

# Mechanik und Tragkonstruktion

Festigkeitslehre

Verformungen

1. Grundbegriffe/Herangehensweise an eine Planungsaufgabe/Beanspruchungen
2. Zentrales Kraftsystem
3. Allgemeines Kraftsystem
4. Tragwerke/Lasten
5. Biegeträger – Schnittkräfte
6. Festigkeitslehre – Querschnittskennwerte, Berechnung von Spannungen, Verformungen

# Festigkeitslehre | Inhalt heute

- Verformung infolge Längsdehnung
- Verformung infolge Krümmung
- Dimensionierung anhand von Beispielen

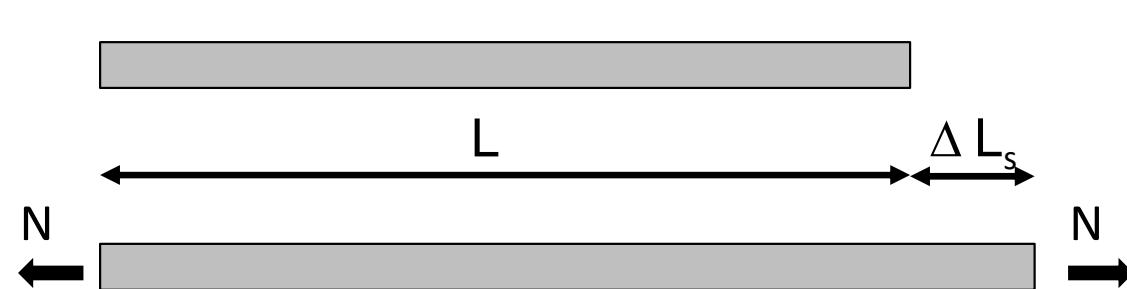
# Festigkeitslehre | Dehnung

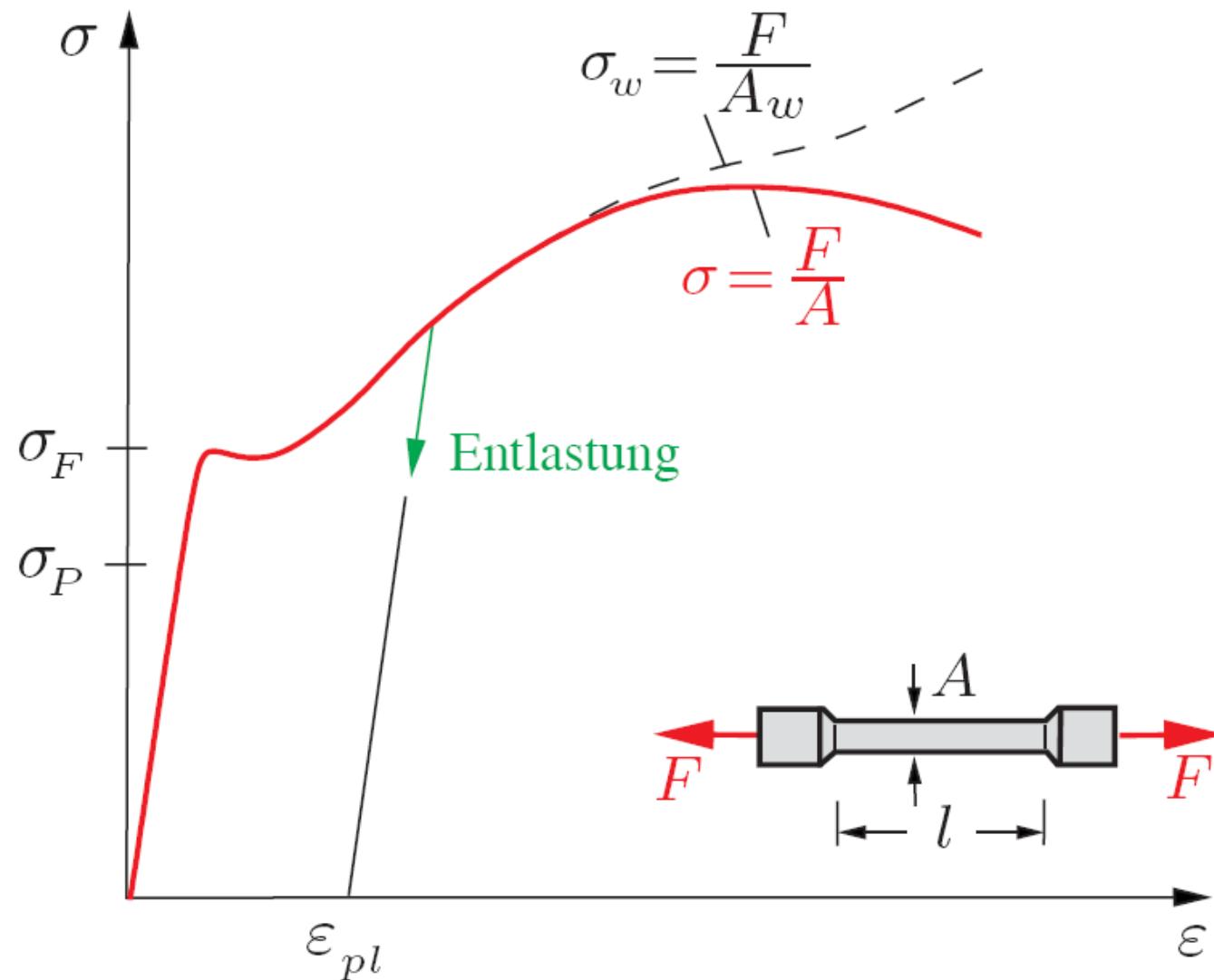
Dehnung ist das Verhältnis der Längenänderung zur Ausgangslänge.

Die Dehnung  $\varepsilon = \Delta L/L$  ist dimensionslos.

Verlängerung: positiv

Verkürzung: negativ



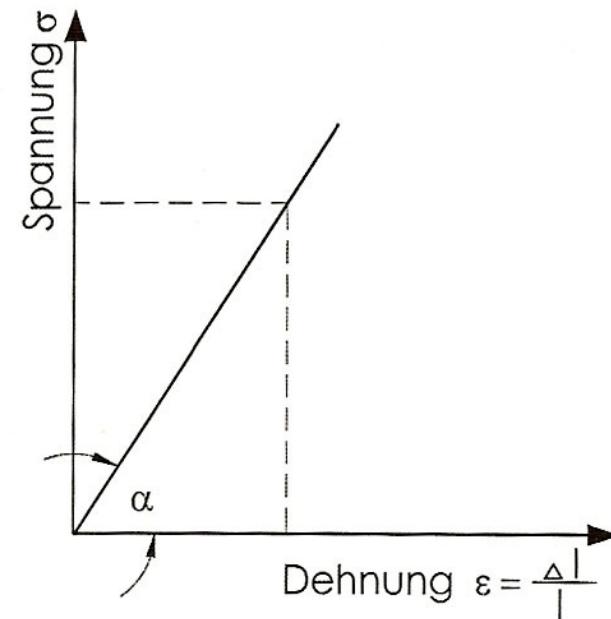


# Festigkeitslehre | Hooksches Gesetz

Spannungen und Dehnungen sind im elastischen Bereich proportional zueinander.

*Hook'sches Gesetz:*

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$



Die Längenänderung  $\Delta L_s$  eines Stabes infolge einer Normalkraft:

$$\varepsilon_s = \Delta L_s / L \rightarrow \Delta L_s = L \cdot \varepsilon_s$$

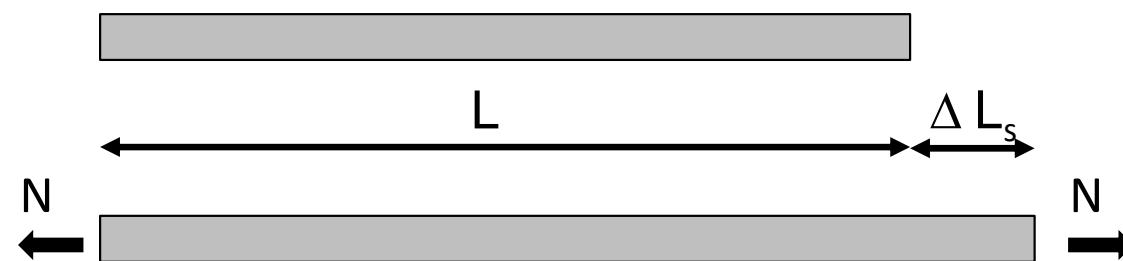
Mit  $\sigma = N/A$  und  $\varepsilon_s = \sigma / E$

$$\rightarrow \Delta L_s = L \cdot N / (E \cdot A)$$

A: Querschnittsfläche [ $\text{cm}^2$ ]

E: E-Modul [ $\text{kN}/\text{cm}^2$ ]

EA: Dehnsteifigkeit [ $\text{kN}$ ]



Längenänderung  $\Delta L_T$  eines Stabes infolge einer Temperaturänderung  $\Delta T$ :

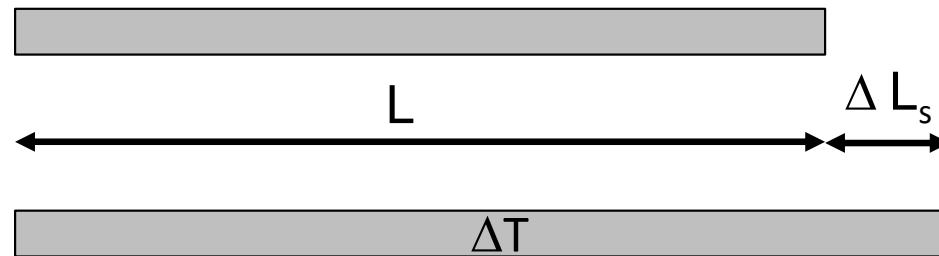
$$\text{Temperaturdehnung } \varepsilon_T = \alpha_T \cdot \Delta T$$

Längenänderung infolge Temperaturänderung:

$$\Delta L_T = L \cdot \varepsilon_T = L \cdot \alpha_T \cdot \Delta T$$

$\Delta T$ : Temperaturänderung [K]

$\alpha_T$ : Wärmeausdehnungskoeffizient [-]



Biegung – Verkrümmung infolge Biegemomenten  $M_y$  und  $M_z$

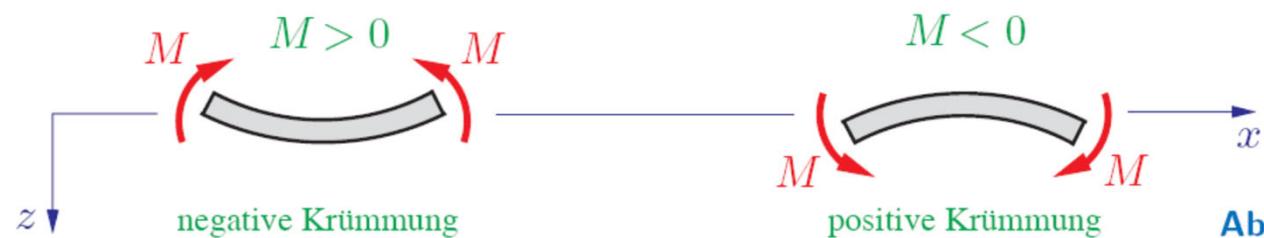
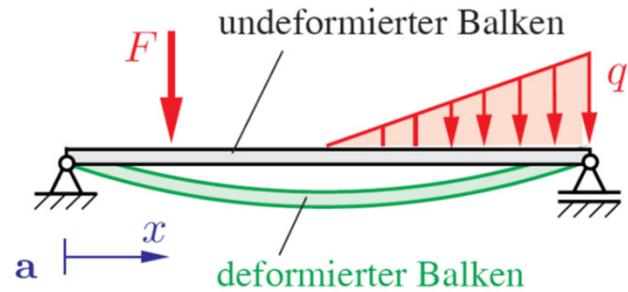
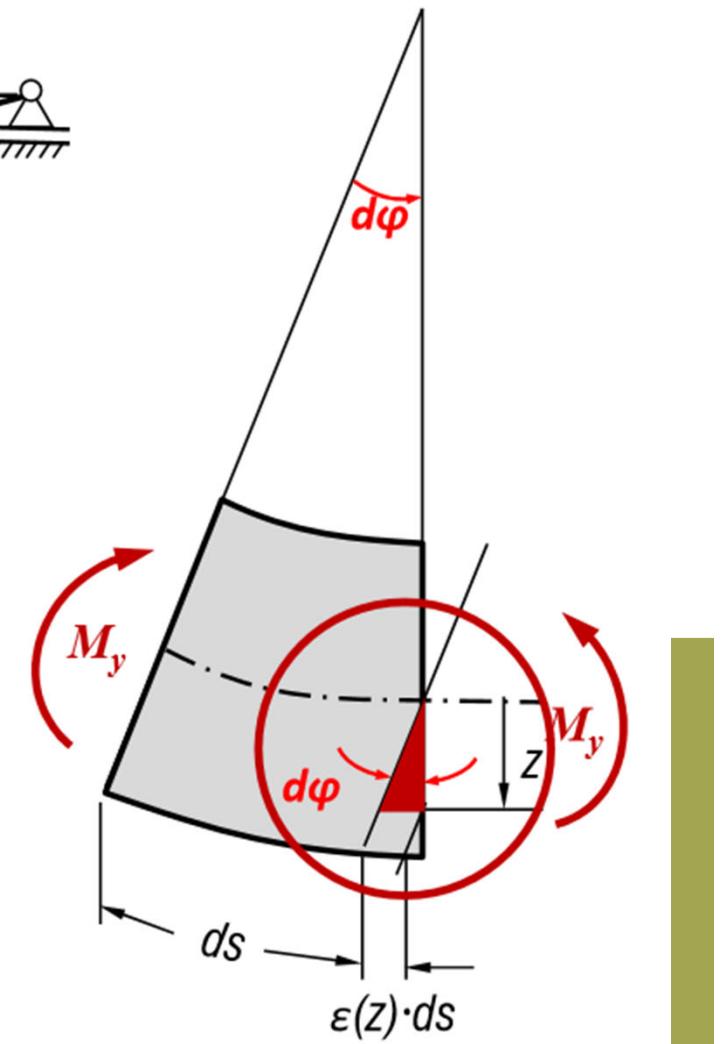
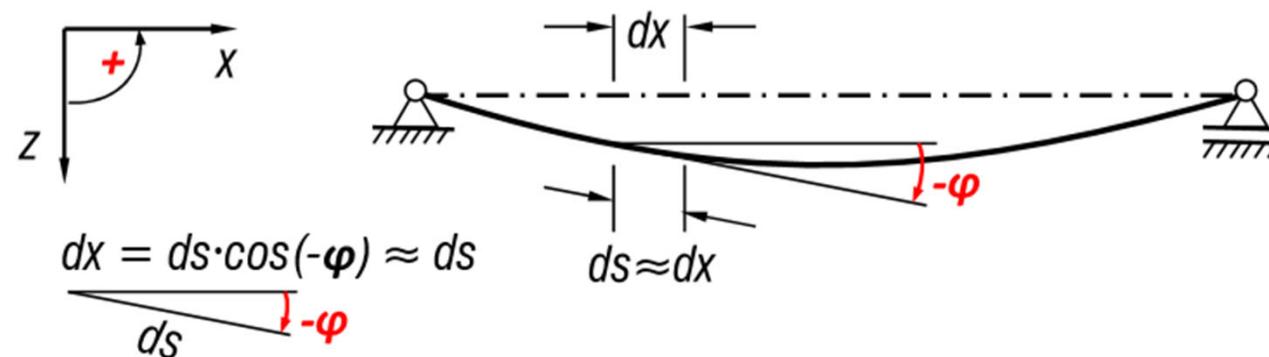
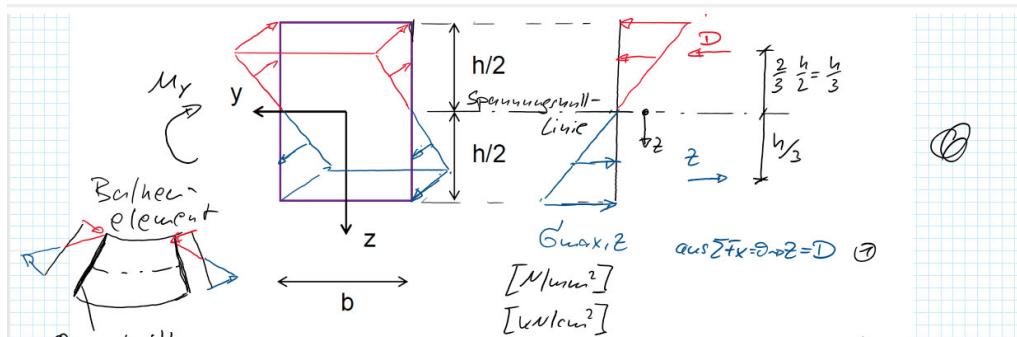
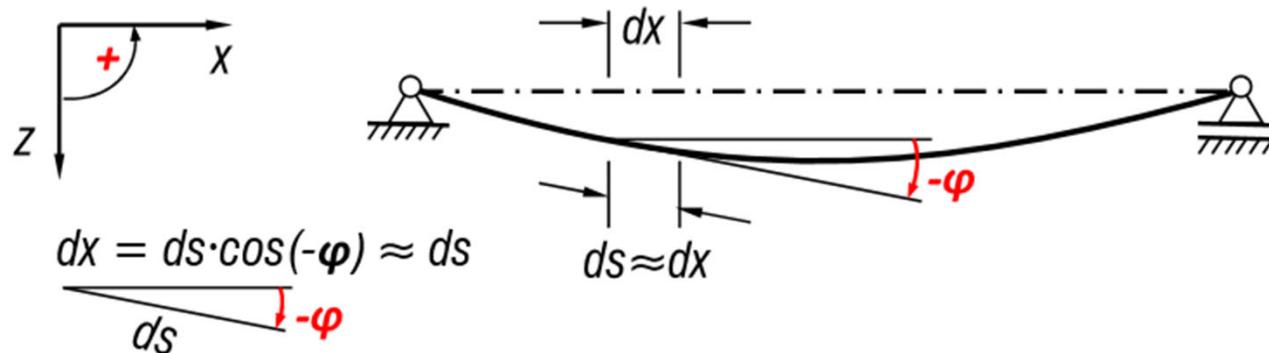


Abb. 4.18

## Verkrümmung infolge Biegemomenten $M_y$



## Verkrümmung infolge Biegemomenten $M_y$



Resultierende aus Druckspannung:

$$D = G_{max} \cdot \frac{h}{2} \cdot b \cdot \frac{1}{2}$$

$$(3) \text{ in } (2): M_y = G_{max} \cdot \frac{h^2}{4} \cdot \frac{2}{3} \cdot h = G_{max} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\Rightarrow G_{max} = \frac{M_y}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \quad \text{Widerstandsmoment}$$

$W [cm^3]$  eines

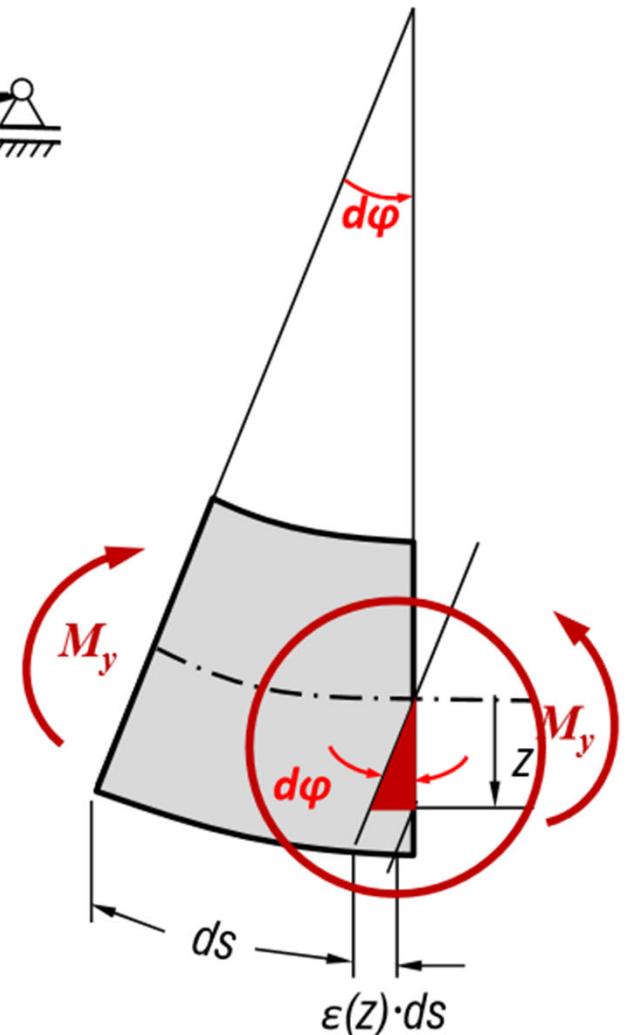
Rechteckquerschnitts

Allgemeiner Zusammenhang zw.  $G(z)$

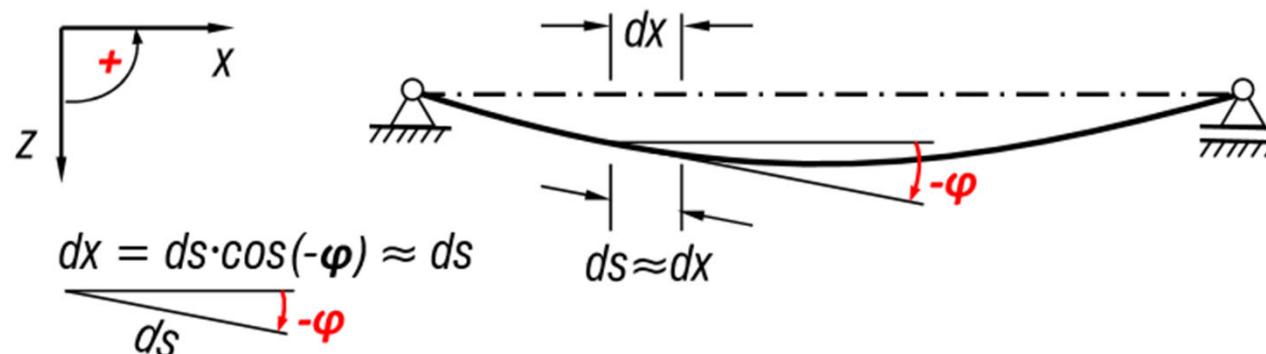
$$G(z) = \frac{M_y \cdot z}{I_y} ; \quad I_y = \frac{b \cdot h^3}{72} \quad \text{beim Rechteckquerschnitt}$$

allgemein gilt:

$$W = \frac{I_y}{z_{max}}$$



## Verkrümmung infolge Biegemomenten $M_y$



### Differentialgleichung der Biegelinie

$$\frac{d\varphi}{dx} = -w''$$

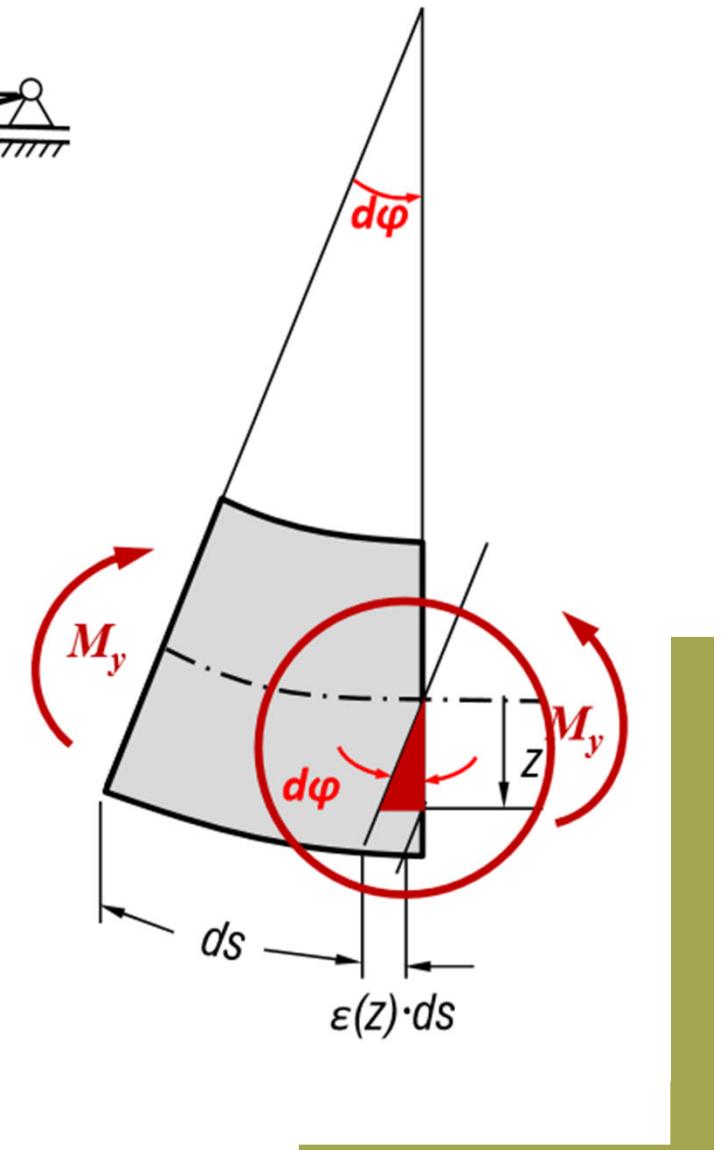
Krümmung = -(2. Ableitung der Durchbiegung)

mit:

$$d\varphi = \frac{M_y}{EI_y} dx$$

folgt:

$$M_y = -EI_y w''$$



## Verkrümmung infolge Biegemomenten $M_y$

$$EI_y w(x) = - \int \int M_y(x) dx + C_1 \cdot x + C_2$$

Durchbiegung 

$$EI_y w'(x) = - \int M_y(x) dx + C_1$$

Verdrehung 

$$EI_y w''(x) = -M_y(x)$$

Krümmung  Moment

$$EI_y w'''(x) = -\frac{dM_y(x)}{dx} = -V_z(x)$$

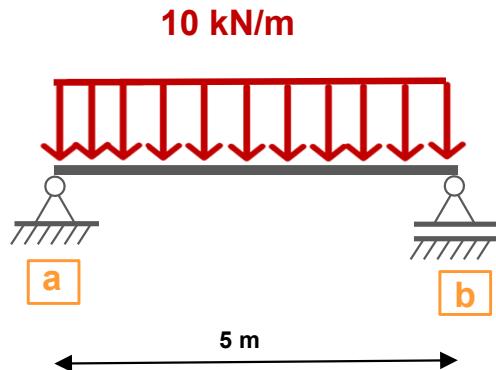
 Querkraft

$$EI_y w''''(x) = -\frac{d^2 M_y(x)}{dx^2} = -\frac{dV_z(x)}{dx} = q_z(x) \quad \text{Last}$$

# Festigkeitslehre | Verformungsberechnung

## Beispiel:

Einfeldträger mit Streckenlast



Stahlträger HEA 180

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$I_y = 2510 \text{ cm}^4$$

### 1 Formeln für Schnitt- und Verschiebungsgrößen

1.1 Einzelstab, Vereinbarung: Lager überträgt nur Vertikalkraft

@ 1.1.1 Träger auf zwei Stützen,  $\alpha = a/l$ ,  $\beta = b/l$

$i$ $El = \text{konst.}$ 	Auflagerkräfte 	M-Linie 	Biegelinie 
1 	$\frac{ql}{2}$	$\frac{ql}{2}$	$\frac{ql^2}{8}$ bei $\xi_0 = 0,5$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{q l^4}{76,8 EI}$
2 	$\frac{q l}{6}$	$\frac{q l}{3}$	$\frac{q l^2}{15,59}$ bei $\xi_0 = 0,577$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{q l^4}{153,6 EI}$
3 	$\frac{q l}{3}$	$\frac{q l}{6}$	$\frac{q l^2}{15,59}$ bei $\xi_0 = 0,423$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{q l^4}{153,6 EI}$
4 	$\frac{2q_i + q_k - q_i \xi_0}{6}$	$\frac{q_i + 2q_k}{6}$	$\left( \frac{q_i}{2} + \frac{q_k - q_i \xi_0}{3} \right) \xi_0^2 / l^2$ bei $\xi_0 = \frac{(2q_i + q_k)/\sqrt{3}}{q_i\sqrt{3} + \sqrt{q_i^2 + q_i q_k + q_k^2}}$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{q_i + q_k}{153,6 EI} l^4$
5 	$\frac{ql}{3}$	$\frac{ql}{3}$	$\frac{ql^2}{9,6}$ bei $\xi_0 = 0,5$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{61 ql^4}{5760 EI}$
6 	$\frac{F}{2}$	$\frac{F}{2}$	$\frac{Fl}{4}$ bei $\xi_0 = 0,5$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{Fl^3}{48 EI}$
7 	$\beta F$	$\alpha F$	$\alpha \beta F l$ bei $\xi_0 = \alpha$ $\alpha \leq \frac{1}{2}: \frac{3-4\alpha^2}{48 EI} \alpha F l^3$
8 	$\frac{n-1}{2} F$	$\frac{n-1}{2} F$	$n$ gerade: $\frac{n}{8} Fl$ $n$ ungerade: $\frac{n}{8} Fl \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{nFl^3}{76,8 EI} \left( 1 - \frac{0,8}{n^2} \right)$
9 	$\frac{n}{2} F$	$\frac{n}{2} F$	$n$ gerade: $\frac{n}{8} Fl$ $n$ ungerade: $\frac{n}{8} Fl \left( 1 + \frac{1}{n^2} \right)$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{nFl^3}{76,8 EI} \left( 1 + \frac{0,4}{n^2} + \frac{0,2}{n^4} \right)$
9a 			$x_0^2 (F_1 + F_2)$ bei $x_0 = \frac{1}{2} \left( l - \frac{F_2}{F_1 + F_2} c \right)$ wenn $x_0 + c \leq l$
10 	$-\frac{M^e}{l}$	$\frac{M^e}{l}$	$\alpha \leq \frac{1}{2}: \beta M^e$ bei $\xi_0 = \alpha$ $\alpha \geq \frac{1}{2}: -\alpha M^e$ bei $\xi_0 = \alpha$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{1-4\alpha^2}{16 EI} M^e l^2$ $\alpha \geq \frac{1}{2}: \frac{4\beta^2-1}{16 EI} M^e l^2$
11 	$\frac{M_k - M_i}{l}$	$-\frac{M_k - M_i}{l}$	$M_i$ oder $M_k$ $w_{\text{Mitte}} = \frac{M_i + M_k}{16 EI} l^2$
12 	0	0	0 $w_{\text{Mitte}} = \frac{\kappa^e l^2}{8}$
13 	0	0	0 $w_{\text{Mitte}} = \frac{w_i + w_k}{2}$

# Festigkeitslehre | Rückblick

## Beispiel 2:

Verformung in Feldmitte max  $w = 2 \text{ cm}$

Stahl:

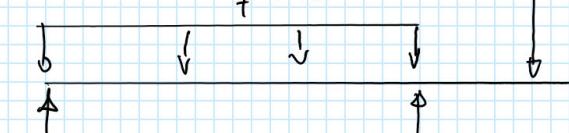
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul. Spannung } \sigma = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Ursprungssystem  $(\textcircled{9}) + (\textcircled{7})$ :

$$q = 10$$

Auflagerkräfte:



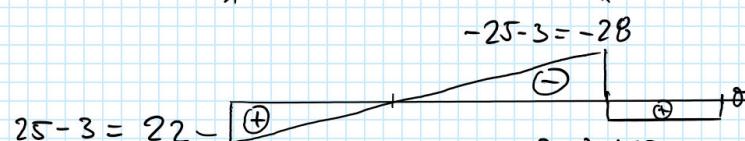
$$A = 25 - 3 = 22$$

$$5,0$$

$$B = 25 + 13$$

$$= 38$$

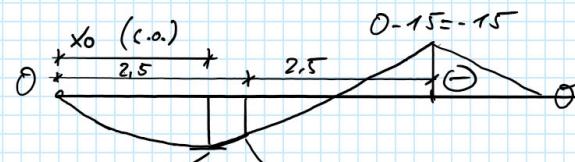
$\checkmark F+q$



$$-25 - 3 = -28$$

$$0 + 10 = +10$$

$\checkmark M+F$



$$M_{\max} = 24,2$$

s.o.

$$M_{\text{Mitte}} = -7,5 + 31,25$$

$$= 23,75$$

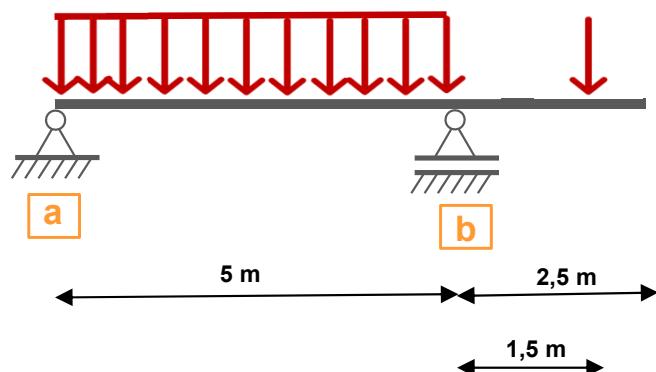
aber eine Näherung  
für  $M_{\max}$

② 1.1.6 Träger auf zwei Stützen mit Kragarm

$EI = \text{konst.}$	M-Linie Auflagerkräfte	$\max M$	$M_k$	$w_{\text{Mitte}}$	Biegelinie
1		$(l^2 - c^2) \frac{q}{2l}$	$(l+c)^2 \frac{q}{2l}$	$\frac{A^2}{2q}$	$-\frac{qc^2}{2}$
2		$\frac{ql}{2}$	$\frac{ql}{2}$	$\frac{ql^2}{8}$	$0$
3		$-\frac{qc^2}{2l}$	$\left(1 + \frac{c}{2l}\right)qc$	$M_k$	$-\frac{qc^2}{2}$
4		$\frac{Fb}{l}$	$\frac{Fa}{l}$	$\frac{Fab}{l}$	$0$
5		$-\frac{Fa}{l}$	$\left(1 + \frac{a}{l}\right)F$	$M_k$	$-Fa$
6		$-\frac{M^e}{l}$	$\frac{M^e}{l}$	$-M^e$	$-\frac{M^e l^2}{16EI}$
7		0	0	0	$\kappa^e l^2 / 8$
8		0	0	0	$-\kappa^e c^2 / 2$

10 kN/m

10 kN



**Profilreihen IPE, HEA, HEB, HEM**

Profilreihe		<b>IPE</b>								
Nennhöhe		<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>	<b>140</b>	<b>160</b>	<b>180</b>	<b>200</b>	<b>220</b>	<b>240</b>
<i>h</i>	mm	80	100	120	140	160	180	200	220	240
<i>b</i>	mm	46	55	64	73	82	91	100	110	120
<i>t<sub>w</sub></i>	mm	3,8	4,1	4,4	4,7	5	5,3	5,6	5,9	6,2
<i>t<sub>f</sub></i>	mm	5,2	5,7	6,3	6,9	7,4	8	8,5	9,2	9,8
<i>r</i>	mm	5	7	7	7	9	9	12	12	15
<i>d</i>	mm	59,6	74,6	93,4	112	127	146	159	178	190
<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	7,64	10,3	13,2	16,4	20,1	23,9	28,5	33,4	39,1
<i>A<sub>Vy</sub></i>	cm <sup>2</sup>	4,78	6,27	8,06	10,1	12,1	14,6	17,0	20,2	23,5
<i>A<sub>Vz</sub></i>	cm <sup>2</sup>	3,6	5,1	6,3	7,6	9,7	11,2	14	15,9	19,1
<i>A<sub>w</sub></i>	cm <sup>2</sup>	26,45	36,33	47,26	59,31	72,60	86,92	102,5	118,9	136,6
<i>g<sub>k</sub></i>	kN/m	0,06	0,081	0,104	0,129	0,158	0,188	0,224	0,262	0,307
<i>U</i>	m <sup>2</sup> /m	0,3278	0,3998	0,4752	0,5502	0,6221	0,6979	0,7682	0,8484	0,9210
<i>a</i>	-	0,374	0,391	0,389	0,386	0,396	0,391	0,404	0,394	0,398
<i>d/t<sub>w</sub></i>	-	15,7	18,2	21,2	23,9	25,4	27,5	28,4	30,1	30,7
<i>c/t<sub>f</sub></i>	-	3,1	3,2	3,6	3,9	4	4,2	4,1	4,4	4,3
<i>I<sub>y</sub></i>	cm <sup>4</sup>	80,1	171	318	541	869	1320	1940	2770	3890
<i>W<sub>el,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	20	34,2	53	77,3	109	146	194	252	324
<i>W<sub>pl,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	23,22	39,41	60,73	88,34	123,9	166,4	220,6	285,4	366,6
<i>k<sub>My</sub></i>	-	0,3409	0,37	0,351	0,336	0,355	0,342	0,369	0,352	0,371
<i>a<sub>Vy</sub></i>	-	0,6538	0,647	0,642	0,638	0,639	0,636	0,64	0,644	0,651
<i>i<sub>y</sub></i>	cm	3,24	4,07	4,9	5,74	6,58	7,42	8,26	9,11	9,97

**Profilreihen IPE, HEA, HEB, HEM (Fortsetzung)**

Profilreihe		IPE								
Nennhöhe		270	300	330	360	400	450	500	550	600
<i>h</i>	mm	270	300	330	360	400	450	500	550	600
<i>b</i>	mm	135	150	160	170	180	190	200	210	220
<i>t<sub>w</sub></i>	mm	6,6	7,1	7,5	8	8,6	9,4	10,2	11,1	12
<i>t<sub>f</sub></i>	mm	10,2	10,7	11,5	12,7	13,5	14,6	16	17,2	19
<i>r</i>	mm	15	15	18	18	21	21	21	24	24
<i>d</i>	mm	220	249	271	299	331	379	426	468	514
<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	45,9	53,8	62,6	72,7	84,5	98,8	116	134	156
<i>A<sub>Vy</sub></i>	cm <sup>2</sup>	27,5	32,1	36,8	43,2	48,6	55,5	64,0	72,2	83,6
<i>A<sub>Vz</sub></i>	cm <sup>2</sup>	22,1	25,7	30,8	35,1	42,7	50,8	60,4	71,9	83,8
<i>A<sub>w</sub></i>	cm <sup>2</sup>	164,7	197,8	230,25	267,68	320,78	395,55	477,36	572,32	674,4
<i>g<sub>k</sub></i>	kN/m	0,361	0,422	0,491	0,571	0,663	0,776	0,907	1,055	1,224
<i>U</i>	m <sup>2</sup> /m	1,042	1,161	1,2541	1,3539	1,4667	1,6055	1,7435	1,8774	2,0148
<i>a</i>	-	0,400	0,403	0,412	0,406	0,425	0,438	0,448	0,461	0,464
<i>d/t<sub>w</sub></i>	-	33,3	35	36,1	37,3	38,5	40,3	41,8	42,1	42,8
<i>c/t<sub>f</sub></i>	-	4,8	5,3	5,1	5	4,8	4,7	4,6	4,4	4,2
<i>I<sub>y</sub></i>	cm <sup>4</sup>	5790	8360	11770	16270	23130	33740	48200	67120	92080
<i>W<sub>el,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	429	557	713	904	1160	1500	1930	2440	3070
<i>W<sub>pl,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	484	628,4	804,3	1019	1307	1702	2194	2787	3512
<i>k<sub>My</sub></i>	-	0,3591	0,3507	0,3687	0,3577	0,3807	0,3847	0,3847	0,4051	0,4013
<i>a<sub>Vy</sub></i>	-	0,6411	0,6323	0,6322	0,6318	0,6204	0,5996	0,5885	0,5729	0,5677
<i>i<sub>y</sub></i>	cm	11,2	12,5	13,7	15	16,5	18,5	20,4	22,3	24,3

**Profilreihen IPE, HEA, HEB, HEM (Fortsetzung)**

Profilreihe		HEA								
Nennhöhe		100	120	140	160	180	200	220	240	260
<i>h</i>	mm	96	114	133	152	171	190	210	230	250
<i>b</i>	mm	100	120	140	160	180	200	220	240	260
<i>t<sub>w</sub></i>	mm	5	5	5,5	6	6	6,5	7	7,5	7,5
<i>t<sub>f</sub></i>	mm	8	8	8,5	9	9,5	10	11	12	12,5
<i>r</i>	mm	12	12	12	15	15	18	18	21	24
<i>d</i>	mm	56	74	92	104	122	134	152	164	177
<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	21,2	25,3	31,4	38,8	45,3	53,8	64,3	76,8	86,8
<i>A<sub>Vy</sub></i>	cm <sup>2</sup>	16,0	19,2	23,8	28,8	34,2	40,0	48,4	57,6	65,0
<i>A<sub>Vz</sub></i>	cm <sup>2</sup>	7,5	8,4	10,1	13,2	14,5	18,1	20,6	25,1	28,7
<i>A<sub>w</sub></i>	cm <sup>2</sup>	40,0	49,0	63,8	80,4	91,2	110,5	131,6	154,5	168,8
<i>g<sub>k</sub></i>	kN/m	0,167	0,199	0,247	0,304	0,355	0,423	0,505	0,603	0,682
<i>U</i>	m <sup>2</sup> /m	0,5614	0,6774	0,7944	0,9062	1,024	1,136	1,255	1,369	1,484
<i>a</i>	-	0,245	0,241	0,242	0,258	0,245	0,257	0,247	0,250	0,251
<i>d/t<sub>w</sub></i>	-	11,2	14,8	16,7	17,3	20,3	20,6	21,7	21,9	23,6
<i>c/t<sub>f</sub></i>	-	4,4	5,7	6,5	6,9	7,6	7,9	8	7,9	8,2
<i>I<sub>y</sub></i>	cm <sup>4</sup>	349	606	1030	1670	2510	3690	5410	7760	10450
<i>W<sub>el,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	72,8	106	155	220	294	389	515	675	836
<i>W<sub>pl,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	83,01	119,5	173,5	245,1	324,9	429,5	568,5	744,6	919,8
<i>k<sub>My</sub></i>	-	0,2693	0,2474	0,233	0,2515	0,2324	0,2484	0,2333	0,2414	0,248
<i>a<sub>Vy</sub></i>	-	0,8113	0,8063	0,7968	0,7928	0,7987	0,7946	0,7953	0,7988	0,8056
<i>i<sub>y</sub></i>	cm	4,06	4,89	5,73	6,57	7,45	8,28	9,17	10,1	11

**Profilreihen IPE, HEA, HEB, HEM (Fortsetzung)**

Profilreihe		HEA								
Nennhöhe		280	300	320	340	360	400	450	500	550
<i>h</i>	mm	270	290	310	330	350	390	440	490	540
<i>b</i>	mm	280	300	300	300	300	300	300	300	300
<i>t<sub>w</sub></i>	mm	8	8,5	9	9,5	10	11	11,5	12	12,5
<i>t<sub>f</sub></i>	mm	13	14	15,5	16,5	17,5	19	21	23	24
<i>r</i>	mm	24	27	27	27	27	27	27	27	27
<i>d</i>	mm	196	208	225	243	261	298	344	390	438
<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	97,3	113	124	133	143	159	178	198	212
<i>A<sub>Vy</sub></i>	cm <sup>2</sup>	72,8	84,0	93,0	99,0	105,0	114,0	126,0	138,0	144,0
<i>A<sub>Vz</sub></i>	cm <sup>2</sup>	31,8	37,8	40,8	44,5	49,2	57,4	65,8	75,2	84
<i>A<sub>w</sub></i>	cm <sup>2</sup>	195,2	222,7	251,1	282,2	315	387,2	457,7	532,8	615
<i>g<sub>k</sub></i>	kN/m	0,764	0,883	0,976	1,048	1,121	1,248	1,398	1,551	1,662
<i>U</i>	m <sup>2</sup> /m	1,603	1,717	1,756	1,795	1,834	1,912	2,011	2,11	2,209
<i>a</i>	-	0,252	0,257	0,250	0,256	0,266	0,283	0,292	0,303	0,321
<i>d/t<sub>w</sub></i>	-	24,5	24,5	25	25,6	26,1	27,1	29,9	32,5	35
<i>c/t<sub>f</sub></i>	-	8,6	8,5	7,6	7,2	6,7	6,2	5,6	5,1	4,9
<i>I<sub>y</sub></i>	cm <sup>4</sup>	13670	18260	22930	27690	33090	45070	63720	86970	111900
<i>W<sub>el,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	1010	1260	1480	1680	1890	2310	2900	3550	4150
<i>W<sub>p8,y</sub></i>	cm <sup>3</sup>	1112	1383	1628	1850	2088	2562	3216	3949	4622
<i>k<sub>My</sub></i>	-	0,2409	0,2471	0,2449	0,2478	0,251	0,2617	0,2665	0,2715	0,2832
<i>a<sub>Vy</sub></i>	-	0,7994	0,8029	0,7975	0,7879	0,7797	0,7565	0,7429	0,7309	0,7099
<i>i<sub>y</sub></i>	cm	11,9	12,7	13,6	14,4	15,2	16,8	18,9	21	23

## Beispiel 2a:

Verformung an der Kragarmspitze

Stahl:

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

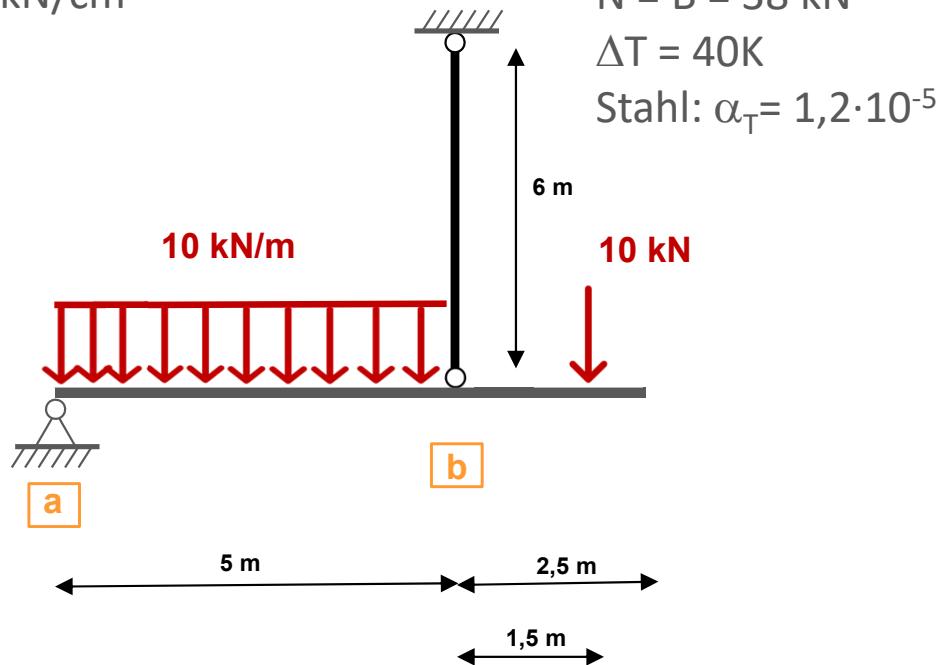
$$\text{zul. Spannung } \sigma = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Zugstab A = 8cm<sup>2</sup>

N = B = 38 kN

ΔT = 40K

Stahl:  $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5}$



## Beispiel 3 a: Kragträger

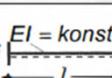
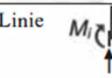
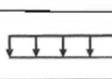
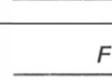
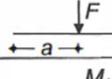
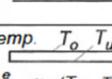
Verformung am Kragarmende max  $w = 2 \text{ cm}$

**Stahl:**

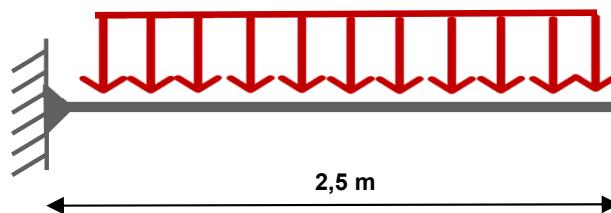
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul. Spannung } \sigma = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

@ 1.1.7 Kragträger

	$i$ $EI = \text{konst.}$ $k$ $\downarrow l \downarrow$	M-Linie 	$M_i$ 	$w_k$ 	$\varphi_k$ 
1		$ql$	$-\frac{ql^2}{2}$	$\frac{ql^4}{8EI}$	$\frac{ql^3}{6EI}$
2		$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql^2}{6}$	$\frac{ql^4}{30EI}$	$\frac{ql^3}{24EI}$
3		$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql^2}{3}$	$\frac{11ql^4}{120EI}$	$\frac{ql^3}{8EI}$
4		$F$	$-Fl$	$\frac{Fl^3}{3EI}$	$\frac{Fl^2}{2EI}$
5		$F$	$-Fa$	$\left(\frac{l}{2} - \frac{a}{6}\right)Fa^2$	$\frac{Fa^2}{2EI}$
6		0	$M_k$	$-\frac{M_k l^2}{2EI}$	$-\frac{M_k l}{EI}$
7		0	0	$-\frac{\kappa^e l^2}{2}$	$-\kappa^e l$

4 kN/m



## Beispiel 3 b: Kragträger

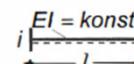
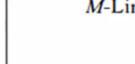
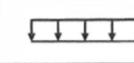
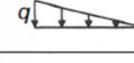
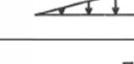
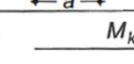
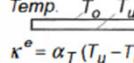
Verformung am Kragarmende max  $w = 2 \text{ cm}$

Holz:

$$E = 10.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{zul. Spannung } \sigma = 16 \text{ N/mm}^2$$

@ 1.1.7 Kragträger

	M-Linie 	Biegelinie 	
A	$M_i$	$w_k$	$\varphi_k$
1 	$ql$	$-\frac{ql^2}{2}$	$\frac{ql^4}{8EI}$
2 	$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql^2}{6}$	$\frac{ql^4}{30EI}$
3 	$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql^2}{3}$	$\frac{11ql^4}{120EI}$
4 	$F$	$-Fl$	$\frac{Fl^3}{3EI}$
5 	$F$	$-Fa$	$\left(\frac{l}{2} - \frac{a}{6}\right)Fa^2 / EI$
6 	0	$M_k$	$-\frac{M_k l^2}{2EI}$
7 	0	0	$-\frac{\kappa^e l^2}{2}$

4 kN/m

