



Wolfgang Triebel

wolfgang.triebel@aon.at

Biegelinie eines symmetrischen Fachwerkes



- **Mathematische / Fachliche Inhalte in Stichworten:**
Verformungen eines Fachwerksystems, "Gebrauchstauglichkeitsnachweis", Durchbiegung
- **Kurzzusammenfassung**
Die Bestimmung der Verformung (Verschiebung) jedes belasteten Knotenpunktes eines symmetrischen Fachwerkes erfolgt durch Anwendung der Arbeitsgleichung.
- **Didaktische Überlegungen:**
Die Theorie im angeschlossenen Rechenbeispiel soll nur als Anregung dienen. Die Ausführungen sind als Unterstützung im Fachunterricht gedacht. Ein Selbststudium wäre nur mit Hilfe der genannten Literaturhinweise sinnvoll.
- **Lehrplanbezug (bzw. Gegenstand / Abteilung / Jahrgang):**
Bautechnische Abteilungen: Baustatik
- **Mathcad-Version:**
Mathcad 2000
- **Literaturangaben:**
Wagner / Erlhof; Praktische Baustatik Teil 3, B.G. Teubner Verlag Stuttgart 1997, Seite 60

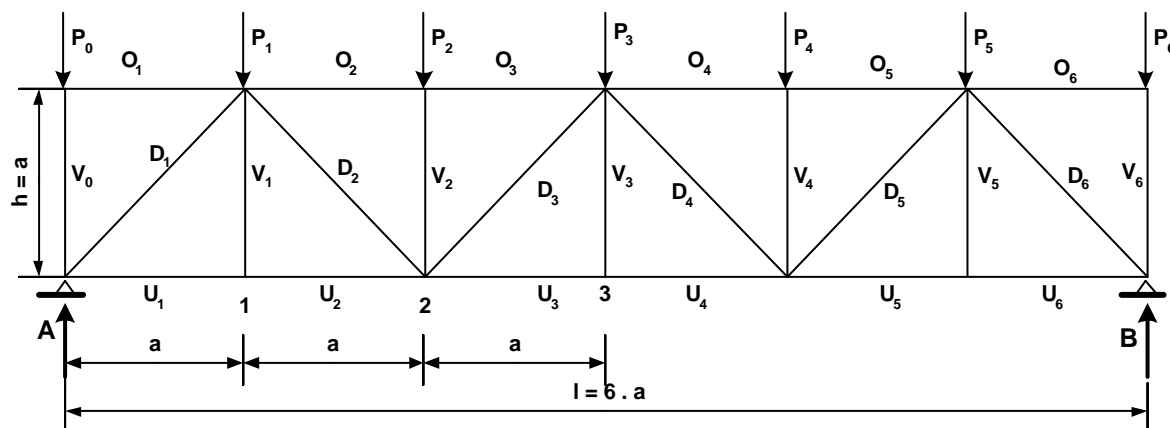


Für die Ermittlung der Biegelinie von Fachwerken werden i.a. die Durchbiegungen der Knotenpunkte eines Gurtes berechnet. Die geradlinige Verbindung der durchgebogenen Knotenpunkte ist die Biegelinie. Die Biegelinie für den unbelasteten Gurt weicht nur wenig von der des Lastgurtes ab.

Das Fachwerk sei in Knotenpunkten mit den Einzellasten P [kN] belastet.

Gesucht: Wie verläuft die Biegelinie des Obergurtes bzw. des Untergurtes

Statisches Grundsystem



Zufallszahl zur Streuung der Eingabedaten im Schulbetrieb:

ZZ := 0

Angaben:**Flächen-Querschnitte der Fachwerksstäbe:**

$E := 21000 \quad \text{kN/cm}$

Laufindex:

$i := 0..6$

Obergurte: 2 . L 100 x 10

$AO_i := 38.4 \quad \text{cm}^2$

Untergurte: 2 . L 70 x 7

$AU_i := 18.8 \quad \text{cm}^2$

Diagonalen: 2 . L 110 x 10

$AD_1 := 42.4$

$AD_3 := 42.4 \quad \text{cm}^2$

$AD_0 := 42.4$

$AD_4 := 42.4$

$AD_6 := 42.4 \quad \text{cm}^2$

Diagonalen: 2 . L 55 x 6

$AD_2 := 12.6$

$AD_5 := 12.6 \quad \text{cm}^2$

Geometrie:

$a := 4.50 + \frac{ZZ}{10}$

$a = 4.50 \quad \text{m}$

$\alpha := 45 \cdot \text{Grad}$

$d := \frac{a}{\cos(\alpha)}$

$d = 6.364 \quad \text{m}$

Stützweite:

$l := 6 \cdot a$

$l = 27.00 \quad \text{m}$

Lastfall: Statisches Grundsystem:**Belastung:****Knoten-Einzelkräfte:**

$F_C := 55 + \frac{ZZ}{2} \quad \text{kN}$

$P_0 := F_C \cdot \frac{1}{2}$

$P_0 = 27.5 \quad \text{kN}$

$P_1 := F_C$

$P_1 = 55 \quad \text{kN}$

$P_2 := F_C$

$P_2 = 55 \quad \text{kN}$

$P_3 := F_C$

$P_3 = 55 \quad \text{kN}$

$P_4 := F_C$

$P_4 = 55 \quad \text{kN}$

$P_5 := F_C$

$P_5 = 55 \quad \text{kN}$

$P_6 := F_C \cdot \frac{1}{2}$

$P_6 = 27.5 \quad \text{kN}$

$$\sum_{i=0}^6 P_i = 330$$

Auflagerreaktionen:

$$A := \sum_{i=0}^6 P_i \cdot \frac{1}{2}$$

$$A = 165$$

kN

$$B := \sum_{i=0}^6 P_i - A$$

$$B = 165$$

kN

Querkräfte am Ersatzträger:

$$Q_0 := (A - P_0)$$

$$Q_0 = 137.5$$

kN

$$Q_1 := (A - P_0)$$

$$Q_1 = 137.5$$

kN

$$Q_2 := (A - P_0) - P_1$$

$$Q_2 = 82.5$$

kN

$$Q_3 := (A - P_0) - (P_1 + P_2)$$

$$Q_3 = 27.5$$

kN

$$Q_4 := (A - P_0) - (P_1 + P_2 + P_3)$$

$$Q_4 = -27.5$$

kN

$$Q_5 := (A - P_0) - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

$$Q_5 = -82.5$$

kN

$$Q_6 := (A - P_0) - (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5)$$

$$Q_6 = -137.5$$

kN

Kontrolle

$$|Q_6| + P_6 = 165$$

Momente am Ersatzträger:

$$M_1 := (A - P_0) \cdot a$$

$$M_1 = 618.75$$

kNm

$$M_2 := (A - P_0) \cdot 2 \cdot a - P_1 \cdot a$$

$$M_2 = 990$$

kNm

$$M_3 := (A - P_0) \cdot 3 \cdot a - P_1 \cdot 2 \cdot a - P_2 \cdot a$$

$$M_3 = 1.114 \times 10^3$$

kNm

$$M_4 := (A - P_0) \cdot 4 \cdot a - P_1 \cdot 3 \cdot a - P_2 \cdot 2 \cdot a - P_3 \cdot a$$

$$M_4 = 990$$

kNm

$$M_5 := (A - P_0) \cdot 5 \cdot a - P_1 \cdot 4 \cdot a - P_2 \cdot 3 \cdot a - P_3 \cdot 2 \cdot a - P_4 \cdot a$$

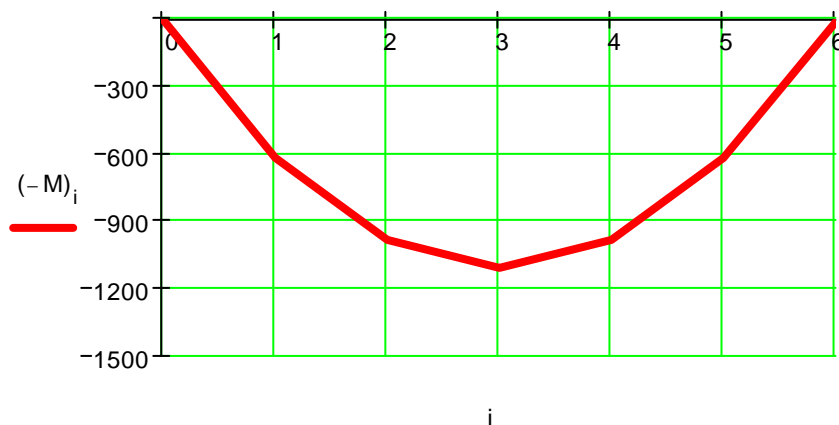
$$M_5 = 618.75$$

kNm

$$M_6 := B \cdot 0$$

$$M_6 = 0$$

kNm



Stabkräfte:**Obergurt:**

$$O_1 := 0$$

$$O_2 := \frac{(-M)_2}{a} \quad O_2 = -220 \quad \text{kN}$$

$$O_3 := O_2 \quad O_3 = -220 \quad \text{kN}$$

$$O_4 := \frac{-M_4}{a} \quad O_4 = -220 \quad \text{kN}$$

$$O_5 := O_4 \quad O_5 = -220 \quad \text{kN}$$

$$O_6 := 0 \quad O_6 = 0 \quad \text{kN}$$

Untergurt:

$$U_1 := \frac{M_1}{a} \quad U_1 = 137.5 \quad \text{kN}$$

$$U_2 := U_1 \quad U_2 = 137.5 \quad \text{kN}$$

$$U_3 := \frac{M_3}{a} \quad U_3 = 247.5 \quad \text{kN}$$

$$U_4 := U_3 \quad U_4 = 247.5 \quad \text{kN}$$

$$U_5 := \frac{M_5}{a} \quad U_5 = 137.5 \quad \text{kN}$$

$$U_6 := \frac{M_5}{a} \quad U_6 = 137.5 \quad \text{kN}$$

Diagonalen:

$$D_1 := \frac{(-Q)_1}{\cos(\alpha)} \quad D_1 = -194.454 \quad \text{kN}$$

$$D_2 := \frac{Q_2}{\cos(\alpha)} \quad D_2 = 116.673 \quad \text{kN}$$

$$D_3 := \frac{(-Q)_3}{\cos(\alpha)} \quad D_3 = -38.891 \quad \text{kN}$$

$$D_4 := \frac{Q_4}{\cos(\alpha)} \quad D_4 = -38.891 \quad \text{kN}$$

$$D_5 := \frac{(-Q)_5}{\cos(\alpha)} \quad D_5 = 116.673 \quad \text{kN}$$

$$D_6 := \frac{Q_6}{\cos(\alpha)} \quad D_6 = -194.454 \quad \text{kN}$$

$O_i =$

| |
|------|
| 0 |
| 0 |
| -220 |
| -220 |
| -220 |
| -220 |
| -220 |
| 0 |

$U_i =$

| |
|-------|
| 0 |
| 137.5 |
| 137.5 |
| 247.5 |
| 247.5 |
| 137.5 |
| 137.5 |

$D_i =$

| |
|----------|
| 0 |
| -194.454 |
| 116.673 |
| -38.891 |
| -38.891 |
| 116.673 |
| -194.454 |

Lastfall: Statisches Hilfssystem: $X_1 = 1$ kN im Knoten 1

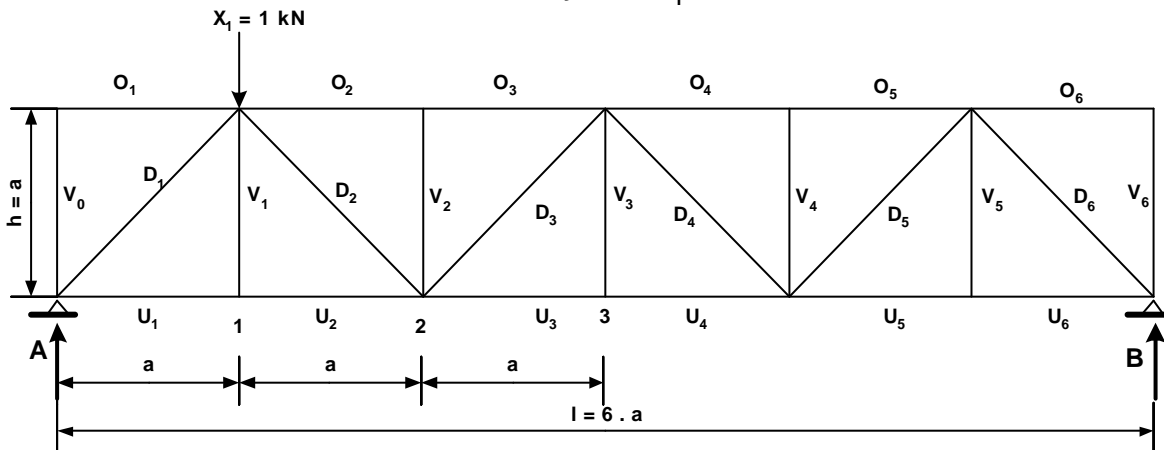
Belastung:

Knoten-Einzelkraft:

$X_1 := 1.0$

kN

Statisches Hilfssystem: $X_1 = 1$ kN



Auflagerreaktionen:

$A1' := 1.0 \cdot \frac{5}{6}$

$A1' = 0.833$

kN

$B1' := 1.0 \cdot \frac{1}{6}$

$B1' = 0.167$

kN

Querkräfte am Ersatzträger:

$Q1'1 := A1'$

$Q1'1 = 0.833$

kN

$Q1'2 := A1' - X1$

$Q1'2 = -0.167$

kN

$Q1'3 := Q1'2$

$Q1'3 = -0.167$

kN

$Q1'4 := Q1'2$

$Q1'4 = -0.167$

kN

$Q1'5 := Q1'2$

$Q1'5 = -0.167$

kN

$Q1'6 := Q1'2$

$Q1'6 = -0.167$

kN

Momente am Ersatzträger:

$$M1'_1 := A1' \cdot a \qquad M1'_1 = 3.75 \quad \text{kNm}$$

$$M1'_2 := A1' \cdot 2 \cdot a - X_1 \cdot a \qquad M1'_2 = 3 \quad \text{kNm}$$

$$M1'_3 := A1' \cdot 3 \cdot a - X_1 \cdot 2 \cdot a \qquad M1'_3 = 2.25 \quad \text{kNm}$$

$$M1'_4 := A1' \cdot 4 \cdot a - X_1 \cdot 3 \cdot a \qquad M1'_4 = 1.5 \quad \text{kNm}$$

$$M1'_5 := A1' \cdot 5 \cdot a - X_1 \cdot 4 \cdot a \qquad M1'_5 = 0.75 \quad \text{kNm}$$

Stabkräfte des Hilfssystems $X_1 = 1.0 \text{ kN}$:**Obergurt:**

$$O1'_1 := 0 \qquad O1'_2 := \frac{-M1'_2}{a} \qquad O1'_2 = -0.667 \quad \text{kN}$$

$$O1'_3 := O1'_2 \qquad O1'_3 = -0.667 \quad \text{kN}$$

$$O1'_4 := \frac{-M1'_4}{a} \qquad O1'_4 = -0.333 \quad \text{kN}$$

$$O1'_5 := O1'_4 \qquad O1'_5 = -0.333 \quad \text{kN}$$

$$O1'_6 := 0 \qquad O1'_6 = 0 \quad \text{kN}$$

Untergurt:

$$U1'_1 := \frac{M1'_1}{a} \qquad U1'_1 = 0.833 \quad \text{kN}$$

$$U1'_2 := U1'_1 \qquad U1'_2 = 0.833 \quad \text{kN}$$

$$U1'_3 := \frac{M1'_3}{a} \qquad U1'_3 = 0.5 \quad \text{kN}$$

$$U1'_4 := U1'_3 \qquad U1'_4 = 0.5 \quad \text{kN}$$

$$U1'_5 := \frac{M1'_5}{a} \qquad U1'_5 = 0.167 \quad \text{kN}$$

$$U1'_6 := \frac{M1'_5}{a} \qquad U1'_6 = 0.167 \quad \text{kN}$$

Diagonalen:

$$D1'_1 := \frac{(-Q1')_1}{\cos(\alpha)} \quad D1'_1 = -1.179 \quad \text{kN}$$

$$D1'_2 := \frac{Q1'_2}{\cos(\alpha)} \quad D1'_2 = -0.236 \quad \text{kN}$$

$$D1'_3 := \frac{(-Q1')_3}{\cos(\alpha)} \quad D1'_3 = 0.236 \quad \text{kN}$$

$$D1'_4 := \frac{Q1'_4}{\cos(\alpha)} \quad D1'_4 = -0.236 \quad \text{kN}$$

$$D1'_5 := \frac{(-Q1')_5}{\cos(\alpha)} \quad D1'_5 = 0.236 \quad \text{kN}$$

$$D1'_6 := \frac{Q1'_6}{\cos(\alpha)} \quad D1'_6 = -0.236 \quad \text{kN}$$

$$\delta_1 := \left[\left[\sum_{i=2}^5 O_i \cdot O1'_i \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AO_i} \right] + \left[\sum_{i=1}^6 U_i \cdot U1'_i \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AU_i} \right] + \left[\sum_{i=1}^6 D_i \cdot D1'_i \cdot \frac{d \cdot 10^2}{AD_i} \right] \right]$$

$$\delta_1 = 2.179 \times 10^4$$

$$\delta_1 := \delta_1 \cdot \frac{1}{E}$$

$$\delta_1 = 1.038 \quad \text{cm}$$

| | | | | | | | | |
|-----------|--|-----|-----------|--|-----|-----------|--|-----|
| $O1'_i =$ | $\left(O_i \cdot O1'_i \cdot a \cdot \frac{10^2}{AO_i} \right)$ | $=$ | $U1'_i =$ | $\left(U_i \cdot U1'_i \cdot a \cdot \frac{10^2}{AU_i} \right)$ | $=$ | $D1'_i =$ | $\left(D_i \cdot D1'_i \cdot d \cdot \frac{10^2}{AD_i} \right)$ | $=$ |
| 0 | 0 | | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | | 0.833 | $2.743 \cdot 10^3$ | | -1.179 | $3.44 \cdot 10^3$ | |
| -0.667 | $1.719 \cdot 10^3$ | | 0.833 | $2.743 \cdot 10^3$ | | -0.236 | $-1.389 \cdot 10^3$ | |
| -0.667 | $1.719 \cdot 10^3$ | | 0.5 | $2.962 \cdot 10^3$ | | 0.236 | -137.586 | |
| -0.333 | 859.375 | | 0.5 | $2.962 \cdot 10^3$ | | -0.236 | 137.586 | |
| -0.333 | 859.375 | | 0.167 | 548.537 | | 0.236 | $1.389 \cdot 10^3$ | |
| 0 | 0 | | 0.167 | 548.537 | | -0.236 | 687.928 | |

Lastfall: Statisches Hilfssystem: $X_2 = 1 \text{ kN}$ im Knoten 2

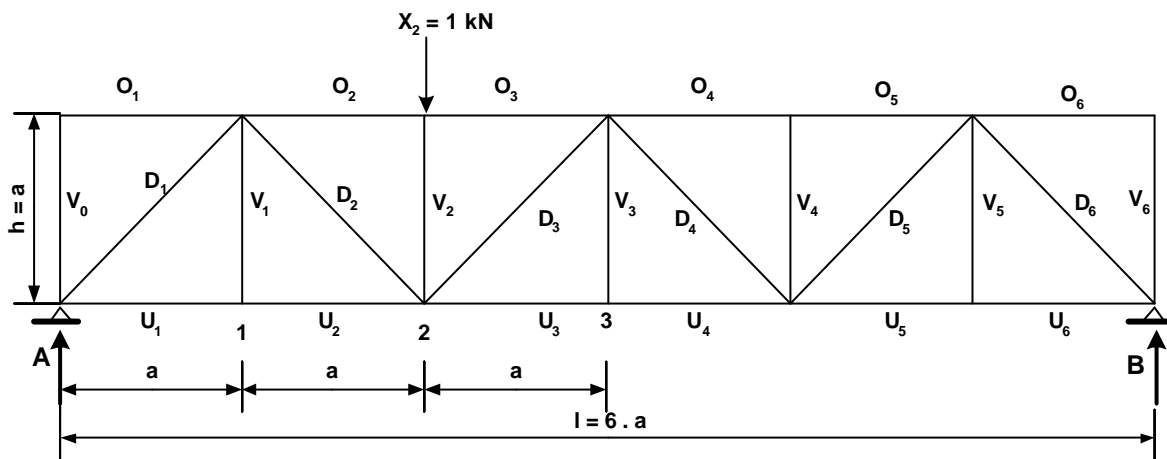
Belastung:

Knoten-Einzelkraft:

$X_2 := 1.0$

kN

Statisches Hilfssystem: $X_2 = 1 \text{ kN}$



Auflagerreaktionen:

$$A2' := 1.0 \cdot \frac{4}{6}$$

$A2' = 0.667$

kN

$$B2' := 1.0 \cdot \frac{2}{6}$$

$B2' = 0.333$

kN

Querkräfte am Ersatzträger:

$$Q2'_1 := A2'$$

$Q2'_1 = 0.667$

kN

$$Q2'_2 := A2'$$

$Q2'_2 = 0.667$

kN

$$Q2'_3 := Q2'_2 - X_2$$

$Q2'_3 = -0.333$

kN

$$Q2'_4 := Q2'_3$$

$Q2'_4 = -0.333$

kN

$$Q2'_5 := Q2'_3$$

$Q2'_5 = -0.333$

kN

$$Q2'_6 := Q2'_3$$

$Q2'_6 = -0.333$

kN

Momente am Ersatzträger:

$$M2'_1 := A2' \cdot a$$

$M2'_1 = 3$

kNm

$$M2'_2 := A2' \cdot 2 \cdot a$$

$M2'_2 = 6$

kNm

$$M2'_3 := A2' \cdot 3 \cdot a - X_2 \cdot a$$

$M2'_3 = 4.5$

kNm

$$M2'_4 := A2' \cdot 4 \cdot a - X_2 \cdot 2 \cdot a$$

$M2'_4 = 3$

kNm

$$M2'_5 := A2' \cdot 5 \cdot a - X_2 \cdot 3 \cdot a$$

$M2'_5 = 1.5$

kNm

Stabkräfte des Hilfssystems $X_2 = 1.0$ kN:**Obergurt:**

$O2'_1 := 0$

$O2'_2 := \frac{-M2'_2}{a}$

$O2'_2 = -1.333 \quad \text{kN}$

$O2'_3 := O2'_2$

$O2'_3 = -1.333 \quad \text{kN}$

$O2'_4 := \frac{-M2'_4}{a}$

$O2'_4 = -0.667 \quad \text{kN}$

$O2'_5 := O2'_4$

$O2'_5 = -0.667 \quad \text{kN}$

$O2'_6 := 0$

$O2'_6 = 0 \quad \text{kN}$

Untergurt:

$U2'_1 := \frac{M2'_1}{a}$

$U2'_1 = 0.667 \quad \text{kN}$

$U2'_2 := U2'_1$

$U2'_2 = 0.667 \quad \text{kN}$

$U2'_3 := \frac{M2'_3}{a}$

$U2'_3 = 1 \quad \text{kN}$

$U2'_4 := U2'_3$

$U2'_4 = 1 \quad \text{kN}$

$U2'_5 := \frac{M2'_5}{a}$

$U2'_5 = 0.333 \quad \text{kN}$

$U2'_6 := \frac{M2'_5}{a}$

$U2'_6 = 0.333 \quad \text{kN}$

Diagonalen:

$D2'_1 := \frac{(-Q2')_1}{\cos(\alpha)}$

$D2'_1 = -0.943 \quad \text{kN}$

$D2'_2 := \frac{Q2'_2}{\cos(\alpha)}$

$D2'_2 = 0.943 \quad \text{kN}$

$D2'_3 := \frac{(-Q2')_3}{\cos(\alpha)}$

$D2'_3 = 0.471 \quad \text{kN}$

$D2'_4 := \frac{Q2'_4}{\cos(\alpha)}$

$D2'_4 = -0.471 \quad \text{kN}$

$D2'_5 := \frac{(-Q2')_5}{\cos(\alpha)}$

$D2'_5 = 0.471 \quad \text{kN}$

$D2'_6 := \frac{Q2'_6}{\cos(\alpha)}$

$D2'_6 = -0.471 \quad \text{kN}$

$$\delta_2 := \left[\left[\sum_{i=2}^5 O_i \cdot O_2' \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AO_i} \right] + \left[\sum_{i=1}^6 U_i \cdot U_2' \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AU_i} \right] + \left[\sum_{i=1}^6 D_i \cdot D_2' \cdot \frac{d \cdot 10^2}{AD_i} \right] \right]$$

$$\delta_2 = 4.12 \times 10^4$$

$$\delta_2 := \delta_2 \cdot \frac{1}{E}$$

$$\delta_2 = 1.962 \text{ cm}$$

| | | | | | |
|----------|---|----------|---|----------|---|
| $O_2' =$ | $\left(O_i \cdot O_2' \cdot a \cdot \frac{10^2}{AO_i} \right) =$ | $U_2' =$ | $\left(U_i \cdot U_2' \cdot a \cdot \frac{10^2}{AU_i} \right) =$ | $D_2' =$ | $\left(D_i \cdot D_2' \cdot d \cdot \frac{10^2}{AD_i} \right) =$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0.667 | $2.194 \cdot 10^3$ | -0.943 | $2.752 \cdot 10^3$ |
| -1.333 | $3.438 \cdot 10^3$ | 0.667 | $2.194 \cdot 10^3$ | 0.943 | $5.556 \cdot 10^3$ |
| -1.333 | $3.438 \cdot 10^3$ | 1 | $5.924 \cdot 10^3$ | 0.471 | -275.171 |
| -0.667 | $1.719 \cdot 10^3$ | 1 | $5.924 \cdot 10^3$ | -0.471 | 275.171 |
| -0.667 | $1.719 \cdot 10^3$ | 0.333 | $1.097 \cdot 10^3$ | 0.471 | $2.778 \cdot 10^3$ |
| 0 | 0 | 0.333 | $1.097 \cdot 10^3$ | -0.471 | $1.376 \cdot 10^3$ |

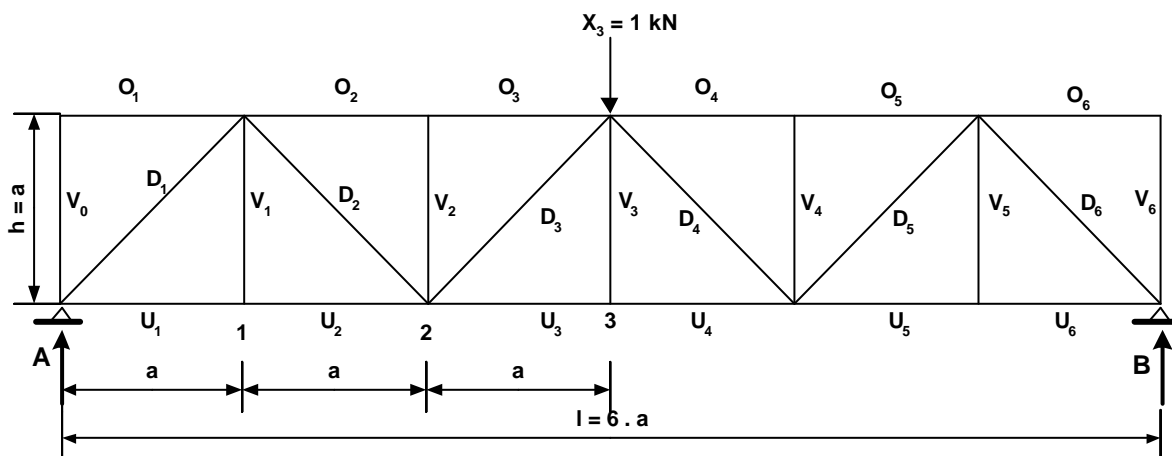
Lastfall: Statisches Hilfssystem: X = 1 kN im Knoten 3

Belastung:

Knoten-Einzelkraft:

$X_3 := 1.0$ kN

Statisches Hilfssystem: X₃ = 1 kN



Auflagerreaktionen:

$$A_3' := 1.0 \cdot \frac{3}{6}$$

$$A_3' = 0.500 \text{ kN}$$

$$B_3' := 1.0 \cdot \frac{3}{6}$$

$$B_3' = 0.500 \text{ kN}$$

Querkräfte am Ersatzträger:

$$Q3'_1 := A3' \quad Q3'_1 = 0.500 \quad \text{kN}$$

$$Q3'_2 := A3' \quad Q3'_2 = 0.500 \quad \text{kN}$$

$$Q3'_3 := Q3'_2 \quad Q3'_3 = 0.500 \quad \text{kN}$$

$$Q3'_4 := Q3'_3 - X_3 \quad Q3'_4 = -0.500 \quad \text{kN}$$

$$Q3'_5 := Q3'_3 \quad Q3'_5 = 0.500 \quad \text{kN}$$

$$Q3'_6 := Q3'_3 \quad Q3'_6 = 0.500 \quad \text{kN}$$

Momente am Ersatzträger:

$$M3'_1 := A3' \cdot a \quad M3'_1 = 2.25 \quad \text{kNm}$$

$$M3'_2 := A3' \cdot 2 \cdot a \quad M3'_2 = 4.5 \quad \text{kNm}$$

$$M3'_3 := A3' \cdot 3 \cdot a \quad M3'_3 = 6.75 \quad \text{kNm}$$

$$M3'_4 := A3' \cdot 4 \cdot a - X_3 \cdot a \quad M3'_4 = 4.5 \quad \text{kNm}$$

$$M3'_5 := A3' \cdot 5 \cdot a - X_3 \cdot 2 \cdot a \quad M3'_5 = 2.25 \quad \text{kNm}$$

Stabkräfte des Hilfssystems $X_3 = 1.0 \text{ kN}$:**Obergurt:**

$$O3'_1 := 0 \quad O3'_2 := \frac{-M3'_2}{a} \quad O3'_2 = -1 \quad \text{kN}$$

$$O3'_3 := O3'_2 \quad O3'_3 = -1 \quad \text{kN}$$

$$O3'_4 := \frac{-M3'_4}{a} \quad O3'_4 = -1 \quad \text{kN}$$

$$O3'_5 := O3'_4 \quad O3'_5 = -1 \quad \text{kN}$$

$$O3'_6 := 0 \quad O3'_6 = 0 \quad \text{kN}$$

Untergurt:

$$U3'_1 := \frac{M3'_1}{a} \quad U3'_1 = 0.5 \quad \text{kN}$$

$$U3'_2 := U3'_1 \quad U3'_2 = 0.5 \quad \text{kN}$$

$$U3'_3 := \frac{M3'_3}{a} \quad U3'_3 = 1.5 \quad \text{kN}$$

$$U3'_4 := U3'_3 \quad U3'_4 = 1.5 \quad \text{kN}$$

$$U3'_5 := \frac{M3'_5}{a} \quad U3'_5 = 0.5 \quad \text{kN}$$

$$U3'_6 := \frac{M3'_5}{a} \quad U3'_6 = 0.5 \quad \text{kN}$$

Diagonalen:

$$D3'_1 := \frac{(-Q3'_1)}{\cos(\alpha)} \quad D3'_1 = -0.707 \quad \text{kN}$$

$$D3'_2 := \frac{Q3'_2}{\cos(\alpha)} \quad D3'_2 = 0.707 \quad \text{kN}$$

$$D3'_3 := \frac{(-Q3'_3)}{\cos(\alpha)} \quad D3'_3 = -0.707 \quad \text{kN}$$

$$D3'_4 := \frac{Q3'_4}{\cos(\alpha)} \quad D3'_4 = -0.707 \quad \text{kN}$$

$$D3'_5 := \frac{Q3'_5}{\cos(\alpha)} \quad D3'_5 = 0.707 \quad \text{kN}$$

$$D3'_6 := \frac{(-Q3'_6)}{\cos(\alpha)} \quad D3'_6 = -0.707 \quad \text{kN}$$

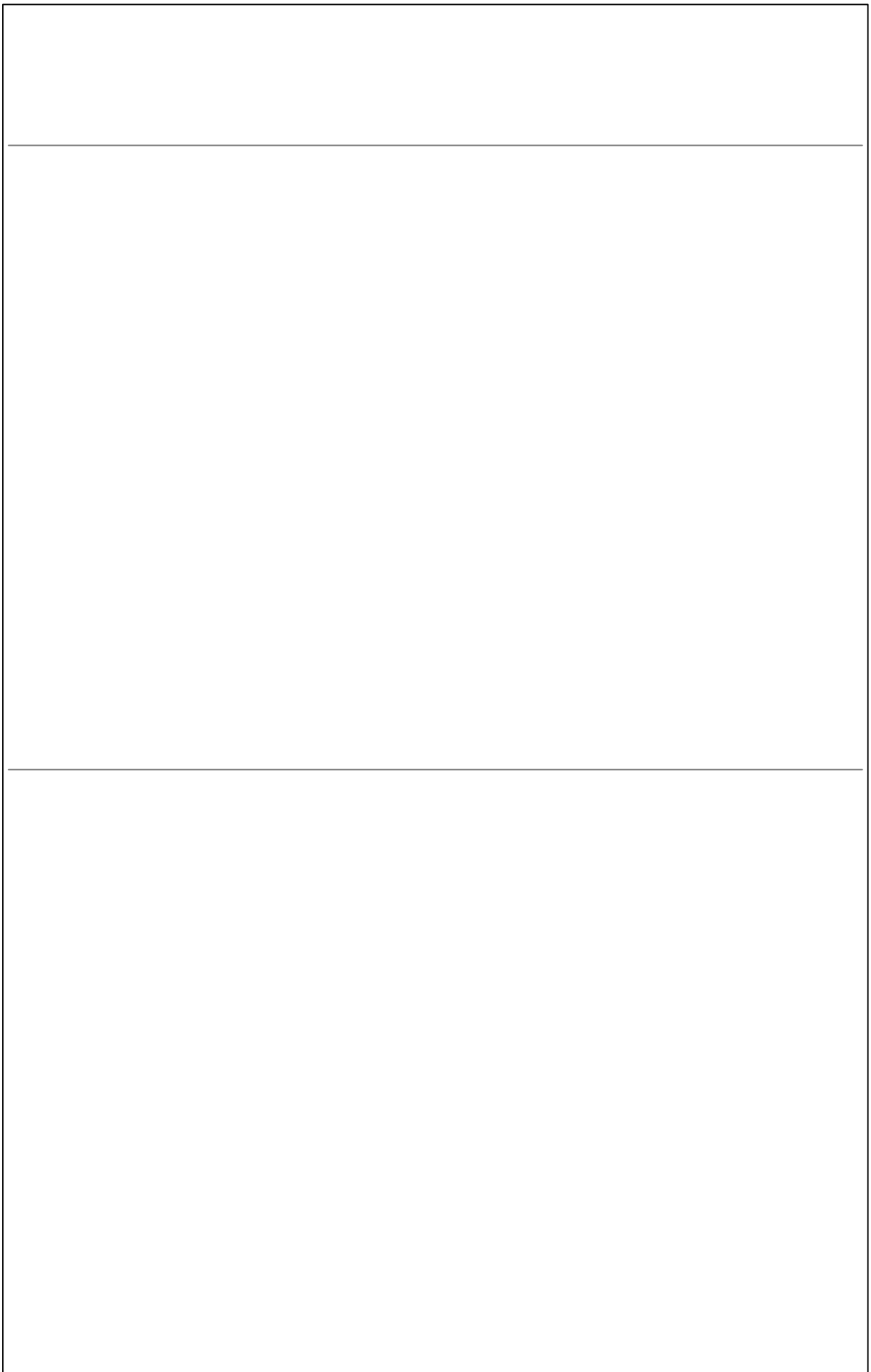
$$\delta_3 := \left[\left(\sum_{i=2}^5 O_i \cdot O3'_i \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AO_i} \right) + \left(\sum_{i=1}^6 U_i \cdot U3'_i \cdot \frac{a \cdot 10^2}{AU_i} \right) + \left(\sum_{i=1}^6 D_i \cdot D3'_i \cdot \frac{d \cdot 10^2}{AD_i} \right) \right]$$

$$\delta_3 = 4.795 \times 10^4$$

$$\delta_3 := \delta_3 \cdot \frac{1}{E}$$

$$\delta_3 = 2.284 \quad \text{cm}$$

| | | | | | |
|-----------|--|-----------|--|-----------------|--|
| $O3'_i =$ | $\left(O_i \cdot O3'_i \cdot a \cdot \frac{10^2}{AO_i} \right) =$ | $U3'_i =$ | $\left(U_i \cdot U3'_i \cdot a \cdot \frac{10^2}{AU_i} \right) =$ | $\bar{D}3'_i =$ | $\left(D_i \cdot D3'_i \cdot d \cdot \frac{10^2}{AD_i} \right) =$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0.5 | $1.646 \cdot 10^3$ | -0.707 | $2.064 \cdot 10^3$ |
| -1 | $2.578 \cdot 10^3$ | 0.5 | $1.646 \cdot 10^3$ | 0.707 | $4.167 \cdot 10^3$ |
| -1 | $2.578 \cdot 10^3$ | 1.5 | $8.886 \cdot 10^3$ | -0.707 | 412.757 |
| -1 | $2.578 \cdot 10^3$ | 1.5 | $8.886 \cdot 10^3$ | -0.707 | 412.757 |
| -1 | $2.578 \cdot 10^3$ | 0.5 | $1.646 \cdot 10^3$ | 0.707 | $4.167 \cdot 10^3$ |
| 0 | 0 | 0.5 | $1.646 \cdot 10^3$ | -0.707 | $2.064 \cdot 10^3$ |



$AD_i =$

| |
|------|
| 42.4 |
| 42.4 |
| 12.6 |
| 42.4 |
| 42.4 |
| 12.6 |
| 42.4 |