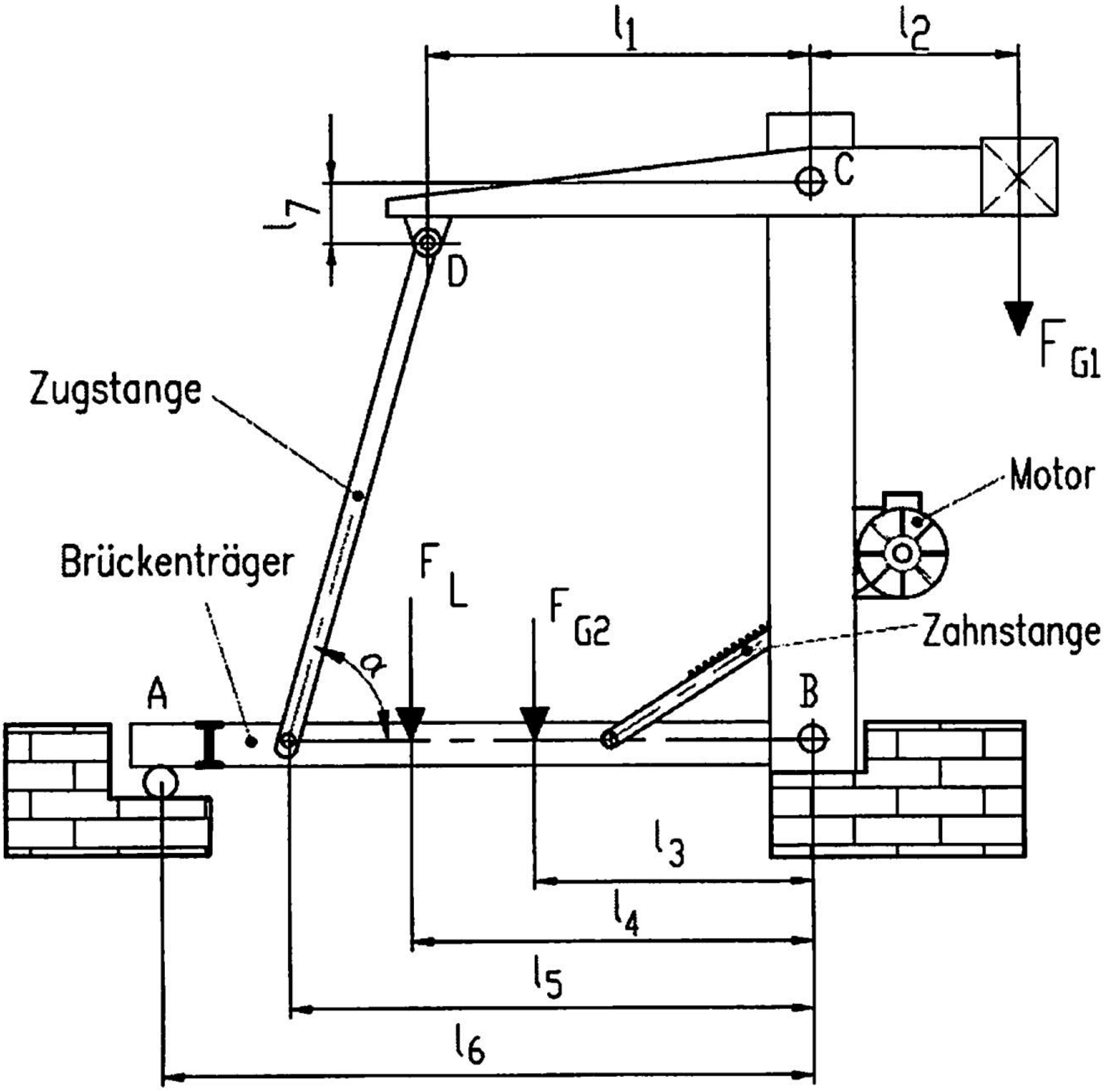
tgt HP 2011/12-5: Klappbrücke

Klappbrücken werden an Kanälen eingesetzt um Schiffe mit höheren Aufbauten die Durchfahrt zu ermöglichen. Das Hochklappen des Brückenbodens erfolgt durch eine Zahnstange und wird durch das Gegengewicht F_{G1} unterstützt. Alle Angaben und Größen beziehen sich auf eine Brückenhälfte.



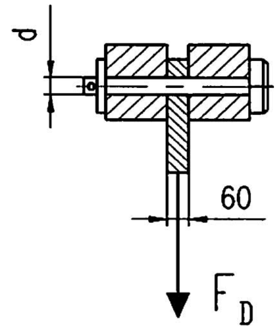
Daten:

l_1	=	1600 mm		α	=	70°
l_2	=	900 mm	Gegengewicht:	F_{G1}	=	60 kN
l_3	=	1200 mm	Brücke:	F_{G2}	=	50 kN
l_4	=	1700 mm	Last:	F_L	=	70 kN
l_5	=	2100 mm				
l_6	=	2800 mm				
l_7	=	100 mm				

Teilaufgaben:		Punkte
1	Berechnen Sie für die gezeichnete Stellung die Kraft F_D in der Zugstange, die durch das Gegengewicht F_{G1} entsteht.	4,0

2 Ermitteln Sie zeichnerisch die Kräfte in den Brückenlagern A und B in der gezeichneten Stellung, wenn die Kraft in der Zugstange F_D = 37 kN beträgt. Die Zahnstange ist in dieser Stellung entlastet. 5,0

3 Die Zugstange ist im Lager D durch einen Bolzen befestigt. 6,0

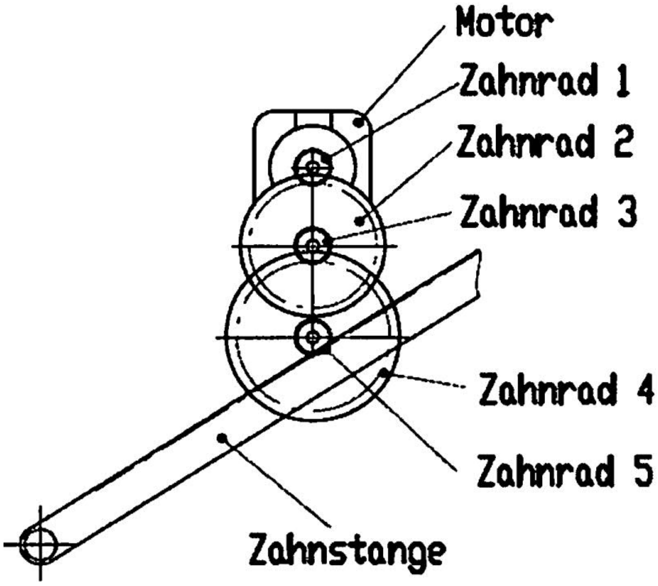


Daten:

Bolzenwerkstoff	C15		
Kraft in der Zugstange:	F_D	=	37 kN
Sicherheit gegen Abscheren:	v	=	10
Zulässige Flächenpressung:	p_{zul}	=	44 N/mm²

Bestimmen Sie den erforderlichen Durchmesser d des Bolzens.

4 Der Brückenantrieb erfolgt über Motor – Getriebe – Zahnstange.



Motordaten:

Leistung	P_{Mot}	=	5,5 kW
Drehzahl	n_{Mot}	=	480 min^{-1}

Getriebedaten:

Wirkungsgrad ohne Zahnstange η_{Getr} = 0,9

Zähnezahlen:

Zahnrad 1	z_1	=	15
Zahnrad 2	z_2	=	68
Zahnrad 3	z_3	=	15
Zahnrad 4	z_4	=	72
Zahnrad 5	z_5	=	15
Modul:	m	=	4 mm

4.1 Berechnen Sie die Drehzahl n_5 und das Drehmoment M_5 des Zahnrades 5. 4,0

4.2 Bestimmen Sie die Kraft, die der Antrieb auf die Zahnstange überträgt. 3,0

4.3 Zum Öffnen der Brücke muss die Zahnstange um 2000 mm bewegt werden. Berechnen Sie die dafür notwendige Zeit t_H. 3,0

5 Der Brückenträger besteht aus dem Profil IPE 240 DIN 1025 – S235JR und wird mit einem Sicherheitsfaktor von v = 2 auf Biegung berechnet. 5,0

Bestimmen Sie die Stelle und den Betrag des maximalen Biegemoments im Brückenträger und überprüfen Sie, ob der Träger ausreichend dimensioniert wurde.

Die Kräfte in den Lagern A und B sind:

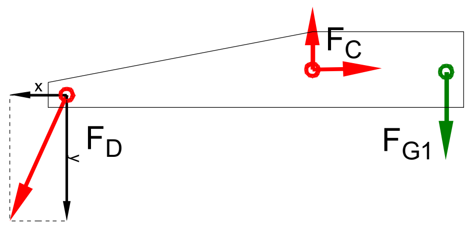
F_A = 38 kN
F_B = 49 kN / 105°.

Die Zahnstange ist entlastet.

Σ=30,0

Lösungsvorschläge

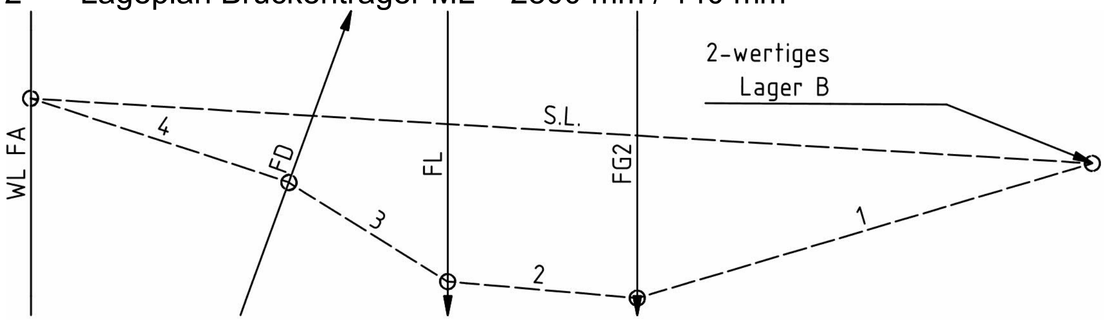
1 Lageskizze Waagbalken



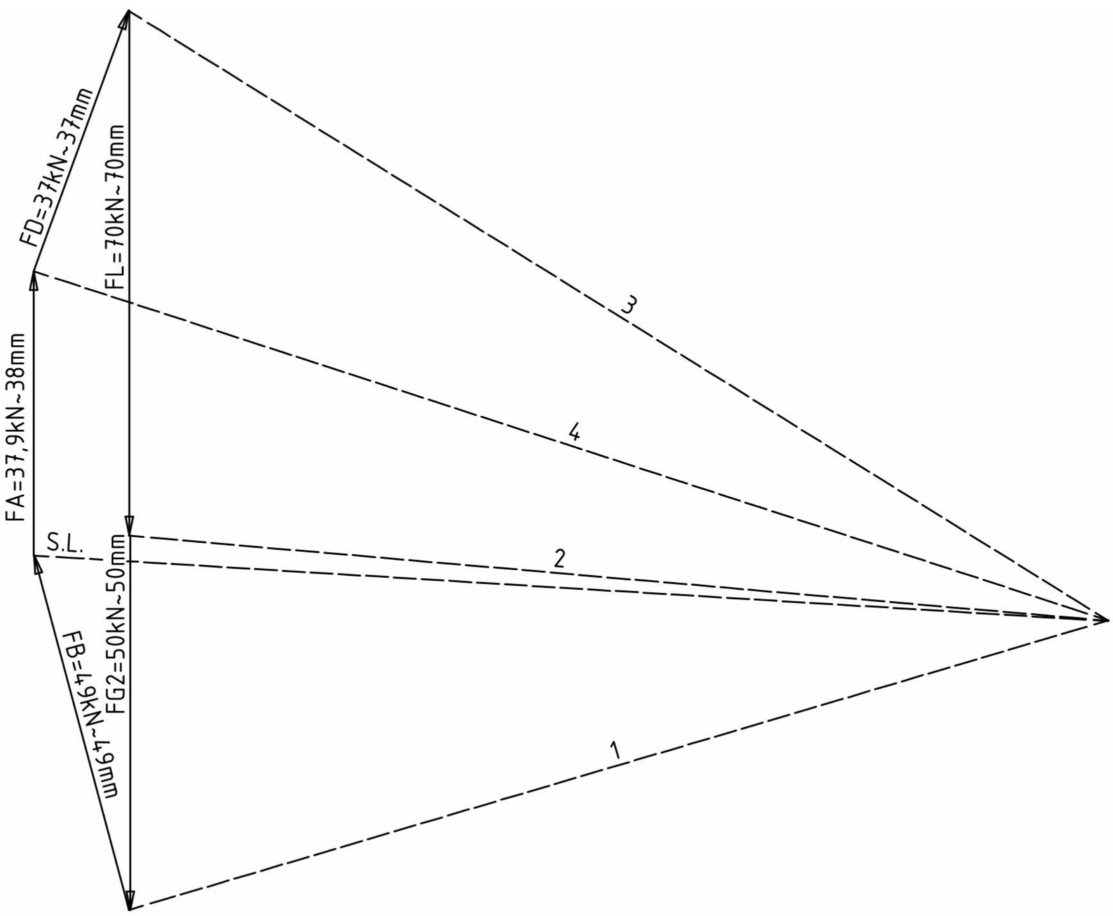
$$\Sigma M_C = 0 = -F_{Dx} \cdot l_7 + F_{Dy} \cdot l_1 - F_{G1} \cdot l_2$$
$$= -F_D \cdot \cos\alpha \cdot l_7 + F_D \cdot \sin\alpha \cdot l_1 - F_{G1} \cdot l_2 \quad \Rightarrow$$
$$F_D = F_{G1} \cdot \frac{l_2}{-\cos\alpha \cdot l_7 + \sin\alpha \cdot l_1}$$
$$= 60\,kN \cdot \frac{900\,mm}{-\cos 70° \cdot 100\,mm + \sin 70° \cdot 1600\,mm} = 36{,}75\,kN$$

Zweiseitiger Hebel

2 Lageplan Brückenträger ML = 2800 mm / 140 mm 5,0



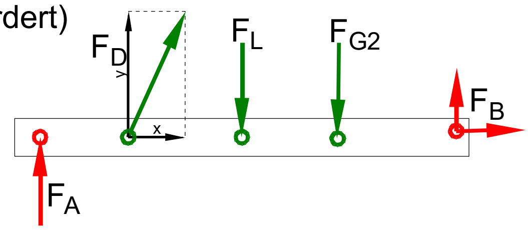
Kräfteplan MK = 120 kN / 120 mm



Schlusslinienverfahren

Noch 2: Rechnerische Lösung (nicht gefordert) 5,0

Lageskizze Brückenträger



$$F_{Dx}=F_D\cdot\cos\alpha=37\,kN\cdot\cos 70°=34{,}77\,kN$$
$$F_{Dy}=F_D\cdot\sin\alpha=37\,kN\cdot sind\,70°=12{,}65\,kN$$
$$\Sigma M_B=0=-F_A\cdot l_6-F_{Dy}\cdot l_5+F_L\cdot l_4+F_{G2}\cdot l_3 \quad\Rightarrow$$
$$F_A=\frac{-F_{Dy}\cdot l_5+F_L\cdot l_4+F_{G2}\cdot l_3}{l_6}=\frac{-34{,}77\,kN\cdot 2100\,mm+70\,kN\cdot 1700\,mm+50\,kN\cdot 1200\,mm}{2800\,mm}$$
$$=37{,}85\,kN$$
$$\Sigma F_x=0=F_{Dx}+F_{Bx} \quad\Rightarrow\quad F_{Bx}=-F_{Dx}=-12{,}65\,kN$$
$$\Sigma F_y=0=F_A+F_{Dy}-F_L-F_{G2}+F_{By} \quad\Rightarrow$$
$$F_{By}=-F_A-F_{Dy}+F_L+F_{G2}=-37{,}85\,kN-34{,}77\,kN+70\,kN+50\,kN=47{,}38\,kN$$
$$F_B=\sqrt{F_{Bx}^2+F_{By}^2}=\sqrt{(-12{,}65\,kN)^2+(47{,}38\,kN)^2}=49{,}0\,kN$$
$$\alpha_B=\arctan\frac{F_{By}}{F_{Bx}}=\arctan\frac{47{,}38\,kN}{-12{,}65\,kN}=-75°$$

$\alpha_A=75°$ nach links oben gegen die negative x-Achse bzw.

$\alpha_A=105°$ gegen die positive x-Achse

Noch 2: Alternative Lösung (nicht gefordert)

Wenn man das Lager B nicht im Drehgelenk des Brückenträgers, sondern im Fundament des Brückenturms sieht, kann man die ganze Brücke einschließlich F_{G1} freimachen (F_D wird innere Kraft und entfällt). Die Ergebnisse lauten: F_A = 44,64kN und F_B=135,36kN, jeweils nach senkrecht oben gerichtet.

3 Bolzen 6,0

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren:

τ_{aB} = 600 N/mm² (C15→Tabellenbuch Metall, Europa, 44.Auflage, S.44)

$$\frac{\tau_{aB}}{\nu}=\tau_{azul}>\tau_a=\frac{F}{2\cdot S} \quad\Rightarrow$$
$$\tau_{azul}=\frac{\tau_{aB}}{\nu}=\frac{600\,N/mm^2}{10}=60\frac{N}{mm^2}$$
$$S_{erf}=\frac{F_D}{2\cdot\tau_{azul}}=\frac{37\,kN}{2\cdot 60\,N/mm^2}=308{,}3\,mm^2$$
$$S=\frac{\pi\cdot d^2}{4} \quad\Rightarrow\quad d_{erf}=\sqrt{\frac{4\cdot S}{\pi}}=\sqrt{\frac{4\cdot 308{,}3\,mm^2}{\pi}}=19{,}8\,mm$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Flächenpressung

$$p_{zul}>p=\frac{F}{A} \quad\Rightarrow\quad A_{erf}=\frac{F_D}{p_{zul}}=\frac{37\,kN}{44\,N/mm^2}=841\,mm^2$$
$$A=d\cdot s \quad\Rightarrow\quad d_{erf}=\frac{A_{erf}}{s}=\frac{841\,mm^2}{60\,mm}=14\,mm$$

Maßgeblich ist der größere Durchmesser 19,8 mm, gewählt wird der nächstgrößere angebotene BolzenØ 20mm (→ TabB „Bolzen“)

Flächenpressung und Scherfestigkeit (BolzenØ)

4 Brückenantrieb

Hinweis: Motor und Zahnrad 1 sitzen auf einer Welle, ebenso Zahnrad 4 und Zahnrad 5. Diese Paare übertragen also jeweils gleiche Drehzahlen und Drehmomente.

4.1 4,0

$$i=\frac{z_2}{z_1}\cdot\frac{z_4}{z_3}=\frac{68}{15}\cdot\frac{72}{15}=21{,}76$$

$$i=\frac{n_{zu}}{n_{ab}} \quad\Rightarrow\quad n_5=\frac{n_1}{i}=\frac{480\,min^{-1}}{21{,}76}=22{,}1\,min^{-1}=0{,}368\,s^{-1}$$

$$P=2\pi\cdot M\cdot n \quad\Rightarrow\quad M_M=\frac{P_M}{2\pi\cdot n_M}=\frac{5{,}5\,kW}{2\pi\cdot 480\,min^{-1}}=109{,}4\,Nm$$

$$i\cdot\eta=\frac{M_{ab}}{M_{zu}} \quad\Rightarrow\quad M_5=M_4=M_{Mot}\cdot i\cdot\eta=109{,}4\,Nm\cdot 21{,}76\cdot 0{,}9=2143\,Nm$$

4.2 3,0

$$d=m\cdot z_5=4\,mm\cdot 15=60\,mm$$

$$M=F\cdot\frac{d}{2} \quad\Rightarrow\quad F_A=\frac{2\cdot M_5}{d}=\frac{2\cdot 2143\,kNm}{60\,mm}=71{,}4\,kN$$

4.3 3,0

$$d=m\cdot z_5=4\,mm\cdot 15=60\,mm$$ 2

$$v_5=\pi\cdot n_5\cdot d_5=\pi\cdot 22{,}1\,min^{-1}\cdot 60\,mm=4{,}166\,\frac{m}{min}=69{,}30\,\frac{mm}{s}$$

oder

$$\eta=\frac{P_{ab}}{P_{zu}} \quad\rightarrow\quad P_5=P_{Mpt}\cdot\eta=5500\,W\cdot 0{,}9=4950\,W$$

$$P=v\cdot F \quad\rightarrow\quad v_5=\frac{P_{ab}}{F_5}=\frac{4950\,W}{71{,}4\,kN}=0{,}069\,\frac{m}{s}$$

$$v=\frac{s}{t} \quad\rightarrow\quad t=\frac{s}{v_5}=\frac{2000\,mm}{69{,}30\,mm/s}=28{,}9\,s$$

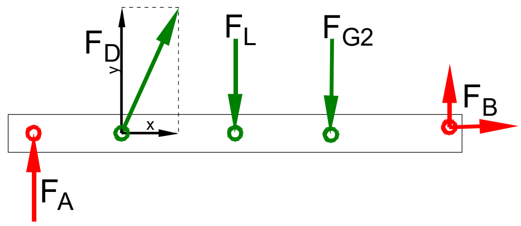
tgt HP 2011/12-5: Klappbrücke

5 Brückenträger 5,0

Lageskizze Brückenträger

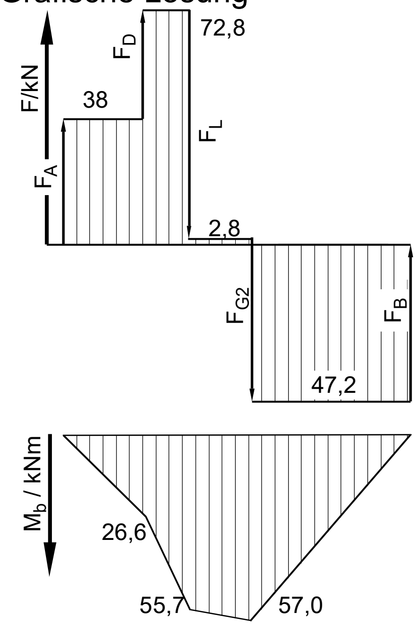
$F_{Dy} = F_D \cdot \sin\alpha = 37\,kN \cdot \sin 70° = 34{,}77\,kN$

$F_{By} = F_B \cdot \sin\beta = 49\,kN \cdot \sin 105° = 47{,}33\,kN$



Maximales Biegemoment M_{bmax} = 56,8 kNm (das Größere)

Grafische Lösung



Rechnung zur Grafik (von links)

$M_A = 0\,kNm$

$M_D = M_A + 38\,kN \cdot 700\,mm = 26{,}6\,kNm$

$M_L = M_D + 72{,}8\,kN \cdot 400\,mm = 55{,}7\,kNm$

$M_{G2} = M_L + 2{,}8\,kN \cdot 500\,mm = 57{,}1\,kNm$

Rechnerische Lösung

$M_{bD}(links) = |-F_A \cdot (l_6 - l_5)| = 26{,}6\,kNm$

$= 38\,kN \cdot (2800 - 2100)\,mm$

$M_{bL}(links) = |-F_A \cdot (l_6 - l_4) - F_{Dy} \cdot (l_5 - l_4)| = 55{,}7\,kNm$

$= 38\,kN \cdot (2800 - 1700)\,mm + 34{,}77\,kN \cdot (2100 - 1700)\,mm$

$M_{bL}(rechts) = |F_{By} \cdot l_4 - F_{G2} \cdot (l_4 - l_3)| = 55{,}5\,kNm$

$= 47{,}33\,kN \cdot 1700\,mm - 50\,kN \cdot (1700 - 1200)\,mm$

$M_{G2}(rechts) = |F_{By} \cdot l_3| = 56{,}8\,kNm = M_{bmax}$

$= 47{,}33\,kN \cdot 1200\,mm$

Die Ergebnisse beim Rechnen von rechts oder links unterscheiden sich, weil die vorgegebenen Lagerkräfte nicht genau im Gleichgewicht sind. Es genügt, von einer Seite zu rechnen. Wenn man den Querkraftverlauf skizziert, genügt es, das Biegemoment am Nulldurchgang M_{G2} zu berechnen.

Erforderliches Widerstandsmoment

σ_{bF} = 330 N/mm² (S235 → Tabellenbuch Metall, Europa, 44.Auflage, S.44)

$$\frac{\sigma_{bF}}{\nu} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \quad \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{\nu} = \frac{330\,N/mm^2}{2} = 165\,\frac{N}{mm^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{56{,}8\,kNm}{165\,N/mm^2} = 344{,}2\,cm^3$$

IPE 240 mit W_x = 324 cm³ (→ TabB „DIN 1025“) ist <u>nicht</u> ausreichend.

Maximales Biegemomnet und Biegefestigkeit