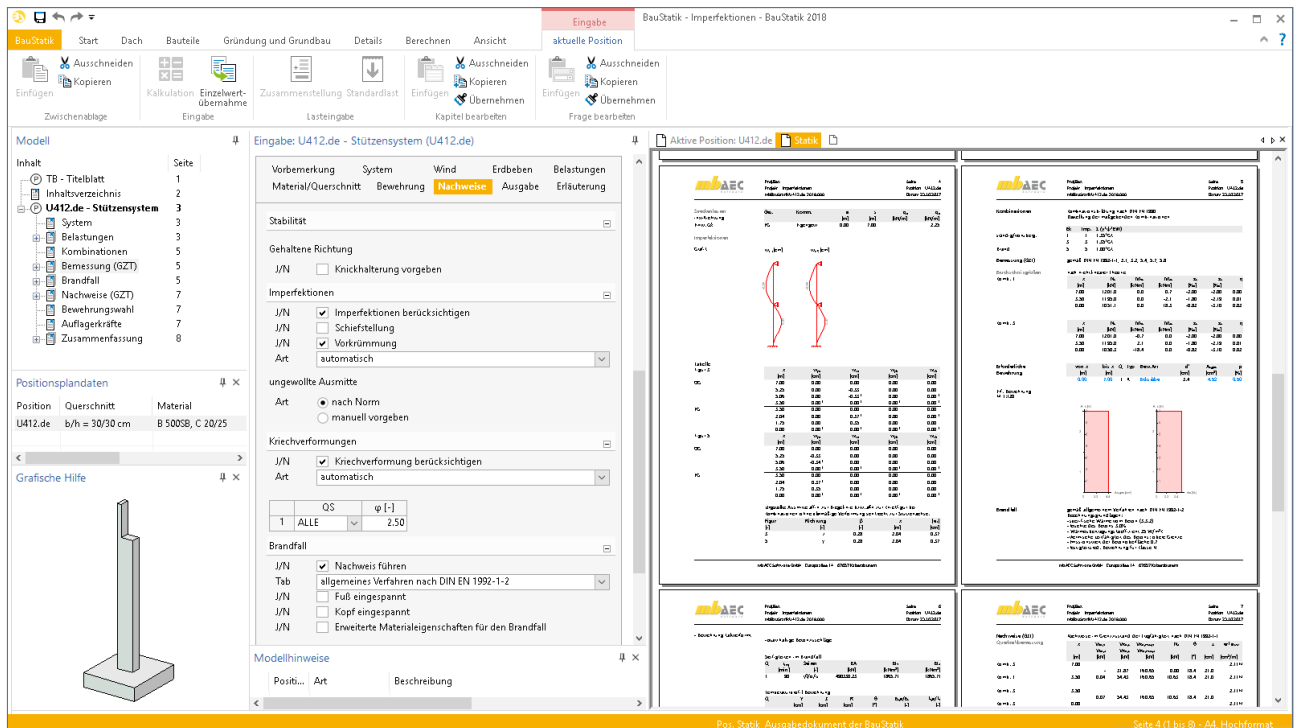


Dipl.-Ing. Sascha Heuß

# Imperfektionen in der BauStatik

## Berechnungsgrundlagen der Stützen-, Träger- und Rahmenmodule

Bei der Schnittgrößenberechnung nach Theorie II. Ordnung von Bauteilen und Tragwerken sind die ungünstigen Auswirkungen möglicher Abweichungen von der Tragwerksgeometrie und in der Laststellung durch den Ansatz von Imperfektionen zu erfassen. Der folgende Artikel beschreibt die Anwendung und die Berechnungsgrundlagen der Imperfektionsansätze der BauStatik.



## Grundlagen

### Allgemeines

Im allgemeinen Hochbau ist es üblich, die Abweichungen in der Tragwerksgeometrie und in der Laststellung durch Imperfektionen zu berücksichtigen. In der Regel unterscheidet man Schiefstellungen und Vorkrümmungen, die abhängig vom Anwendungsfall angesetzt werden. Imperfektionen müssen in ungünstiger Richtung angesetzt werden. Bei räumlichen Systemen erfolgt der Ansatz in nur einer Richtung.

### Schiefstellungen

Hierbei handelt es sich um Abweichungen der tatsächlichen Lage der Stabachse von der Solllage. Im Allgemeinen sind Schiefstellungen bei aussteifenden Bauteilen wie Kernen, Kragstützen oder Rahmen zu berücksichtigen.

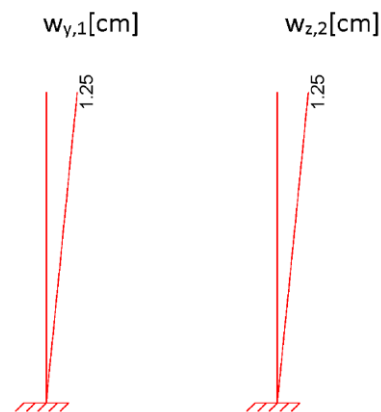


Bild 1. Schiefstellung erzeugt mit Modul U412.de

### Vorkrümmungen

Bei Vorkrümmungen handelt es sich um Abweichungen von der Geradheit der Stabachse. Vorkrümmungen spielen vor allem beim Nachweis ausgesteifter Bauteile eine Rolle. Vorkrümmungen können in der Regel affin zur Knickfigur angenommen werden. Das heißt der Knickstab weist an der Stelle der größten Knickverformung den Größtwert der Vorkrümmung auf [10].

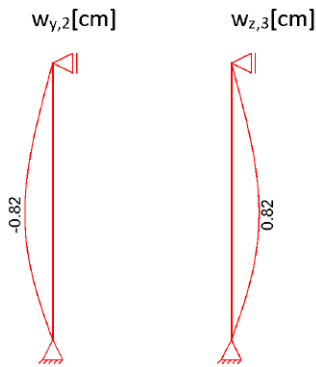


Bild 2. Vorkrümmungen einer Pendelstütze

### Stahlbetonbau nach DIN EN 1992-1-1

#### Normative Regelungen

Der Betrag der Ausmitte wird in Abhängigkeit von der Knicklänge  $l_0$  ermittelt.

Die Schiefstellung berechnet sich zu:

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

mit

$$\theta_0 \quad \text{Grundwert: } \theta_0 = \frac{1}{200}$$

$$\alpha_h \quad \text{Abminderungsbeiwert für die Höhe}$$

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

$$\alpha_m \quad \text{Abminderungsbeiwert für die Anzahl der Bauteile } \alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot (1 + 1/m)}$$

$$m \quad \text{Anzahl der vertikalen Bauteile, die mindestens 70\% der mittleren Längskraft aufnehmen}$$

$$l \quad \text{Stablänge bzw. Gebäudehöhe in [m]}$$

Damit ergibt sich eine Lastausmitte für die Schiefstellung und Vorkrümmung von:

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2}$$

mit

$$l_0 \quad \text{Knicklänge der Stütze [m]}$$

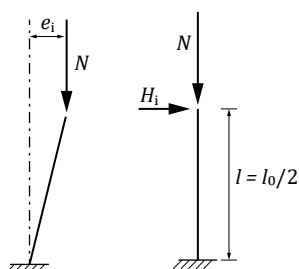


Bild 3. Schiefstellung nach Eurocode 2

### Umsetzung in der BauStatik

Folgende Module verfügen über die Möglichkeit Imperfektionen in der Berechnung zu berücksichtigen.

- U403.de Stahlbeton-Stütze mit Heißbemessung (Krag- und Pendelstütze) - EC 2
- S411.de Stahlbeton-Stützensystem - EC 2
- U412.de Stahlbeton-Stützensystem mit Heißbemessung (Krag-, Pendel-, allg. Stützen) - EC 2
- U632.de Stahlbeton-Aussteifungsrahmen - EC 2

Am Beispiel des Moduls U412.de wird das Vorgehen erläutert. Die Festlegungen gelten für die anderen Module sinngemäß.

Die Eingaben zu den Imperfektionen erfolgen im Kapitel „Nachweise“.

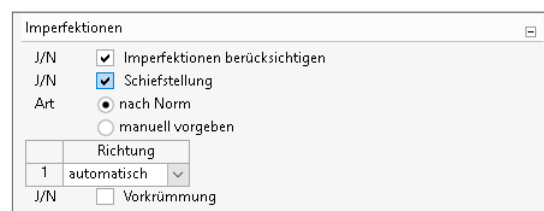


Bild 4. Kapitel „Nachweise“ mit Eingabe der Imperfektionen

Zunächst ist zwischen Schiefstellung und Vorkrümmung zu wählen. Grundsätzlich können auch beide Optionen berücksichtigt werden, dies ist im Massivbau jedoch in der Regel nicht erforderlich.

In der Option „Schiefstellung“ wird die gesamte Stützenachse horizontal am Kopf ausgelenkt. Der Schiefstellungswinkel  $\theta_i$  kann entweder wie oben beschrieben „Nach Norm“ programmseitig ermittelt werden, oder manuell vorgegeben werden. Zur Berechnung des Abminderungsfaktors  $\alpha_h$  wird die gesamte Stützenlänge  $l$  herangezogen.

In der Option „Vorkrümmung“ gibt es vier Möglichkeiten die Form der Vorverformung festzulegen:

- automatisch
- affin zur Knickbiegeline
- affin zur Biegelinie
- Verlauf manuell vorgeben

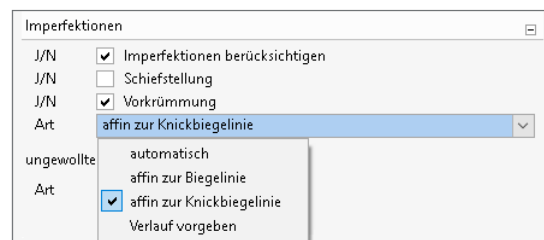


Bild 5. Auswahl der Form der Vorverformungen

Der Standardfall ist „affin zur Knickbiegeline“. Sollten die Horizontallasten gegenüber den Vertikallasten verhältnismäßig groß sein, kann es auch sinnvoll sein, die Vorverformung „affin zur Biegelinie“ anzusetzen. Ist hier „automatisch“ ausgewählt, ermittelt das Programm den ungünstigeren Wert aus „affin zur Knickbiegeline“ und

„affin zur Biegelinie“. Freie Imperfektionsfiguren können mit „Verlauf manuell vorgeben“ definiert werden. Hierbei werden Stützstellen, die den Verlauf der Vorverformungsfigur kennzeichnen, entlang der Stabachse vorgegeben.

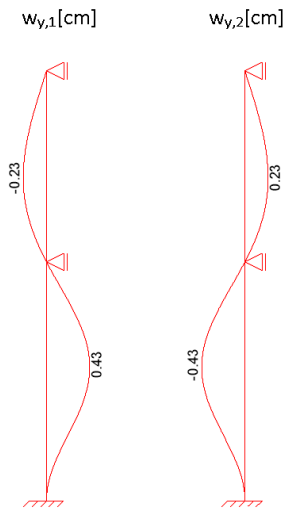


Bild 6. Vorverformungen affin zur Knickbiegeline

Für die Ermittlung des Betrages der maximalen Ausmitte gelten die gleichen Festlegungen wie in der Option „Schiefstellung“.

### Stahlbau nach DIN EN 1993-1-1

#### Normative Regelungen

Der Betrag der Ausmitte wird in Abhängigkeit von der Stablänge  $l$  und der Knickspannungslinie ermittelt.

Die Schiefstellung berechnet sich wie im Massivbau zu:

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

mit

$$\alpha_h = \begin{cases} \text{Abminderungsbeiwert für die Höhe} \\ \frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{l}} \leq 1 \end{cases}$$

alle anderen Parameter siehe Massivbau

Die Lastausmitte für die Schiefstellung ergibt sich zu:

$$e_i = \theta_i \cdot l$$

mit

$$l \quad \text{Stablänge [m]}$$

Die Vorkrümmungen werden in Abhängigkeit von der Knicklinie bestimmt.

Knicklinie nach Tabelle 6.2	elastische Berechnung $e_{0,d}/L$	plastische Berechnung $e_{0,d}/L$
a <sub>0</sub>	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Tabelle 1. Vorkrümmungen gemäß Tabelle 5.1, DIN EN 1993-1-1 [4]

### Umsetzung in der BauStatik

Folgende Module verfügen über die Möglichkeit Imperfektionen in der Berechnung zu berücksichtigen.

- S414.de Stahl-Stützensystem - EC 3
- S601.de Stahl-Stabwerk, ebene Systeme - EC 3
- S630.de Stahl-Rahmensystem - EC 3

Handhabung und Anwendung in den Stahlbaumodulen entsprechen dem Vorgehen im Massivbau. Der Unterschied liegt in den Berechnungsgrundlagen.

Im Stahlbau werden die anzusetzenden Vorkrümmungen immer auf die wahre Stablänge bezogen, im Massivbau auf die Knicklänge. Beim Abminderungsfaktor  $\alpha_h$  liegt im Stahlbau der untere Grenzwert bei 2/3 im Massivbau bei 0.

Nr. 1

Nr. 2

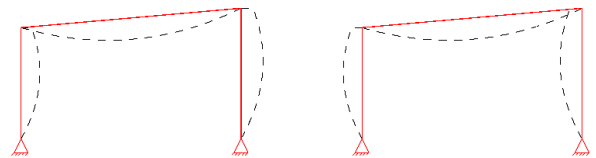


Bild 7. Pultdachrahmen mit Schiefstellung und Vorkrümmung

### Holzbau nach DIN EN 1995-1-1

#### Normative Regelungen

Der Betrag der Ausmitte wird in Abhängigkeit von der Stablänge  $l$  ermittelt.

Die Schiefstellung berechnet sich zu:

$$h \leq 5m \quad \theta = \frac{1}{200}$$

$$h > 5m \quad \theta = \frac{\sqrt{5/h}}{200}$$

mit

$$h \quad \text{Stablänge bzw. Höhe des Tragwerks in [m]}$$

Die Lastausmitte für die Schiefstellung ergibt sich zu:

$$e_i = \theta \cdot h$$

Die Vorkrümmungen werden angenommen zu:

$$e = \frac{l}{400}$$

mit

$$l \quad \text{Stablänge [m]}$$

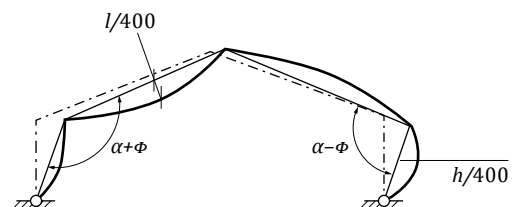


Bild 8. Imperfektionen im Holzbau nach EC 5

**Umsetzung in der BauStatik**

Folgende Module verfügen über die Möglichkeit Imperfektionen in der Berechnung zu berücksichtigen:

- S410.de Holz-Stützensystem - EC 5
- S602.de Holz-Stabwerk, ebene Systeme - EC 5

Auch hier ist das Vorgehen analog zum Massivbau, wobei die abweichenden Regeln des Holzbaus berücksichtigt werden.

**Ausgabe und Dokumentation**

**Tabellarische und Grafische Ausgabe**

Die Ausgabe der Imperfektionsfiguren kann tabellarisch und/oder Grafisch erfolgen. Die Dokumentation erfolgt stets an letzter Stelle im Kapitel „Belastungen“. Im Ausgabeumfang wird zwischen „maßgebende“ und „alle“ unterschieden. Als „maßgebende“ werden die Imperfektionsfiguren festgelegt, die zu maßgebenden Kombinationen gehören.

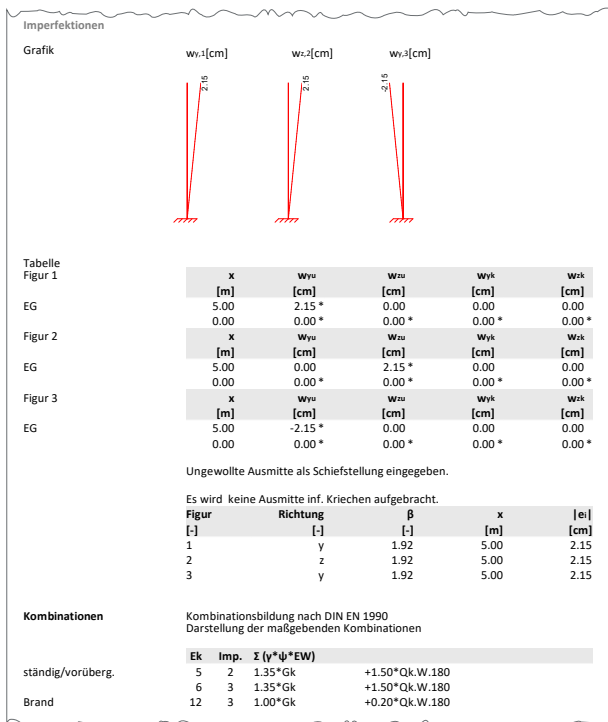


Bild 9. Beispielausgabe der Imperfektionen in Modul U412.de

**Kombinatorik**

Jeder Kombination wird die ungünstigste aller generierten Imperfektionsfiguren zugeordnet. Die Figuren haben eindeutige Nummern und können über die Spalte „Imp.“ in der Kombinationstabelle identifiziert werden.

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; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010
- [2] DIN EN 1992-1-1/A1:2015-03: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- [3] DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [4] DIN EN 1993-1-1:2010-12: 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
- [5] DIN 1993-1-1/A1: 2014-07: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005/A1:2014
- [6] DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [7] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008
- [8] DIN EN 1995-1-1/A2: 2014-07: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004/A2:2014
- [9] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [10] Leonhardt, F.: Vorlesungen über Massivbau, Teil 1 – Grundlagen zur Bemessung im Stahlbetonbau. Seite 316f, Berlin, Springer-Verlag, 3. Auflage 1984

**! Aktuelle Angebote**

<b>BauStatik compact</b> bestehend aus über 20 BauStatik-Modulen	<b>999,- EUR</b>
<b>BauStatik classic</b> bestehend aus über 50 BauStatik-Modulen	<b>3.499,- EUR</b>
<b>BauStatik comfort</b> bestehend aus über 80 BauStatik-Modulen	<b>5.499,- EUR</b>

Paketinhalte siehe [www.mbaec.de](http://www.mbaec.de)

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: November 2017  
 Unterstütztes Betriebssystem: Windows 10 (64)