

**1) Aufgabestellung**

1 Kranbrücke mit Hublast 20 t

Hubklasse:

HC4

Beanspruchungsklasse:

S7

**2) Einwirkungen**

Siehe Seite 5001, 5002

**3) Schnittgrößen**

Für EK1

|  |              |        |     |
|--|--------------|--------|-----|
| - maximales vertikales Moment                      | $M_{y,Ed} =$ | 312,88 | kNm |
| - maximales horizontales Moment                    | $M_{z,Ed} =$ | 25,38  | kNm |
| - maximale vertikale Querkraft am Zwischenauflager | $V_{z,Ed} =$ | 287,35 | kN  |
| - maximale horizontale Querkraft am Endauflager    | $V_{y,Ed} =$ | 19,21  | kN  |

Für EK5

|  |              |        |     |
|--|--------------|--------|-----|
| - maximales vertikales Moment                      | $M_{y,Ed} =$ | 268,16 | kNm |
| - maximales horizontales Moment                    | $M_{z,Ed} =$ | 51,76  | kNm |
| - maximale vertikale Querkraft am Zwischenauflager | $V_{z,Ed} =$ | 246,63 | kN  |
| - maximale horizontale Querkraft am Endauflager    | $V_{y,Ed} =$ | 47,29  | kN  |

**4) Querschnittswerte und vollplastische Schnittgrößen**

Profil: HEA 400 S355

$f_y =$  35,50  $cm^2$

$E =$  21.000,00  $kN/m^2$

$A =$  159,00  $cm^2$

$I_t =$  189,00  $cm^4$

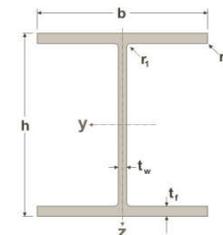
$I_w =$  2,942  $cm^6$

$I_y =$  45.070,00  $cm^4$

$W_{el,y} =$  2.311,00  $cm^3$

$W_{pl,y} =$  2.562,00  $cm^3$

$A_{v,y} =$  118,20  $cm^2$



$I_z =$  8.564,00  $cm^4$

$W_{el,z} =$  570,90  $cm^3$

$W_{pl,z} =$  872,90  $cm^3$

$A_{v,z} =$  57,33  $cm^2$

|            | mm     | cm    |
|------------|--------|-------|
| h=         | 390,00 | 39,00 |
| b=         | 300,00 | 30,00 |
| tw=        | 11,00  | 1,10  |
| tr=        | 19,00  | 1,90  |
| r=         | 27,00  | 2,70  |
| hw=h-2*tr= | 352,00 | 35,20 |

**Widerstandsmomente**

|                              |              |          |        |
|------------------------------|--------------|----------|--------|
| - Flanschoberkante           | $W_{el,y} =$ | 2.311,00 | $cm^3$ |
| - Oberflanschunterkante      | $W_{y,o} =$  | 2.560,80 | $cm^3$ |
| - Übergang Walzradius - Steg | $W_{y,s} =$  | 3.024,83 | $cm^3$ |

**Querschnittswerte des Obergurts - Index: Og (Oberflansch + 1/5 Steg)**

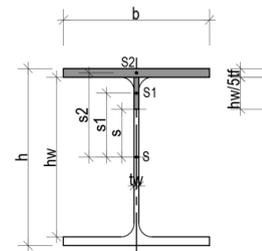
$A_{Og} = b * t_f + h_w / 5 * t_w =$  64,74  $cm^2$

$I_{Og,z} = I_z / 2 =$  4.282,00  $cm^4$

$i_{Og,z} = (I_{Og,z} / A_{Og})^{1/2} =$  8,13  $cm$

$W_{Og,el,z} = W_{el,z} / 2 =$  285,45  $cm^3$

$W_{Og,pl,z} = W_{pl,z} / 2 =$  436,45  $cm^3$



Vollplastische Schnittgrößen

Sch., Taf. 8.80

|   |           |                 |                 |      |
|---|-----------|-----------------|-----------------|------|
| $M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M0} =$                      | 90.951,00 | kNcm            | $\gamma_{M0} =$ | 1,00 |
| $M_{pl,z,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M0} =$                      | 30.987,95 | kNcm            | $\gamma_{M1} =$ | 1,10 |
| $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f =$                | 57,35     | cm <sup>2</sup> | $\gamma_{M2} =$ | 1,25 |
| $V_{pl,z,Rd} = A_v \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot (3)^{1/2}) =$         | 1.175,44  | kN              | $\gamma_{Mf} =$ | 1,15 |
| $V_{pl,z,Rd} = b \cdot t_f \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot (3)^{1/2}) =$ | 1.168,27  | kN              | $\gamma_{Ff} =$ | 1,00 |
| $M_{Og,pl,z,Rd} = W_{Og,pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M0} =$                | 15.493,98 | kNcm            |                 |      |

5) Querschnittsnachweise

Nachweis: 
$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \right)^2 + \frac{M_{z,Ed}}{M_{Og,pl,z,Rd}} \leq 1,0 \quad (1)$$

|     |      |  |           |
|-----|------|--|-----------|
|     | EK1  |  | EK5       |
| (1) | 0,28 |  | 0,42      |
| (2) | 0,25 |  | 0,21      |
|     |      |  | Maßgebend |

(2) 
$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 0,5 \quad - \text{keine Interaktion M-V}_z \text{ erforderlich}$$

6) Bauteilnachweis: Biegedrillknicken (BDK)

EK5 - maßgebend

$$N_{Og,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{h - t_f}$$

|               |        |     |
|---------------|--------|-----|
| $N_{Og,Ed} =$ | 722,80 | kN  |
| $M_{z,Ed} =$  | 51,76  | kNm |

- Knicklänge, Zweifeldträger

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

|                           |       |   |
|---------------------------|-------|---|
| $L =$                     | 5,25  | m |
| $L_{cr} = 0,85 \cdot L =$ | 4,46  | m |
| $\lambda_{1} =$           | 76,41 |   |
| $\lambda_{z} =$           | 0,718 |   |

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_{z,Og} \cdot \lambda_1}$$

$$\varphi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$$

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| Knicklinie:           | c                 |
| Imperfektionsbeiwert: | $\alpha = 0,49$   |
|                       | $\varphi = 0,885$ |

Abminderungsfaktor

$$\chi_z \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \leq 1,0$$

|            |       |
|------------|-------|
| $\chi_z =$ | 0,713 |
| $C_{mz} =$ | 0,90  |

Bedingung 
$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} \right)$$

$2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6 \leq 1,4$  dann Bedingung is erfüllt

$$2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6 = 0,836 < 1,40$$

$$\frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} = 0,48$$

$$k_{zz} = 1,26$$

BDK - Nachweis als OG-Knicknachweis

$$\frac{N_{Og,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{Og} \cdot f_y} + \frac{k_{zz} \cdot M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{W_{Og,z} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$n_{Og} + m_{Og} \leq 1,00$$

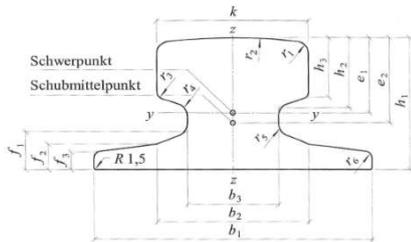
$$\begin{aligned} n_{Og} &= 0,48 \\ m_{Og} &= 0,46 \\ n_{Og} + m_{Og} &= 0,95 < 1,00 \end{aligned}$$

Bedingung erfüllt.

### 7) Radlastpressung und Nachweise im GZT

Kranschine

A55



$$\begin{aligned} k &= 55,00 \text{ mm} \\ h1 &= 65,00 \text{ mm} \\ hr &= 59,00 \text{ mm} \\ b1 &= 150,00 \text{ mm} \\ ly &= 178,00 \text{ cm}^4 \\ l_{T,sch} &= 88,00 \text{ cm}^4 \\ e1 &= 3,90 \text{ cm} \\ A &= 40,50 \text{ cm}^2 \\ b_{fr} &= b_1 \end{aligned}$$

- 25% Abnutzung des Kopfs  
- Schienenfußbreite

$$b_{eff} = b_{fr} + h_r + t_f < b$$

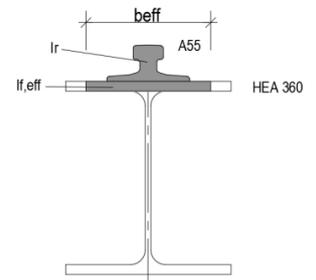
Oberflansche

$$\begin{aligned} b_{eff} &= 22,80 \text{ cm} \\ A_{eff} = b_{eff} \cdot t_f &= 43,32 \text{ cm}^2 \\ I_{f,eff} = b_{eff} \cdot t_f^3 / 12 &= 13,03 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$< 30,00 \text{ cm}$$

Schwerpunkt - Oberflansche und Kranschiene

|              | yi (cm) | Ai (cm <sup>2</sup> ) | Ai*yi  | Iy (cm <sup>4</sup> ) |
|--------------|---------|-----------------------|--------|-----------------------|
| Kranschine   | 4,50    | 40,50                 | 182,25 | 178,00                |
| Oberflansche | 0,95    | 43,32                 | 41,15  | 13,03                 |
| $\Sigma$     |         | 83,82                 | 223,40 | 191,03                |



$$y_T = \frac{\Sigma A_i \cdot y_i}{\Sigma A_i} \quad y_T = 2,67 \text{ cm}$$

Steiner:

$$I = \Sigma I_{yi} + \Sigma A_i \cdot y_{Ti}^2 = 454,82 \text{ cm}^4$$

$$I_{eff} = 3,25 \cdot \left( \frac{I}{t_w} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned} I_{eff} &= 24,21 \text{ cm} \\ I_{eff} + 2r &= 29,61 \text{ cm} \\ F_z &= 209,81 \text{ kN} \\ F_{z,Ed} = 1,35 \cdot F_z &= 283,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

siehe Seite 5002

Stegpressung

$$\sigma_{oz,Ed} = 8,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{t_w \cdot (I_{eff} + 2r)}$$

Zugehörige lokale Schubspannung

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} = 1,74 \text{ kN/cm}^2$$

Nachweise

| Stegpressung                           | Schubspannung   |
|--|---|
| $\sigma_{oz,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$ | $\tau_{oxz,Ed} / (f_y / (\gamma_{M0} \cdot 3^{1/2}))$ |
| 0,24                                   | 0,08  |
| < 1,0                                  | < 1,0   |

### Vergleichsspannungen an der Stegoberkante am Zwischenaufleger

Moment am Zwischenaufleger, EK1

|                  |   |          |                    |
|------------------|---|----------|--------------------|
|                  | $M_{y,Ed} =$  | 276,83   | kNm                |
|                  | $W_{y,s} =$   | 3.024,83 | cm <sup>3</sup>    |
| Normalspannungen | $\sigma_{x,Ed} = M_{y,Ed} / W_{y,s} =$                                      | 9,15     | kN/cm <sup>2</sup> |
| Schubspannungen  | $V_{z,Ed} =$  | 287,35   | kN                 |
|                  | $A_w = (h - 2t_f) + t_w =$  | 38,72    | cm <sup>2</sup>    |
|                  | $\tau_{xz,ED} = V_{z,ED} / A_w =$   | 7,42     | kN/cm <sup>2</sup> |
|                  | $\frac{\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed}}{f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})} =$ | 0,45     |                    |

### Vergleichsspannungsnachweis

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{oz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{oz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{xz,ED} + \tau_{oxz,ED}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2$$

|                | (1)                                   | (2)                                    | (3)  |         |                    |
|----------------|---------------------------------------|--|--|---------|--------------------|
|                | $\sigma_{x,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$ | $\sigma_{oz,Ed} / (f_y / \gamma_{M0})$ | $\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed} / (f_y / (\gamma_{M0} \cdot 3^{1/2}))$ | (1)*(2) | 3*(3) <sup>2</sup> |
|                | 0,26                                  | 0,24                                   | 0,45   |         |                    |
| x <sup>2</sup> | 0,07                                  | 0,06                                   | 0,20   | 0,06    | 0,60               |

|                  |             |             |             |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Nachweis:</b> | <b>0,66</b> | <b>&lt;</b> | <b>1,00</b> |
|------------------|-------------|-------------|-------------|

Maximale Auslastung: =SQRT(0,66)= 0,81 81%

### Stegbiegung beim Ermüdungsnachweis

|                                     |        |      |
|-------------------------------------|--------|------|
| Beanspruchungsklasse:               | S7     |      |
| $b_r = k =$                         | 5,50   | cm   |
| $T_{Ed} = F_{z,Ed} \cdot b_r / 4 =$ | 389,46 | kNcm |

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_T} \cdot \frac{\sinh^2(\alpha)}{\sinh(2\alpha) - 2\alpha}} \quad \alpha = \frac{\pi \cdot h_w}{a} \quad \sigma_{oT,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta)$$

|  |        |                    |
|--|--------|--------------------|
| $a = L =$                              | 525,00 | cm                 |
| $t_w =$                                | 1,10   | cm                 |
| $IT = b \cdot t_f^3 / 3 + I_{T,sch} =$ | 156,59 | cm <sup>4</sup>    |
| $\alpha =$                             | 0,211  |                    |
| $\sinh^2(\alpha) =$                    | 0,045  |                    |
| $\sinh(2\alpha) =$                     | 0,434  |                    |
| $\eta =$                               | 3,46   |                    |
| $\tanh(\eta) =$                        | 1,00   |                    |
| $\sigma_{oT,Ed} =$                     | 12,71  | kN/cm <sup>2</sup> |

### 8) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- Begrenzung der vertikalen Durchbiegung  $f_{z,zul}=L/600$
- Begrenzung der horizontalen Durchbiegung  $f_{y,zul}=L/600$

Nachweis erfüllt → siehe Seite 5007, 5008.

- Horizontale Verschiebung eines Tragwerks (Stütze) in Höhe der Kranauflagerung ( $h_c$ )

Bedingung für HC4  $f_y=h_c/400$

Nachweis erfüllt - siehe Statik Seite 3356, Stützen (Tabelle - Verformungen und zulässige Verformungen)

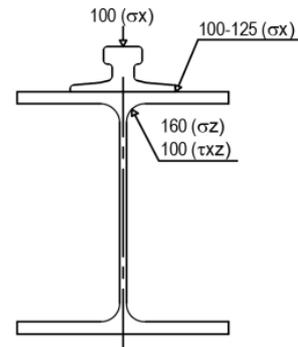
- Begrenzung der Änderung des Abstands der gegenüberliegenden Kranbahnen auf 1 cm.

$$\begin{aligned}
 f_y &= 5,36 \text{ mm} \\
 \Delta s &= 2 * f_y = 10,72 \text{ mm} \\
 \Delta s &= 2 * f_y = 1,07 \text{ cm} \approx 1,00
 \end{aligned}$$

### 9) Ermüdungsnachweis

$$\begin{aligned}
 \gamma_{Ff} &= 1,00 \\
 \gamma_{Mf} &= 1,15
 \end{aligned}$$

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| Beanspruchungsklasse der Kranbahn | S7               |
| Schadensäquivalenter Beiwert für  | S7               |
| $\lambda$ für Längsspannungen     | $\lambda = 1,00$ |
| $\lambda$ für Schubspannungen     | $\lambda = 1,00$ |



|                      |                                       |        |                    |
|----------------------|---------------------------------------|--------|--------------------|
| Kerbfallnummer       |                                       |        |                    |
| EC 1993-1-9 Bild 7.1 | $\Delta\sigma_c =$                    | 215,00 | N/mm <sup>2</sup>  |
| 100 für $\sigma_x$   | $\Delta\sigma_c =$                    | 21,50  | kN/cm <sup>2</sup> |
| EC 1993-1-9 Bild 7.1 | $\Delta\tau_c =$                      | 100,00 | N/mm <sup>2</sup>  |
| 100 für $\tau_{xz}$  | $\Delta\tau_c =$                      | 10,00  | kN/cm <sup>2</sup> |
|                      | $\varphi_1 =$                         | 1,10   | siehe Seite 5001   |
|                      | $\varphi_2 =$                         | 1,36   | siehe Seite 5001   |
|                      | $\varphi_{fat,1} = (1+\varphi_1)/2 =$ | 1,05   |                    |
|                      | $\varphi_{fat,2} = (1+\varphi_2)/2 =$ | 1,18   |                    |

Belastung - siehe Seite 5001

|              |            |        |    |                              |        |    |
|--------------|------------|--------|----|------------------------------|--------|----|
| Eigengewicht | $Q_{c1} =$ | 132,50 | kN | $Q_{c1} * \varphi_{fat,1} =$ | 139,13 | kN |
|              | $Q_{c2} =$ | 131,50 | kN | $Q_{c2} * \varphi_{fat,1} =$ | 138,08 | kN |
| Hublast      | $Q_{h1} =$ | 47,00  | kN | $Q_{c1} * \varphi_{fat,1} =$ | 55,46  | kN |
|              | $Q_{h2} =$ | 47,00  | kN | $Q_{c2} * \varphi_{fat,1} =$ | 55,46  | kN |
|              |            |        |    | $Q_{c1} + Q_{h1} =$          | 194,59 | kN |
|              |            |        |    | $Q_{c2} + Q_{h2} =$          | 193,54 | kN |

Schnittgröße über dem Mittellauger für EK14

|                       |             |          |                 |
|-----------------------|-------------|----------|-----------------|
|                       | $M_y =$     | 190,47   | kNm             |
|                       | $T_z =$     | 197,71   | kN              |
| Oberflanschunterkante | $W_{y,o} =$ | 2.560,80 | cm <sup>3</sup> |
| Spannungen            |             |          |                 |

|               |   |      |                    |
|---------------|---|------|--------------------|
| a) $\sigma_x$ | $\sigma_{x1} = M_y / W_{y,o} =$                   | 7,44 | kN/cm <sup>2</sup> |
|               | $\sigma_{x2} =$                                   | -    | kN/cm <sup>2</sup> |
|               | $\Delta\sigma_x = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} =$    | 7,44 | kN/cm <sup>2</sup> |
|               | $\Delta\sigma_{E,2} = \lambda * \Delta\sigma_x =$ | 7,44 | kN/cm <sup>2</sup> |

Nachweis:

|                   |  |      |   |      |
|-------------------|--|------|---|------|
| (a)               | $\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$ | 0,40 | < | 1,00 |
| Nachweis erfüllt. |  |      |   |      |

|                  |  |      |                    |  |
|------------------|--|------|--------------------|--|
| b) $\sigma_{oz}$ | $\Delta\sigma_{oz,Ed} =$                                   | 8,70 | kN/cm <sup>2</sup> | siehe Radlastpressung und Nachweise im GZT |
|                  | $\Delta\sigma_{E,oz,2} = \lambda * \Delta\sigma_{oz,Ed} =$ | 8,70 | kN/cm <sup>2</sup> |  |

Nachweis:

|                   |   |      |   |      |
|-------------------|---|------|---|------|
| (b)               | $\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,oz,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$ | 0,47 | < | 1,00 |
| Nachweis erfüllt. |   |      |   |      |

|                |  |       |                    |  |
|----------------|--|-------|--------------------|--|
| c) $\tau_{xz}$ | $A_w =$  | 38,72 | cm <sup>2</sup>    | siehe Radlastpressung und Nachweise im GZT |
|                | $\tau_{xz} = T_z / A_w =$                        | 5,11  | kN/cm <sup>2</sup> |  |
|                | $\tau_{oxz} =$                                   | 1,74  | kN/cm <sup>2</sup> |  |
|                | $\Delta\tau_{xz} = \tau_{xz} + \tau_{oxz} =$     | 6,85  | kN/cm <sup>2</sup> |  |
|                | $\Delta\tau_{E,2} = \lambda * \Delta\tau_{xz} =$ | 6,85  | kN/cm <sup>2</sup> |  |

Nachweis:

|                   |  |      |   |      |
|-------------------|--|------|---|------|
| (c)               | $\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$ | 0,79 | < | 1,00 |
| Nachweis erfüllt. |  |      |   |      |

Bei gleichzeitiger Wirkung ist nachzuweisen:

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,oz,2}}{\Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_c / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

$$a^3 + b^3 + c^5 \leq 1,00$$

|                |                |                |      |
|----------------|----------------|----------------|------|
| a              | b              | c              |      |
| 0,40           | 0,47           | 0,79           |      |
| a <sup>3</sup> | b <sup>3</sup> | c <sup>5</sup> | Σ    |
| 0,06           | 0,10           | 0,30           | 0,47 |

|                     |      |   |      |
|---------------------|------|---|------|
| $a^3 + b^3 + c^5 =$ | 0,47 | < | 1,00 |
| Nachweis erfüllt.   |      |   |      |