzschlankheit λ_{lim} ist.

$$\lambda \leq \lambda_{lim} = \begin{cases} 25 & \text{für } |n| \geq 0,41 \\ 16/\sqrt{|n|} & \text{für } |n| < 0,41 \end{cases}$$

mit

λ Schlankheit $\lambda = \frac{l_0}{i}$

l_0 Knicklänge der Stütze

i Trägheitsradius

$$i = \sqrt{I/A}$$

n bezogene Normalkraft

$$n = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd})$$

Das Modul M312.de prüft diese Bedingung vor der Bemessung der Stütze und berechnet nur im Falle einer Überschreitung Zusatzmomente infolge Theorie II. Ordnung. Liegt die Schlankheit der Stütze unter der Grenzschlankheit, wird mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung bemessen.

Nachweis der Knicksicherheit (DIN EN 1992-1-1, 5.8.8)						
Verfahren mit Nennkrümmung getrennt für s- und t-Richtung						
Schlankheiten	Lkn	Achse	l_0 [m]	i [cm]	λ	λ_{lim}
	1	s	3.00	14.43	20.78	35.48
	1	t	3.00	14.43	20.78	35.48

Die Knicknachweise in s- und t-Richtung sind nicht erforderlich.

Bild 2. Überprüfung des Schlankheitskriteriums

Ausmitte aus Imperfektionen

Die Ermittlung der Imperfektionen erfolgt automatisch nach DIN EN 1992-1-1 [1], 5.2(7) a) als Lastausmitte zu:

$$e_i = \theta_i \cdot l_0/2$$

mit

θ_i Schiefstellung

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

θ_0 Grundwert

$$\theta_0 = 1/200$$

α_h Abminderungsbeiwert für die Höhe

$$0 \leq \alpha_h = 2/\sqrt{l} \leq 1$$

l Länge der Stütze [m]

α_m Abminderungsbeiwert für die Anzahl der Stützen

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot (1 + 1/m)}$$

Im Modul M312.de werden die Ausmitten für beide Richtungen automatisch ermittelt, wobei der Abminderungsbeiwert $\alpha_m = 1$ angenommen wird.

Imperfektionen	α_h	$1/\theta_{it}$ [1/rad]	$1/\theta_{is}$ [1/rad]	e_{it} [cm]	e_{is} [cm]
	0.89	223.61	223.61	1.12	1.12

Bild 3. Ausgabebeispiel Ausmitten aus Imperfektionen

Ausmitte nach Theorie II. Ordnung

Die Ausmitte nach Theorie II. Ordnung berechnet sich zu:

$$e_2 = K_1 \cdot \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \frac{l_0^2}{c}$$

mit

K_1 Interpolierender Faktor für Druckglieder mit Schlankheit $25 \leq \lambda \leq 35$

$$K_1 = \lambda/10 - 2,5$$

$\left(\frac{1}{r}\right)$ Krümmung

c Krümmungsbeiwert

Exkurs: Hintergrund und Empfehlung für die Wahl des Krümmungsbeiwertes c

Die Momentenanteile nach Theorie II. Ordnung werden im Verfahren mit Nennkrümmungen anhand einer Modellstütze ermittelt. Hierbei handelt es sich um eine Kragstütze.

Es gilt:

$$M_2 = e_2 \cdot N_{Ed}$$

mit

e_2 Kopfverformung der Stütze nach Theorie II. Ordnung

N_{Ed} Normalkraft am Stützenkopf

Die Verschiebung e_2 am Stützenkopf berechnet sich zu

$$e_2 = \int \left(\frac{1}{r}\right) \cdot \bar{M} ds$$

mit

$\left(\frac{1}{r}\right)$ Verlauf der Krümmung

\bar{M} Momentenverlauf infolge '1'-Last am Stützenkopf

Der Verlauf des Momentes ist dreiecksförmig, die Maximale Ordinate am Stützenfuß ist $\bar{M} = '1' \cdot l$.

Nimmt man für den Verlauf der Krümmung einen rechteckigen Verlauf an, erhält man für den Betrag der Verschiebung am Kopf durch Koppeln der beiden Verläufe:

$$e_2 = \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{1}{r}\right) \cdot l$$

mit $l = \frac{l_0}{2}$ erhält man:

$$e_2 = \frac{l_0^2}{8} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)$$

Bei einem angenommen dreieckigen Verlauf der Krümmungen ergibt sich:

$$e_2 = \frac{l}{3} \cdot \left(\frac{1}{r}\right) \cdot l \text{ bzw. } e_2 = \frac{l_0^2}{12} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)$$

Geht man näherungsweise von einem sinusförmigen Verlauf der Krümmungen aus erhält man:

$$e_2 = \frac{l_0^2}{\pi^2} \cdot \left(\frac{1}{r}\right) \approx \frac{l_0^2}{10} \cdot \left(\frac{1}{r}\right)$$

Die jeweilige Zahl im Nenner der Gleichung für e_2 (hier 8, 10 und 12) entspricht dem Krümmungsbeiwert c .

D.h. die Wahl eines Krümmungsbeiwertes hängt vom angenommenen Verlauf der Krümmung ab. Der Wert $c = 8$ liegt in allen Fällen auf der sicheren Seite und ist stets anzuwenden, wenn auch der Momentenverlauf konstant über die Stablänge ist. In allen anderen Fällen ist der in älteren Normen stets verwendete Beiwert von $c = 10$ eine gute Näherung.



Die mb AEC Software GmbH ist ein etabliertes Unternehmen der Bausoftwarebranche mit Sitz am Technologiestandort Kaiserslautern. Architekten und Ingenieure entwickeln gemeinsam mit Software-Spezialisten komplette Software-Lösungen für CAD, Positionsstatik und Finite Elemente. Tragwerksplaner und Architekten aus dem gesamten Bundesgebiet und deutschsprachigen Ausland schätzen uns als kompetenten Softwarehersteller im Bereich Bauwesen.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt eine/n engagierte/n Mitarbeiter/in für den Bereich:

Hotline

Ihr Profil:

- abgeschlossenes Studium im Bereich Bauingenieurwesen
- Berufserfahrung in der Tragwerksplanung, idealerweise mit mb-Software
- Freude am ständigen Lernen sowie dem Umgang mit Software
- fundierte Erfahrungen in der Anwendung von Software
- sichere und zielführende Kommunikation am Telefon

Ihre Aufgabe:

Sie arbeiten in der Kunden-Hotline der mb AEC Software GmbH. Dabei haben Sie ein offenes Ohr für die spezifischen Anforderungen und Probleme der Anwender und lösen diese schnell und unkompliziert. Innerhalb des gesamten Teams tauschen Sie Ihre Erfahrungen mit Kollegen verschiedener Abteilungen aus und leisten so einen wichtigen Beitrag zu Qualität und Kundenzufriedenheit.

Neben einwandfreien Umgangsformen erwarten wir Leistungsbereitschaft, eigenverantwortliches Handeln und Teamfähigkeit.

Freuen Sie sich auf ein spannendes Aufgabengebiet in einem aufstrebenden, innovativen Unternehmen. Es erwarten Sie ein offenes, von Teamgeist und Erfolgsorientierung geprägtes Arbeitsklima sowie ein auf langfristige Zusammenarbeit angelegter Arbeitsplatz mit attraktiven Konditionen.

Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung sowie eines möglichen Eintrittstermins richten Sie bitte an:

mb AEC Software GmbH · Personalabteilung
 Europaallee 14 · 67657 Kaiserslautern · personal@mbaec.de

Ermittlung der Krümmung

Der Maximalwert der Krümmung errechnet sich nach DIN EN 1992-1-1 [1], Gl. (5.34) zu:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = K_r \cdot K_\varphi \cdot \left(\frac{1}{r}\right)_0$$

mit

$$\left(\frac{1}{r}\right)_0 \quad \text{Krümmung bei maximaler Biegetragfähigkeit}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_0 = \frac{2 \cdot \epsilon_{yd}}{0,9 \cdot d}$$

K_r Beiwert zur Berücksichtigung der Normalkraft

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - 0,4}$$

mit

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$n_u = 1 + \omega$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

K_φ Beiwert zur Berücksichtigung des Kriechens

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1$$

mit

φ_{ef} Effektive Kriechzahl nach EC 2, 5.8.4

$$\beta = 0,35 + f_{ck}/200 - \lambda/150$$

Wie aus dem Berechnungsansatz hervorgeht, hängt die Krümmung von der Querschnittsfläche der Bewehrung ab. Aus der Krümmung lässt sich das Bemessungsmoment ableiten, welches wiederum Grundlage für die Querschnittsbemessung ist. D.h. für die Bestimmung der Krümmung ist eine iterative Berechnung erforderlich, die programmseitig automatisch durchgeführt wird.

Kriechen	Engkriechzahl	Beiwert	Krümmungsbeiwert	$\varphi = 2,84$	$\beta_1 = 0,090$	$\beta_2 = 0,090$	$c = 10$
Theorie II. Ordnung	K_{r1}	$K_{\varphi 1}$	K_{r2}	$1/r_s$	e_{21}		
	0,31	1,26	1,00	[0,001/m]	7,63	[cm]	1,91
	K_{r2}	$K_{\varphi 2}$	K_{r3}	$1/r_t$	e_{22}		
	0,31	1,26	1,00	[0,001/m]	7,63	[cm]	1,91

Bild 4. Beispielausgabe Ausmitten Theorie II. Ordnung

Bemessungsmoment nach Nennkrümmungsverfahren

Nach DIN EN 1992-1-1 [1], 5.8.8.2 errechnet sich das Bemessungsmoment nach Theorie II. Ordnung zu:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2$$

mit

M_{0Ed} Moment nach Theorie I. Ordnung, einschließlich der Auswirkungen aus Imperfektionen

$$M_{0Ed} = M_0 + e_i \cdot N_{Ed}$$

M_0 Moment nach Theorie I. Ordnung

M_2 Nennmoment nach Theorie I. Ordnung

$$M_2 = e_2 \cdot N_{Ed}$$

Bem.-Schnittgrößen	Lkn	r	Achse	M_{0Ed}	M_2	M_{Ed}
	1	5,00	s	15,45	-26,36	41,81
	1	5,00	t	-15,45	-26,36	-41,81

Bemessung	Lkn	r	N_{Ed}	M_{Eds}	M_{Edt}	$A_{s, tot}$
	1	5,00	-1381,82	41,81	-41,81	11,69

Bild 5. Aufbereitung der Schnittgrößen und Bemessung

Querschnittsbemessung

Die Bemessung erfolgt nach DIN EN 1992-1-1[1], 5.8.9(2) für beide Achsrichtungen getrennt, wobei stets von einer symmetrischen Bewehrungsanordnung auszugehen ist. Der Ermittlung der Krümmung $(1/r)_0$ liegt die Annahme eines symmetrisch bewehrten Querschnitts zugrunde.

Dieses Vorgehen ist nur zulässig, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Annähernd gleiche Schlankheitsverhältnisse in beiden Achsrichtungen
 $\lambda_y/\lambda_z \leq 2$ und $\lambda_z/\lambda_y \leq 2$
- Der Lastangriffspunkt von N_{Ed} muss innerhalb der schraffierten Fläche liegen

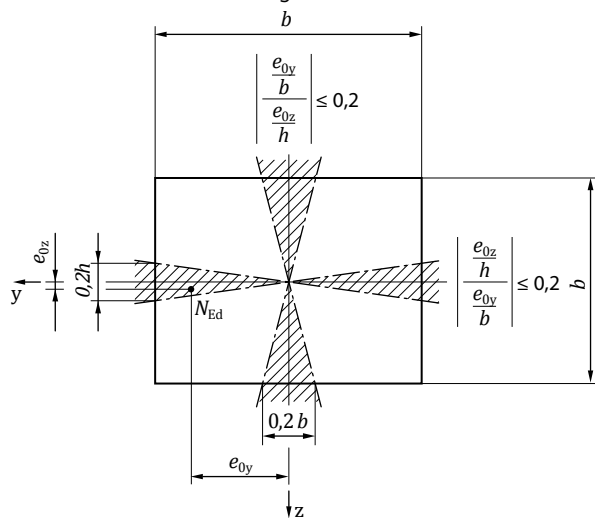


Bild 6. Nachweisgrenzen für Druckglieder mit zweiachsiger Ausmitte

Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, ist eine Bemessung nach dem Nennkrümmungsverfahren bei zweiachsiger Lastausmitte nicht möglich.

Beide Bedingungen werden programmseits geprüft und nur in zulässigen Fällen eine Bemessung durchgeführt.

Zusammenfassung

Mit dem Modul M312.de liegt eine wichtige Ergänzung zur Bemessung von baupraktisch relevanten Stützentypen vor. Der zusätzliche Eingabeaufwand zum Aktivieren der Nachweise geht gegen Null, da die meisten Angaben (Material, Querschnitt, Stützenabmessungen, Gelenke etc.) ohnehin für die Schnittgrößenermittlung erforderlich sind. Das Verfahren nach DIN 1992-1-1[1], 5.8.8. ist vollständig implementiert und wird in einer gut nachvollziehbaren Ausgabe unter Verwendung der Parameterbezeichnungen aus der Norm umgesetzt.

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

Literatur

- [1] DIN EN 1992-1-1:2011-01, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [2] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, Eurocode 2: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.
- [3] Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K.: Eurocode 2 für Deutschland – DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau mit Nationalem Anhang, Kommentierte Fassung. Berlin: Ernst & Sohn; Beuth, 2012.
- [4] DAfStb-Heft 600 - Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2). 1. Auflage, Ausgabe 2012.



mb-Tutorials

MicroFe-Videos

Diese und weitere Leistungsbeschreibungen und Videos finden Sie unter:
www.mbaec.de/tutorials



Aktuelle Angebote

M312.de **Stahlbeton-Stützenbemessung, Verfahren mit Nennkrümmung- EC 2, DIN EN 1992-1-1:2011-01** **390,- EUR**

Leistungsbeschreibung siehe nebenstehenden Fachartikel

MicroFe 2014 comfort **3.990,- EUR**
 MicroFe-Paket „Platten + räumliche Systeme“

PlaTo 2014 **1.490,- EUR**
 MicroFe-Paket „Platten“

Es gelten unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen. Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Alle Preise zzgl. Versandkosten und MwSt. – Hardlock für Einzelplatzlizenz je Arbeitsplatz erforderlich (95,- EUR). Folgelizenz-/Netzwerkbedingungen auf Anfrage. – Stand: Januar 2014

Unterstützte Betriebssysteme:
 Windows Vista (32/64), SP2 / Windows 7 (32/64) / Windows 8 (32/64) / Windows 8.1 (32/64)

Preisliste siehe: www.mbaec.de