

Verbindungsprofile 8 160 und 8 240

Zu den Verbindungsprofilen 8 160 und 8 240 sowie den entsprechenden Streben soll hier ein Verfahren erläutert werden, mit dem es möglich ist, die Berechnung von Durchbiegung und maximaler Belastung schnell und ausreichend präzise zu ermitteln. Mit Hilfe einer Beispielrechnung sollen die Rechengänge konkretisiert und der Einfluss der Verwendung verschiedener Profile auf die Durchbiegung veranschaulicht werden.

Durchbiegung

Für die Durchbiegung von statisch bestimmten und unbestimmten Trägern konstanten Querschnitts werden in der Literatur* zu verschiedenen Lastfällen Formeln zur Berechnung der Biegelinie und der maximalen Durchbiegung angegeben.

Diese Belastungsfälle können überlagert und so der realen Belastung angenähert werden (Superpositionsprinzip).

Mit Hilfe der Biegelinie wird die Durchbiegung an jedem beliebigen Punkt des Trägers berechnet.

Bild 1 zeigt vier häufige Belastungsfälle mit den Formeln für die Biegelinie und die maximale Durchbiegung.

Als Parameter müssen der E-Modul, die Länge, das Flächenträgheitsmoment des Trägers und die Belastung bestimmt werden. Der E-Modul von Aluminium ist bekannt. Die Länge des Trägers und die angreifende Kraft ergeben sich aus der Aufgabenstellung. Das Flächenträgheitsmoment kann bei einem einzelnen Profil direkt aus dem Katalog entnommen werden. Bei einem zusammengesetzten Träger wird das Flächenträgheitsmoment rechnerisch gemäß dem Satz von Steiner bestimmt.

Bei der Verwendung des durchgehenden Verbindungsprofils errechnet sich das Flächenträgheitsmoment:

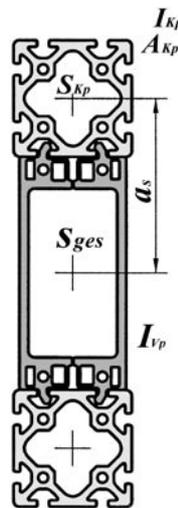
$$I_{ges} = 2 \cdot (I_{vp} + I_{kp} + a_s^2 \cdot A_{kp}) \quad [I]$$

Verwendet man einen aus Verbindungsprofil-Streben gebauten Träger ergibt sich das Flächenträgheitsmoment zu:

$$I_{gesSt} = \frac{2}{3} \cdot I_{ges} \quad [II]$$

oder

$$I_{gesSt} = \frac{4}{3} \cdot (I_{vp} + I_{kp} + a_s^2 \cdot A_{kp}) \quad [III]$$



I_{ges} : Flächenträgheitsmoment des geschlossenen Trägers

I_{gesSt} : Flächenträgheitsmoment des Trägers aus Streben

I_{vp} : Flächenträgheitsmoment des Verbindungsprofils

I_{kp} : Flächenträgheitsmoment des Konstruktionsprofils

A_{kp} : Querschnittsfläche des Konstruktionsprofils

a_s : Schwerpunktabstand

Maximale Belastung

Anders als bei einem einzelnen Profil wird die Belastung eines gebauten Trägers nicht durch die zulässige Biegespannung begrenzt. Die Belastungsgrenze einer Baugruppe ist durch eine Relativbewegung der Elemente an den Kontaktflächen zueinander gekennzeichnet. Eine solche Verschiebung entsteht dadurch, dass die Schubspannungen im Bereich der Verbindungsflächen nicht durch die Klemmkraft der Verschraubung ausgeglichen werden können.

Zur Berechnung der maximalen Belastung wird zunächst die Querkraft im Träger bestimmt:

$$F_0 = \frac{F_{Schr} \cdot n_{Schr} \cdot I_{ges}}{A_{rest} \cdot a_s \cdot l} \quad [IV]$$

F_{Schr} : Schraubenkraft 3500N

n_{Schr} : Anzahl der Schrauben in einer Scherebene

I_{ges} : Flächenträgheitsmoment

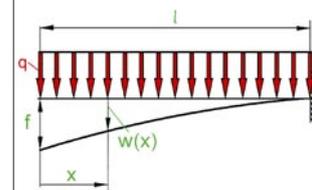
A_{rest} : Restfläche (Fläche jenseits einer Scherebene)

a_s : Schwerpunktabstand

l : Trägerlänge

Mit der Querkraft kann über Schnittgrößenberechnung die maximale Belastung ermittelt werden.

Belastungsfall 1

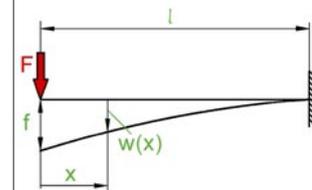


$$w(x) = \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot E \cdot I_y} \cdot \left[3 - 4 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$$

$$f = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I_y}$$

$$q = \frac{F_0}{l}$$

Belastungsfall 2

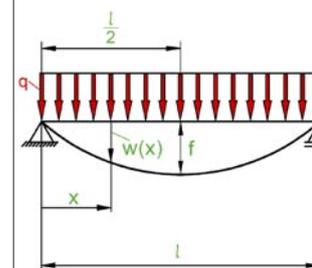


$$w(x) = \frac{F \cdot l^3}{6 \cdot E \cdot I_y} \cdot \left[2 - 3 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$$

$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_y}$$

$$F = F_0$$

Belastungsfall 3

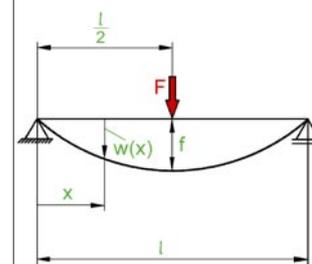


$$w(x) = \frac{q \cdot l^4}{24 \cdot E \cdot I_y} \cdot \left[\frac{x}{l} - 2 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$$

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_y}$$

$$q = \frac{2 \cdot F_0}{l}$$

Belastungsfall 4



$$w(x) = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y} \cdot \left[3 \frac{x}{l} + 4 \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$$

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_y}$$

$$F = 2 \cdot F_0$$

$w(x)$: Gleichung der Biegelinie

f : maximale Durchbiegung

F_0 : maximale Querkraft

Bild 1

* Dubbel „Taschenbuch für den Maschinenbau“

Achtung !

Um das Verschieben der Profile zueinander sicher zu verhindern, sollten vor dem Zusammenbau die Fügeflächen entfettet werden. Damit man eine möglichst große Normalkraft aufbringen kann, sollten Schrauben und Muttern eingölt werden. Die Unterkopf- und Gewindereibung wird damit erheblich reduziert. Als Anzugsmoment für die Verschraubung wird 30Nm empfohlen.

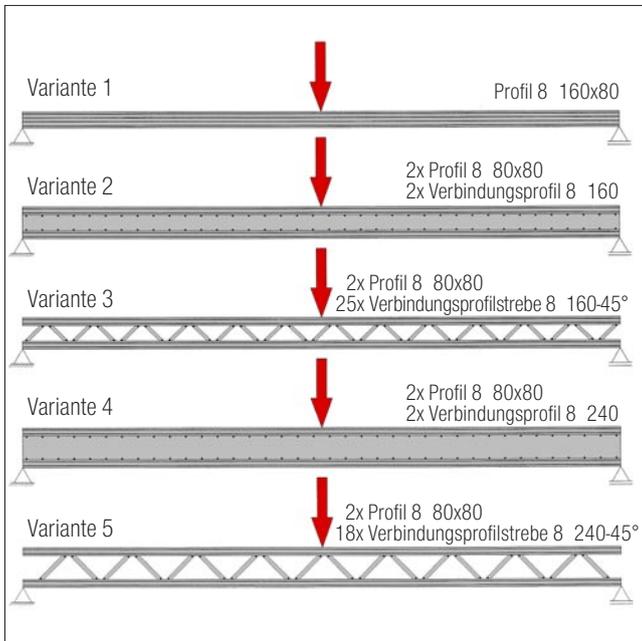


Bild 2

Fallbeispiel

Ein 6m langer Träger ist entsprechend dem Belastungsfall 4 aufgelagert. Dieser wird mit 300kg statisch, mittig belastet. Es sollen jeweils die Durchbiegungen und die Sicherheiten gegen Rutschen der in Bild 2 gezeigten Varianten ermittelt werden.

Berechnung der Flächenträgheitsmomente

Die Flächenträgheitsmomente für die einzelnen Profile werden aus dem Katalog entnommen. Für die zusammengesetzten Träger nach Gleichung I/III berechnet:

| Flächenträgheitsmoment | | | | | |
|------------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|
| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| I_{ges} [cm ⁴] | 1228,33 | 9266,08 | 6177,39 | 17633,32 | 11755,55 |

Berechnung der Durchbiegung durch Eigengewicht

Zunächst wird die Streckenlast ermittelt. Für das Profil 8 160x80 ist diese praktisch schon im Katalog in Form der Masse pro Meter angegeben. Bei den geschlossenen Kastenträgern werden zunächst die Metermassen der Verbindungs- und Konstruktionsprofile addiert. Dann summiert man die einzelnen Massen der verwendeten Schrauben und teilt diese durch die Länge des Trägers. Die gesamte Streckenlast ergibt sich aus der Addition beider Werte.

Werden Verbindungsstreben verwendet, nimmt man die Summe der Massen der Einzelstreben und Verbindungselemente geteilt durch die Trägerlänge und addiert die Metergewichte der Konstruktionsprofile hinzu.

Die Durchbiegung durch Eigengewicht erhält man durch Einsetzen in Formel des Belastungsfalls 3.

| Durchbiegung durch Eigengewicht | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| q [N/m] | 132,63 | 236,46 | 161,01 | 279,82 | 165,97 |
| f [mm] | 2,60 | 0,62 | 0,63 | 0,38 | 0,34 |

mit

$$E_{Al} = 70.000 \text{ N/mm}^2$$

$$m_{160 \times 80} = 13,52 \text{ kg/m}$$

$$m_{80 \times 80} = 7,19 \text{ kg/m}$$

$$m_{Vp160} = 4,76 \text{ kg/m}$$

$$m_{160 \times 80} = 6,97 \text{ kg/m}$$

$$M_{Strebe160} = 0,488 \text{ kg}$$

$$M_{Strebe240} = 0,846 \text{ kg}$$

$$M_{Schr+M} = 0,034 \text{ kg}$$

Durchbiegung unter Belastung

Entsprechend dem angenommenen Belastungsfall wird die Formel für die Durchbiegung eingesetzt. Es ergibt sich:

| Durchbiegung unter Belastung | | | | | |
|------------------------------|-------|------|------|------|------|
| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| f [mm] | 15,70 | 2,08 | 3,12 | 1,09 | 1,64 |

Bild 3 zeigt für diese Varianten die Durchbiegung bezogen auf die Belastung.

Berechnung der maximalen Belastung und der Sicherheit

Die maximale Querkraft wird nach Formel IV berechnet. Die äußere Kraft, die bei diesem Belastungsfall die Querkraft bewirkt, ist doppelt so groß. Dividiert man die maximal zulässige Belastung durch die tatsächliche, erhält man den Sicherheitsfaktor S.

| maximale Belastung der verbundenen Träger | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|
| Variante | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| n _{Schr} | | 74 | 50 | 74 | 36 |
| n _{SchrScherebene} | | 37 | 25 | 37 | 18 |
| A _{rest} [cm ²] | | 26,66 | 26,66 | 26,66 | 26,66 |
| F _{qmax} [N] | | 6251 | 2816 | 8922 | 2894 |
| F _{max} [N] | | 12503 | 5632 | 17844 | 5787 |
| S | | 4,2 | 1,9 | 5,9 | 1,9 |

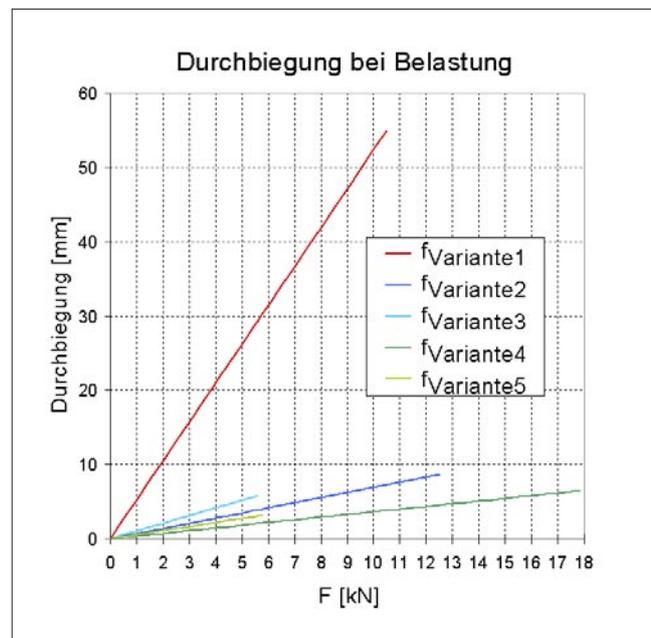


Bild 3