

# Schubfeldsteifigkeit ST13 - Berechnungsgrundlagen

## Inhaltsverzeichnis

|                                         |   |
|-----------------------------------------|---|
| Allgemeines                             | 2 |
| Behinderung der seitlichen Verschiebung | 2 |
| Behinderung der Verdrehung              | 4 |

## Grundlegende Dokumentationen - Übersicht

Neben den einzelnen Programmhandbüchern (Manuals) finden Sie grundlegende Erläuterungen zur Bedienung der Programme auf unserer Homepage [www.friilo.eu](http://www.friilo.eu) im Downloadbereich (Handbücher).

*Tipp: Zurück - z.B. nach einem Link auf ein anderes Kapitel/Dokument – geht es im PDF mit der Tastenkombination „ALT“ + „Richtungstaste links“*

## FAQ - Frequently asked questions

Häufig auftretende Fragen zu unseren Programmen haben wir auf unserer Homepage im Bereich

► Service ► Support ► [FAQ](#) beantwortet.

## Allgemeines

Stabilitätsgefährdete Biegeträger sind gegen seitliches Verschieben und Verdrehen zu sichern. Auf der einen Seite besteht die Möglichkeit, eine ausreichende Behinderung der seitlichen Verschiebung sowie eine ausreichende Behinderung der Verdrehung nachzuweisen, so dass keine weiteren Stabilitätsuntersuchungen notwendig sind. Anstelle dieses Nachweises kann auch die wirksame Schubbettung  $S_i$  bzw. der wirksamen Translationsbettung  $c_y$  und die wirksame Drehbettung  $c_\phi$  bei der Ermittlung von  $M_{kiy}$  berücksichtigt werden. Der Nachweis der Stabilität erfolgt dann entsprechend der normativen Vorschriften.

Diesen Weg geht das Berechnungsmodul für Biegedrillknicken BTII+ in konsequenter Weise. In BTII+ können die entsprechenden Bettungskonstanten angegeben werden. Durch eine Untersuchung nach Theorie II. Ordnung oder durch eine Eigenwertuntersuchung am Gesamtsystem ist dann die stabilisierende Wirkung abstützender Bauteile berücksichtigt. Die Ermittlung der entsprechenden Bettungskonstanten stellt einen nicht unerheblichen Aufwand dar. ST13 ermöglicht die Berechnung der notwendigen Bettungskennziffern durch die Angabe einfacher geometrischer Informationen.

## Behinderung der seitlichen Verschiebung

### Aussteifung durch Mauerwerk

Eine ausreichende Behinderung der seitlichen Verschiebung ist vorhanden bei Stäben, die durch Mauerwerk ausgesteift sind, sofern die Mauerwerksdicke mindestens die 0,3 - fache Querschnittshöhe des auszusteifenden Bauteils aufweist. Grundlage hierfür ist DIN 18800-1 El. (308). Auf diese Art der Bauteilaussteifung soll nicht weiter eingegangen werden. Auf diesen Sachverhalt sollte lediglich hingewiesen werden.

### Aussteifung durch Stahltrapezblechprofile (STP)

#### Allgemeines

Wenn an Träger Stahltrapezblechprofile nach DIN 18807-1 angeschlossen werden, kann die Anschlussstelle als unverschieblich angesehen werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$S_{\text{vorh}} \geq \left( EI_\omega + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{l^2} 0,25h^2 \right) \cdot \frac{70}{h^2}$$

Hierin bedeutet:

$S_{\text{vorh}}$  Auf den Träger entfallender Anteil der Schubsteifigkeit der Stahltrapezblechprofile bei Anschluss in jeder Profilrippe. Erfolgt die Befestigung nur in jeder zweiten Profilrippe, so ist  $0,2 \cdot S_{\text{vorh}}$  einzusetzen.

In diesem Fall wird von einer gebundenen Drehachse gesprochen, wobei sich dann die seitliche Verschiebung und die Verdrehung nicht mehr unabhängig voneinander einstellen kann.

Nach [7] kann jedoch schon eine wesentlich geringere Schubfeldsteifigkeit ausreichen, um genügende seitliche Aussteifung zu bewirken.

Es gilt:

$$S_{\text{eff}} = 10,2 \cdot \frac{M_{\text{pl,k}}}{h} - 4,3 \cdot \frac{EI_{z,k}}{l^2} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + 18,4 \cdot \frac{c^2}{h^2}} \right)$$

mit 
$$c^2 = \frac{I_{\omega} + 0,039 \cdot I^2 \cdot I_T}{I_z}$$

Bei größeren Feldlängen, insbesondere bei Trägern aus S 355, ist zusätzlich eine Drehbettung  $c_9$  erforderlich.

#### Berechnung des Schubmoduls

Das Schubmodul für Stahltrapezblechprofile ermittelt sich nach [4] zu:

$$G_S = \frac{10^4}{K_1 + \frac{K_2}{L_S}}$$

Hierin bedeuten:

$K_1$ : profilabhängige Kennzahl in Abhängigkeit der Anschlusausbildung <sup>1)</sup>

$K_2$ : profilabhängige Kennzahl in Abhängigkeit der Anschlusausbildung <sup>1)</sup>

$L_S$ : Schubfeldlänge

<sup>1)</sup> Ausbildung des Anschlusses nach DIN 18807-3 Bild 7

#### Berechnung der anteiligen Schubsteifigkeit

Die anteilige Schubsteifigkeit für das auszusteifende Bauteil errechnet sich nach [4] zu:

$$S_{\text{vorh}} = G_S \frac{L_S}{n}, \quad \text{für Befestigung in jeder Profilrippe}$$

$$S_{\text{vorh}} = 0,2 \times G_S \frac{L_S}{n}, \quad \text{für Befestigung in jeder zweiten Profilrippe}$$

Hierin bedeuten:

$G_S$ : Schubmodul nach Abs. 2.2.2.2

$L_S$ : Schubfeldlänge

$n$ : Anzahl der auszusteifenden Träger, wobei Randträger je hälftig zählen

#### Berechnung der Translationsbettung

Die Translationsbettung stellt in diesem Zusammenhang eine Federkonstante dar, die sich bezogen auf ein Meter Länge aus der Dehnsteifigkeit der abstützenden Bauteile ergeben.

$$c_y = \frac{E_k \cdot A_{\text{ef}}}{a}$$

Hierin bedeuten:

$c_y$ : Translationsbettung in [kN/m]

$E_k$ : charakteristischer Wert des E-Moduls in [kN/cm<sup>2</sup>]

$A_{\text{ef}}$ : mitwirkende Querschnittsfläche [cm<sup>2</sup>]

$\alpha$ : Abstand der abzustützenden Bauteile in [cm]

## Behinderung der Verdrehung

### Allgemeines

Die vorhandene Drehbettung ergibt sich als Widerstand der angrenzenden stabilisierenden Bauteile. Allgemein kann man die vorhandene Drehbettung als ein System von mehreren hintereinander geschalteten Federn betrachten. Es gilt nach [1] bzw. [5]:

$$\frac{1}{c_{\vartheta,k}} = \frac{1}{c_{\vartheta M,k}} + \frac{1}{c_{\vartheta A,k}} + \frac{1}{c_{\vartheta P,k}}$$

Hierin bedeuten:

$c_{\vartheta,k}$  wirksame vorhandene Drehbettung in [kNm/m]

$c_{\vartheta M,k}$  theoretische Drehbettung aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils bei Annahme einer starren Verbindung in [kNm/m]

$c_{\vartheta A,k}$  Drehbettung aus Verformung des Anschlusses in [kNm/m]

$c_{\vartheta P,k}$  Drehbettung aus der Profilverformung in [kNm/m]

### Behinderung der Verdrehung durch Nachweis ausreichender Drehbettung

Nach DIN 18800-2 El. (309) ist bei Trägern mit doppelsymmetrischen, I-förmigen Querschnitt, deren Abmessungsverhältnisse denen von Walzprofilen entsprechen eine ausreichende Drehbettung vorhanden, wenn gilt:

$$c_{\vartheta,k} \geq \left( \frac{M_{pl,k}^2}{E I_{z,k}} \cdot k_{\vartheta} \cdot k_v \right)$$

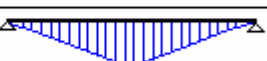
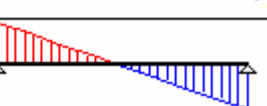
Hierin bedeutet:

$c_{\vartheta,k}$  wirksame vorhandene Drehbettung

$k_v$   $k_v = 1,00$  bei Nachweisverfahren E-P und P-P

$k_v = 0,35$  bei Nachweisverfahren E-E

$k_{\vartheta}$  siehe Tabelle

|    | 1<br>Momentenverlauf                                                                | 2         | 3         |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|    |                                                                                     | freie     | gebundene |
|    |                                                                                     | Drehachse |           |
| 1  |  | 4,00      | 0,00      |
| 2a |  | 3,50      | 0,12      |
| 2b |  |           | 0,23      |
| 3  |  | 2,80      | 0,00      |
| 4  |  | 1,60      | 1,00      |
| 5  |  | 1,00      | 0,70      |

DIN 18800-2 Tabelle 6: Beiwerte  $k_{\vartheta}$

## Berechnung der Drehbettungsanteile

### Berechnung der theoretischen Drehbettung

Nach [1] bzw. [6] berechnet sich die theoretische Drehbettung aus der Biegesteifigkeit des abstützenden Bauteils bei Annahme einer starren Verbindung zu:

$$c_{\vartheta M,k} = k \cdot \frac{E_k \cdot I_{a,k}}{a}$$

Hierin bedeuten:

- $k = 2$  für Einfeld- und Zweifeldträger
- $k = 4$  Für Dreifeld- und Mehrfeldträger
- $E_k$  charakteristischer Wert des E-Moduls
- $I_{a,k}$  Trägheitsmoment  $I_{ef}^+$  bei Auflast und  $I_{ef}^-$  bei Soglast
- $a$  Stützweite des abstützenden Bauteils

### Drehbettung aus Verformung des Anschlusses

Hiermit werden die Einflüsse erfasst, die im Anschlussbereich Verformungen hervorrufen. Werden die Verbindungsmittel aus Schrauben ohne Schlupf ausgeführt, sind solche Einflüsse in der Regel zu vernachlässigen.

Anders verhält es sich, wenn die Verbindungsmittel selbst eine weiche Feder darstellen und/oder die einzelnen Bauteile sich selbst verformen können. Verformungen der angrenzenden Bauteile treten stets auf bei Stahltrapezblechprofilen, bei denen die Kraftübertragung zum überwiegenden Teil über Biegung der sehr dünnen Bleche erfolgt. In solchen Fällen ist die Ermittlung der Drehbettung nur über Versuche möglich. Eine Auswertung solcher Versuche ist in [1] Tabelle 6 für eine einheitliche Gurtbreite von 100 mm dargestellt. Für die tatsächliche Gurtbreite ist die Anschlusssteifigkeit entsprechend umzurechnen.

Nach [1] El. (309) Gl. (11a) bzw. Gl. (11b) berechnet sich die Drehbettung aus der Verformung der Anschlüsse zu:

$$c_{\vartheta A,k} = \bar{c}_{\vartheta A,k} \cdot \left( \frac{b_{vorh}}{100} \right)^2, \quad \text{für} \quad \left( \frac{b_{vorh}}{100} \right) \leq 1,25$$

$$c_{\vartheta A,k} = \bar{c}_{\vartheta A,k} \cdot \left( \frac{b_{vorh}}{100} \right) \cdot 1,25, \quad \text{für} \quad 1,25 < \left( \frac{b_{vorh}}{100} \right) \leq 2,0$$

Hierin bedeuten:

- $c_{\vartheta A,k}$  Drehfeder aus der Anschlussverformung in [kNm/m]
- $\bar{c}_{\vartheta A,k}$  charakteristischer Wert der Anschlusssteifigkeiten von STP bezogen auf eine Gurtbreite von  $b=100\text{mm}$  nach DIN 18800-2 Tabelle 7

| Zeile                                                                                                                                                                      | Trapezprofilage                                    |                                                                                                                 | Schrauben im |          | Schrauben-abstand |                      | Scheiben-durchm. | $\bar{c}_{S,A,k}$ | Ma x b <sub>t</sub> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------------|----------------------|------------------|-------------------|---------------------|
|                                                                                                                                                                            | Positiv                                            | Negativ                                                                                                         | Untergurt    | Obergurt | b <sub>r</sub>    | 2*<br>b <sub>r</sub> |                  |                   |                     |
|                                                                                                                                                                            | Auflast                                            |                                                                                                                 |              |          |                   |                      |                  |                   |                     |
| 1                                                                                                                                                                          | x                                                  |                                                                                                                 | x            |          | x                 |                      | 22               | 5,2               | 40                  |
| 2                                                                                                                                                                          | x                                                  | x                                                                                                               | x            |          |                   | x                    | 22               | 3,1               | 40                  |
| 3                                                                                                                                                                          |                                                    | x                                                                                                               |              | x        | x                 |                      | Ka               | 10,0              | 40                  |
| 4                                                                                                                                                                          |                                                    | x                                                                                                               |              | x        |                   | x                    | Ka               | 5,2               | 40                  |
| 5                                                                                                                                                                          |                                                    | x                                                                                                               | x            |          | x                 |                      | 22               | 3,1               | 120                 |
| 6                                                                                                                                                                          |                                                    | x                                                                                                               | x            |          |                   | x                    | 22               | 2,0               | 120                 |
|                                                                                                                                                                            | Sog                                                |                                                                                                                 |              |          |                   |                      |                  |                   |                     |
| 7                                                                                                                                                                          | X                                                  |                                                                                                                 | X            |          | X                 |                      | 16               | 2,6               | 40                  |
| 8                                                                                                                                                                          | X                                                  |                                                                                                                 | X            |          |                   | X                    | 16               | 1,7               | 40                  |
| 1)<br>2)<br>3)                                                                                                                                                             | b <sub>r</sub><br>K <sub>a</sub><br>b <sub>t</sub> | Rippenabstand<br>Abdeckklappen aus Stahl mit t>= 0,75 mm<br>Breite des angeschlossenen Gurtes des Trapezprofils |              |          |                   |                      |                  |                   |                     |
| Die angegebenen Werte gelten für Schrauben mit dem Durchmesser d<=6,3mm, sowie für Unterlegscheiben aus Stahl mit der Dicke d>=1,0mm und aufvulkanisierter Neoprendichtung |                                                    |                                                                                                                 |              |          |                   |                      |                  |                   |                     |

DIN 18800-2 Tabelle 7: Charakteristische Anschlusssteifigkeiten von STP bezogen auf eine Gurtbreite von b=100mm.

Nach [2], Seite 170, Abs. 2 wird ausgesagt, dass sich bei Trägern mit einer Gurtbreite von b > 200mm keine wesentliche Vergrößerung der Anschlusssteifigkeit ergibt. Aus diesem Grund werden bei Trägern mit einer Gurtbreite von b > 200mm die Werte für b = 200mm angesetzt.

Der Einfluss der Nachgiebigkeit des Anschlusses darf nach [7] (siehe Abs. 2.2.4, Seite 234) vernachlässigt werden, wenn das rückdrehende Kontaktmoment m<sub>k</sub> im Anschluss größer ist als das zu übertragende Moment m<sub>θ</sub>.

Das Kontaktmoment wird nach [7] aus der Traglast des Trägers errechnet:

$$m_k = q_{Tz} \cdot \frac{b}{2}$$

Hierin bedeuten:

q<sub>Tz</sub> Traglast des Trägers

b Gurtbreite

Für den Fall einer ungehinderten seitlichen Verschiebung (S<sub>vorh</sub> < S<sub>min</sub>) kann am Durchlaufträger der Traglastzustand wie folgt angesetzt werden:

$$m_\theta = 0,05 \cdot \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z}$$

Für den Fall des seitlich unverschieblich gehaltenen Trägers (S<sub>min</sub> < S<sub>vorh</sub>) reduziert sich dieser Wert so weit, dass sich eine Berücksichtigung erübrigt. In diesem Fall wird die Nachgiebigkeit des Anschlusses nicht in Ansatz gebracht. Es gilt dann

$$c_{\theta A,k} = 0,00 \text{ kNm / m}$$

Wenn m<sub>θ</sub> ≤ m<sub>k</sub> ist, dann werden die Profilkanten durch die Dachhaut so niedergedrückt, dass ein Anheben aus der Aktivierung der Drehbettung unmöglich ist. Wenn jedoch m<sub>k</sub> ≤ m<sub>θ</sub> ist, so muss c<sub>θA</sub> berücksichtigt werden.

Entscheidend in diesem Zusammenhang ist natürlich auch, dass das Stahltrapezblechprofil unter Auflast an den Träger angedrückt wird.

Die entscheidende Problematik ist die Ermittlung der Traglastzustände, die vom System und der Belastung abhängig sind. Hierbei kann [8] eine entscheidende Hilfe sein.

#### Drehbettung aus der Profilverformung

Die Profilverformung ist abhängig von der Art der Übertragung des Moments zwischen dem zu stabilisierenden Träger und dem angrenzenden Bauteil.

Nach [6] berechnet sich die Drehbettung aus der Profilverformung zu:

$$c_{\vartheta P,k} = 5770 \cdot \frac{1}{\frac{h}{s^3} + c_1 \cdot \frac{b}{t^3}}$$

Hierin bedeuten:

|                |                                      |                      |
|----------------|--------------------------------------|----------------------|
| h              | Höhe des abzustützens Bauteils       |                      |
| s              | Stegdicke des abzustützens Bauteils  |                      |
| c <sub>1</sub> | für I - Profile bei Auflast oder Sog | c <sub>1</sub> = 0,5 |
|                | für C - Profile bei Auflast          | c <sub>1</sub> = 0,5 |
|                | für C - Profile bei Sog              | c <sub>1</sub> = 2,0 |
| b              | Breite des abstützens Bauteils       |                      |
| t              | Flanschdicke des abstützens Bauteils |                      |

Für die Profilreihen IPE, HEA, HEB sowie HEM können die Drehfedern auch [4] Seite 79 oder [6] Tabelle 2, Seite 370 entnommen werden.