

# Schiffselemente

## 1. Übungsaufgabe

SE\_Übungsaufgabe.XLS



Fachhochschule Kiel  
Institut für Schiffbau  
Prof. Dipl.-Ing. L. Dannenberg

## Schiffselemente

### 1. Übungsaufgabe WS 2005/06

Für ein Mehrzweckfrachtschiff mit den angegebenen Hauptabmessungen und einer Raumaufteilung entsprechend anliegender Skizze sind die Bauteile des Doppelbodens im Hauptspantquerschnitt (Laderaum) einschließlich Raumpantanschluß nach den Vorschriften des Germanischen Lloyds für Klassifikation und Bau von stählernen Seeschiffen, Ausgabe 2004, zu bestimmen und zu konstruieren. Die Konstruktion ist im Maßstab 1:10, 1:20 oder 1:50, Einzelheiten größer, zu zeichnen. Die Verbände sollen der Klasse + 100 A5 entsprechen. Bei der Anordnung der Bodenwrangen und Seitenträger ist die Einhaltung des Containerrasters für TEU-Container der Größe 20' x 8' x 8' zu beachten.

Der Doppelboden ist mit bis zur Außenhaut durchgehendem Innenboden ohne Wegerung in Längspantbauweise mit Seitenträgern im Abstand von ca. 2,6 m (Containerraster) geschweißt (unterbrochene Schweißung, wo nach GL zulässig) auszuführen. Bei der Bemessung des Innenbodens ist die spezifische Ladungsdichte  $G/V = 0,7 \text{ t/m}^3$  anzunehmen. Die Dicke des Außenbodens kann in der ersten Übung näherungsweise ermittelt werden. Sie muß in der zweiten Übung eventuell korrigiert werden.

Die Bestimmung der Bauteilabmessungen und Auslegung der Schweißverbindungen sind Bestandteil der Aufgabe. Das Berechnungsprotokoll darüber ist spätestens drei Wochen vor Abgabe der Übung zur Durchsicht vorzulegen und mit der Aufgabe überarbeitet abzugeben.

  
(Dannenberg)

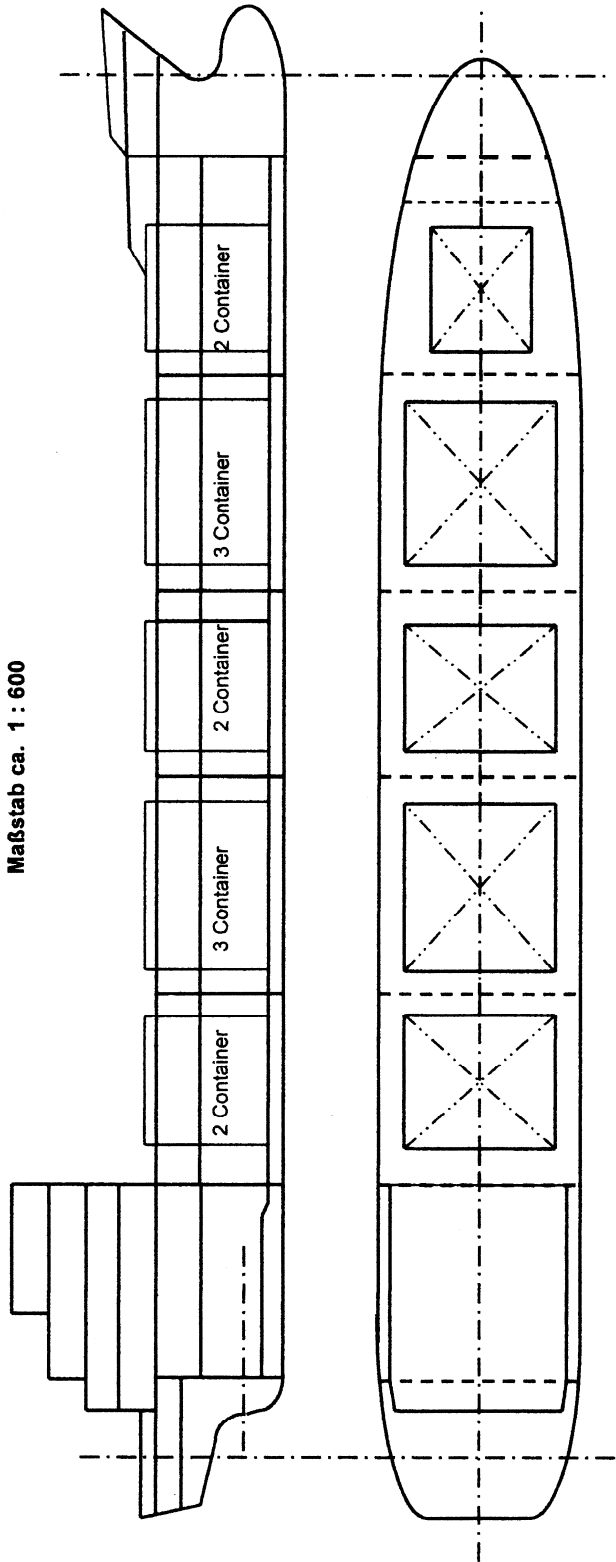
SE\_Übungsaufgabe.XLS / Skizze\_Schiff\_SS\_2005



Fachhochschule Kiel  
Institut für Schiffbau  
Prof. Dipl.-Ing. L. Dannenberg

### Anlage zur Übungsaufgabe "Schiffselemente"

Maßstab ca. 1 : 600



SE\_Übungsaufgabe.XLS

Lfd. Nr.	L [m]	B [m]	H GD [m]	H z.D. [m]	T [m]	b Lu. [m]	v [kn]	c <sub>s</sub> [-]	Name
1	124,0	19,0	10,6	7,0	7,9	14,0	16,0	0,70	
2	124,0	19,1	10,6	7,1	7,9	14,6	16,5	0,69	
3	126,0	19,3	10,6	7,1	7,8	14,0	16,0	0,69	
4	126,0	19,4	10,8	7,0	7,8	14,6	16,5	0,69	
5	128,0	19,6	10,8	7,1	7,7	14,0	16,0	0,68	
6	128,0	19,7	10,8	7,2	7,7	14,6	16,5	0,68	
7	130,0	19,9	11,0	7,2	7,6	14,0	17,0	0,68	
8	130,0	20,0	11,0	7,4	7,6	14,6	17,5	0,67	
9	132,0	20,2	11,5	7,4	8,2	15,0	17,0	0,67	
10	132,0	20,5	11,8	7,6	8,1	15,6	17,5	0,70	
11	134,0	21,0	11,5	7,7	8,5	15,6	16,5	0,70	
12	134,0	20,6	12,0	8,0	8,8	15,0	17,0	0,69	
13	136,0	21,2	12,0	8,0	9,0	15,6	17,5	0,69	
14	136,0	20,9	12,2	8,2	9,2	15,6	17,5	0,69	
15	138,0	21,4	12,2	8,2	9,3	15,0	18,0	0,68	
16	138,0	21,2	12,4	8,1	9,5	15,6	18,5	0,68	
17	140,0	21,6	12,6	8,1	9,5	15,6	18,5	0,68	
18	140,0	22,0	12,5	8,0	9,7	16,0	19,0	0,67	
19	142,0	21,8	12,6	8,3	9,7	16,0	19,0	0,67	
20	142,0	22,0	12,7	8,1	9,6	17,0	19,5	0,67	
21	144,0	21,6	12,5	8,3	9,8	16,8	19,5	0,68	
22	144,0	22,0	12,8	8,5	9,8	17,0	19,5	0,69	
23	146,0	22,0	12,8	8,5	9,8	17,4	19,5	0,69	
24	146,0	22,4	13,0	8,6	9,9	17,6	20,0	0,69	
25	148,0	22,4	13,0	8,4	9,8	17,8	18,0	0,68	
26	148,0	22,8	13,2	8,6	9,8	17,8	19,0	0,67	
27	150,0	22,8	13,4	8,7	9,9	18,0	20,0	0,67	
28	150,0	23,0	13,2	8,8	9,8	17,8	20,0	0,68	
29	152,0	23,0	13,2	8,8	9,8	17,8	18,0	0,68	
30	152,0	23,0	13,4	8,9	10,0	18,0	20,0	0,67	
31	154,0	23,2	13,4	8,8	9,6	18,0	18,0	0,68	
32	154,0	23,4	13,4	8,9	9,8	18,0	19,0	0,67	
33	154,0	23,6	13,6	9,0	10,0	18,0	20,0	0,67	
34	156,0	23,2	13,2	8,6	9,6	18,0	18,0	0,69	
35	156,0	23,4	13,4	8,8	9,8	18,0	19,0	0,68	
36	156,0	23,6	13,6	9,0	10,0	18,0	20,0	0,67	
37	158,0	23,0	13,6	8,4	9,6	18,0	18,0	0,69	
38	158,0	23,3	13,8	8,6	9,8	18,0	19,0	0,68	
39	158,0	23,6	14,0	8,8	10,0	18,0	20,0	0,67	X
40	160,0	23,9	13,8	9,0	10,0	18,0	20,0	0,67	

## 1.1 Hauptabmessungen

$$L = 158 \text{ [m]}$$

$$B = 23,6 \text{ [m]}$$

$$H_{GD} = 14 \text{ [m]}$$

$$H_{2.D.} = 8.8 \text{ [m]}$$

$$T = 10 \text{ [m]}$$

$$b_{L\ddot{u}ke} = 17,906 \text{ [m]}$$

$$v = 20 \text{ [kn]}$$

$$c_B = 0,67$$

$$\text{Kimmeradius} = 2,5 \text{ [m]}$$

$$\text{Buchthöhe} = 0.47 \text{ [m]}$$

$$K = 1,0 \text{ (Werkstoffkennziffer f\u00fcr normalfesten Schiffbaustahl)}$$

$$c_K = 0,5 \text{ (f\u00fcr Containerschiffe)}$$

$$\text{Lukens\u00fcllh\u00f6he} = 0,8 \text{ m}$$

## 1.2 Spantabstände

Vor- und Achterpiek:  $a_{Q1} = 0,6 \text{ m}$

$$a_L \approx 2,0 \times L + 400 \text{ [mm]}$$

$$a_L = 2,0 \times 158 + 400 = 716 \text{ [mm]} \Rightarrow \text{wähle } a_L = 0,7 \text{ [m]}$$

## 1.3 Lukenabmessungen

Maße der Container nach DIN ISO 668

Länge 6058 mm (+0 / -8 mm)

Breite und Höhe 2438 mm (+0 / -5 mm)

Abstand zwischen zwei Containern ca. 80-120 mm

Abstand zwischen Container und Lukensüll ca. 80-150 mm

$$l_{\text{Luke}} = m \cdot l_{\text{Container}} + ((m-1) \times (80 \div 120)) + 2 \times (\text{ca. } 150)$$

$m$  = Anzahl der Container in Längsrichtung

$$l_{\text{Laderaum}} = l_{\text{Luke}} + 5 \times SE$$

$$l_{\text{Luke}} = 3 \cdot 6058 + ((3-1) \times (100)) + 2 \times (150) = 18674 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Laderaum}} = 18764 \text{ mm} + 5 \times 700 \text{ mm} = 22264 \text{ mm}$$

$$b_{\text{Luke}} = n \times b_{\text{Container}} + ((n-1) \times (80 \div 120)) + 2 \times (\text{ca. } 150)$$

$n$  = Anzahl der Container in Querrichtung

$$b_{\text{Luke}} = 7 \cdot 2438 \text{ mm} + (6 \times 90 \text{ mm}) + (2 \times 150 \text{ mm}) = 17906$$

## 2 Doppelboden

### 2.1 Mittellängsträger (nach GL 8.B.2)

$$h_{MLT} \geq 350 + 45 \times B \text{ [mm]}$$

$$h_{min} = 600 \text{ mm}$$

$$h_{MLT} = 350 + 45 \times 23,6 = 1412 \text{ mm}$$

$$\text{wähle } h_a = 1500 \text{ mm}$$

Dicke des Mittellängsträgers (innerhalb  $0,7 \times L$  von mittschiffs)

$$\text{Für } h = h_a \geq 1200 \text{ mm} \Rightarrow t_{MLT} = h/h_a \times (h_a/120 + 3,0) \sqrt{k}$$

$$t_{MLT} = 1412/1500 \times (1500/120 + 3,0) \sqrt{1} = 14,59 \text{ mm}$$

$$\text{wähle } t_{MLT} = 14,5 \text{ mm}$$

### 2.2 seitenlängsträger (nach GL 8.B.3.2)

$$\text{Dicke: } t_{ST} = (h^2/120 h_a) \sqrt{k} \text{ [mm]}$$

$$t_{ST} = (1412^2/120 \cdot 1500) \cdot \sqrt{1} \text{ [mm]}$$

$$t_{ST} = 11,08 \text{ mm}$$

$$t = (5,0 + 0,03 \cdot L) \sqrt{1} \text{ [mm]}$$

$$t = (5,0 + 0,03 \cdot 158) \cdot \sqrt{1} \text{ [mm]}$$

$$t = 9,74 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6,0 \cdot \sqrt{k} \text{ [mm]}$$

$$t_{min} = 6,0 \cdot \sqrt{1} \text{ [mm]}$$

$$t_{min} = 6 \text{ mm}$$

$$t_{max} = \max(t_{ST}; t; t_{min})$$

$$t_{max} = \max(11,08; 9,74; 6)$$

$$t_{max} = 11,08 \text{ mm}$$

$$\text{wähle } t = 11,00 \text{ mm}$$

## Abstände der Seitenträger außerhalb des Maschinenraums

Da  $B/2 > 10,5$  sind mindestens drei Seitenträger erforderlich, deren Abstand voneinander, zum Mittellängsträger und zur Außenhaut  $\leq 3,5$  m sein muss.

Es werden folgende Abstände gewählt:

MLT - 2,8 m - SLT - 3,5 m - SLT - 2,8 m - SLT - 2,7 m - AH

## Erleichterungslöcher in den Seitenträgern

Zu verbleibende Stegbreite /-höhe  $\rightarrow 0,4 \cdot \text{ST-Höhe bzw. SE}$

max. Höhe EL =  $0,6 \cdot 1500 = 900$  mm

max. Breite EL =  $0,6 \cdot 700 = 420$  mm

wähle  $h_{EL} = 900$  mm  
 $b_{EL} = 400$  mm

## Dicke und Höhe der Beulsteifen

$t_{\text{Beulsteife}} \approx 1,0 - 1,1 \cdot t_{\text{Blech}}$

$h_{\text{Beulsteife}} \approx 10 \cdot t_{\text{Blech}}$

$t_{\text{Beulsteife}} = 1,1 \cdot 11 \text{ mm} = 12,1 \text{ mm}$

wähle  $t_{\text{Beulsteife}} = 12 \text{ mm}$

$h_{\text{Beulsteife}} = 10 \cdot 11 \text{ mm}$

$h_{\text{Beulsteife}} = 110 \text{ mm}$

## Innenboden (GL 8.B.4)

$$t_{IB} = 1,1 * a * \sqrt{(p * k)} + t_k \text{ [mm]}$$

$$\text{Lastbreite } a = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Entwurfsdruck } p = \max [p_1; p_2; p_3]$$

$$K = 1,0$$

$$p_1 = 10 (T - h_{DB}) = 10 (10 - 1,5) = 85 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 10 \times h$$

$$h = H_{\text{Gurtungsdeck}} + 0,76 - h_{\text{Doppelboden}}$$

$$h = 14 \text{ m} + 0,76 \text{ m} - 1,5 \text{ m} = 13,26 \text{ m}$$

$$p_2 = 132,6 \text{ kPa}$$

$$p_3 = p_i \text{ (GL 4.C.2)}$$

$$p_i = 9,81 \text{ G/V} \times h_{\text{Ladung}} \times (1 + a_v) \text{ [kPa]}$$

$$h_{\text{Ladung}} = H_{GD} + (h_{\text{Bucht}}/3) + h_{\text{Lukensüß}} - h_{DB}$$

$$h_{\text{Bucht}} = B/50 = 0,472 \text{ m}$$

$$h_{\text{Ladung}} = 14 \text{ m} + (0,472/3) + 0,8 - 1,5 = 13,46 \text{ m}$$

$$a_v = F/m$$

$$F = 0,11 \times v_0/L^{-2} = 0,11 \times 20 \text{ kn}/(79)^{-2} = 0,2475$$

$$m = 1,0 \text{ (für } 0,02 < x/L \leq 0,2)$$

$$a_v = F/m = 0,2475 / 1,0 = 0,2475$$

$$p_i = 9,81 \times 0,7 \text{ t/m}^3 \times 13,46 \text{ m} \times (1 + 0,2475) = 115,31 \text{ [kPa]}$$

$$p = \max [ p_1 = 85 \text{ [kPa]}; p_2 = 132,6 \text{ [kPa]}; p_3 = 115,31 \text{ [kPa]} ]$$

$$p = 132,6 \text{ [kPa]}$$

$$t_{IB} = 1,1 \times a \times \sqrt{(p \times k) + t_k} \text{ [mm]}$$

$$t_{IB}' = 1,1 \times 0,7 \times \sqrt{(132,6 \times 1)} = 8,86 \text{ [mm]}$$

$$t_k = 1,5 \text{ mm für } t' \leq 10 \text{ mm (GL 3.K.1)}$$

$$t_{IB} = 10,5 \text{ mm}$$

Gemäß 8.B.4.2 wird ein Zuschlag für fehlende Weigerung vorgesehen.

$$t_{IB} = 12,5 \text{ mm}$$

### volle Bodenwrangen (8.B.7.3)

Maximaler Abstand gemäß 7.3.1 ist 5 Spantentfernungen.

$$5 \times a = 3,5 \text{ m.}$$

Wähle Abstand der vollen Bodenwrangen zu 2,8 m.

### Dicke der Bodenwrangen (8.B.6.2.1)

$$T_{pf} = t_m - 2,0 \times \sqrt{k}$$

$$T_{pf} = 14,5 \text{ mm} - 2 \times \sqrt{1} = 12,5 \text{ mm}$$

### Erleichterungslöcher

#### Maximale Höhe und Breite

$$h_{EL} \leq 0,6 \cdot h_{BW} = 0,6 \cdot 1500 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$$

$$b_{EL} \leq 0,6 \cdot a_1 = 0,6 \cdot 700 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

$$A_w = \epsilon \cdot T \cdot l \cdot e \cdot (1 - 2y/l) \cdot k$$

$$\epsilon = 0,3$$

$$e = 2,8 \text{ m}$$

$$l = B = 23,6 \text{ m}$$

$$y_{max} = 0,4 \cdot l = 0,4 \cdot 23,6 \text{ m} = 9,44 \text{ m}$$

$$\epsilon \cdot T \cdot l \cdot k = 0,3 \cdot 10 \cdot 23,6 \cdot 2,8 \cdot 1 = 198,24 \text{ m}^3$$

EL-Nr	$\epsilon \cdot T \cdot l \cdot k$	$l$	$y$	$1 - \frac{2y}{l}$	$A_w$	$t_{BW}$	erf. Resthöhe	Höhe BW	max. EL-Höhe	EL-Größe
1	198,24	23,6	0,9	0,9237	183,11	12	1526	1500	-26	-
2	198,24	23,6	1,65	0,8602	170,53	12	1421	1500	79	-
3	198,24	23,6	2,35	0,8008	158,75	12	1323	1500	177	Ø 150
4	198,24	23,6	3,05	0,7415	146,99	12	1225	1500	275	Ø 250
5	198,24	23,6	3,75	0,6822	135,24	12	1127	1500	373	Ø 350
6	198,24	23,6	4,45	0,6229	123,48	12	1029	1500	471	450x400
7	198,24	23,6	5,15	0,5635	111,71	12	931	1500	569	550x400
8	198,24	23,6	5,85	0,5042	99,95	12	833	1500	667	650x400
9	198,24	23,6	6,55	0,4449	88,20	12	735	1500	765	750x400
10	198,24	23,6	7,25	0,3856	76,44	12	637	1500	863	850x400
11	198,24	23,6	7,95	0,3263	64,69	12	539	1500	961	900x400
12	198,24	23,6	8,65	0,2669	52,91	12	441	1500	1059	900x400
13	198,24	23,6	9,35	0,2076	41,15	12	343	1500	1157	900x400
14	198,24	23,6	10,05	0,1483	29,40	12	245	1500	1255	900x400

### Wasserdichte Bodenwangen

$$t_{w.BW} = \max [t_{BW}; t_1; t_2]$$

$$t_1 = 1,1 \cdot a \cdot \sqrt{(p \cdot k)} + t_k \text{ [mm]}$$

$$p = \max [p_1; p_1'; p_d]$$

$$p_1 = 9,81 \cdot h_1 \cdot \rho \cdot (1 + a_v) + 100 \cdot p_v$$

$$p_1 = 9,81 \cdot 0,75 \cdot 1,025 \cdot (1 + 0,2475) + 100 \cdot 0,2 = 27,73 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$p_1' = 9,81 \cdot \rho \cdot [h_1 \cdot \cos\varphi + (0,3 \cdot b + y)\sin\varphi] + 100 \cdot p_v$$

$$p_1' = 9,81 \cdot 1,025 \cdot [0,75 \cdot \cos 20^\circ + (0,3 \cdot 4,5 + 7,4)\sin 20^\circ] + 100 \cdot 0,2$$

$$p_1' = 57,2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p_d = (4 - L/150) \cdot l_T \cdot \rho_{F1} + 100 \cdot p_v$$

$$p_d = (4 - 158/150) \cdot 22,4 \cdot 1,025 + 100 \cdot 0,2$$

$$p_d = 87,7 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$p = \max [27,73; 57,2; 87,7] = 87,7 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_1 = 1,1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(87,7 \cdot 1)} + 1,5 \text{ [mm]}$$

$$t_1 = 8,7$$

$$t_2 = 0,9 \cdot a_1 \cdot \sqrt{(p_2 \cdot k)} + t_k$$

$$p_2 = 9,81 \cdot h_2$$

$$h_2 = h_{GD} + h_{\ddot{U}L} - h_{DB}/2$$

$$h_2 = 14 + 0,76 - 1,5/2$$

$$h_2 = 14,01 \text{ m}$$

$$p_2 = 9,81 \cdot 14,01 = 137,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$t_2 = 0,9 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(137,4 \cdot 1)} + 1,5 = 8,9$$

$$t_{w.BW} = \max [12,5; 8,7; 8,9] = 12,5 \text{ mm}$$

### Stützblech (8.B.6)

Zwischen den Bodenwrangen sind je zwei Stützbleche vorzusehen.

$$t_{\text{Stützblech}} = t_{BW} = 12,5 \text{ mm}$$

$$b_{\text{Stützblech}} \geq 0,75 \cdot h_{MT} = 0,75 \cdot 1,5 = 1,125 \text{ m}$$

### Längsband

$$AW = 0,2 \cdot L = 0,2 \cdot 158 = 31,6 \text{ cm}^2$$

wähle Flachstahl 20 x 160

## Außenboden (6.B.1.2)

$$t_{\text{AH-Boden}} = \max [t_{\text{B1}}; t_{\text{B2}}; t_{\text{krit}}; t_{\text{min}}]$$

$$t_{\text{B1}} = 18,3 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{(p_B/\sigma_{p1})} + t_k$$

$$n_f = 0,83 \text{ für Längsspanntbauweise}$$

$$p_B = 10 \cdot T + p_0 \cdot c_f$$

$$p_0 = 2,1 \cdot (c_B + 0,7) \cdot c_0 \cdot c_L \cdot f$$

$$c_0 = [10,75 - ((300-L)/100)^{1,5}] \cdot c_{\text{RW}}$$

$$c_{\text{RW}} = 1 \text{ für unbeschränkte Fahrt}$$

$$c_0 = [10,75 - ((300-158)/100)^{1,5}] \cdot 1 = 9,06$$

$$c_L = 1,0 \text{ für } L \geq 90 \text{ m}$$

$$f = 1,0$$

$$p_0 = 2,1 \cdot (0,67 + 0,7) \cdot 9,06 \cdot 1 \cdot 1 = 26,07 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$c_F = 1,0$$

$$p_B = 10 \cdot 10 + 26,07 \cdot 1 = 126,07$$

$$\sigma_{p1} = \sqrt{(\sigma_{\text{perm}}^2 - 3 \cdot \tau_L^2)} - 0,89 \cdot \sigma_{\text{LB}}$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 230/k = 230$$

$$\tau_L = 0$$

$$\sigma_{\text{LB}} = 100/k = 100$$

$$\sigma_{p1} = \sqrt{(230^2 - 3 \cdot 0^2)} - 0,89 \cdot 100 = 141 \text{ MPa}$$

$$t_{\text{B1}} = 18,3 \cdot 0,83 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(126,07/141)} + 1,5 = 11,55 \text{ mm}$$

$$t_{\text{B2}} = 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{(p_B \cdot k)} + t_k$$

$$t_{\text{B2}} = 1,21 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(126,07 \cdot 1)} + 1,5 = 8,0 \text{ mm}$$

$$t_{\text{krit}} = c \cdot 2,32 \cdot a \cdot \sqrt{(\sigma_{\text{LB}})} + t_k$$

$$c = 0,5$$

$$t_{\text{krit}} = 0,5 \cdot 2,32 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(100)} + 1,5 = 9,62 \text{ mm}$$

$$t_{\text{min}} = \sqrt{(1 \cdot k)} = \sqrt{(158 \cdot 1)} = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_{\text{AH-Boden}} = \max [11,5; 8,0; 9,62; 12,5] = 12,5 \text{ mm}$$

**Außenseite (6.C.1.2)**

$$t_{\text{AH-Seite}} = \max [t_{s1}; t_{s2}; t_{\min}] \leq 16 \text{ mm}$$

$$t_{s1} = 18,3 \cdot n_f \cdot a \cdot \sqrt{(p_s / \sigma_{pl})} + t_k$$

$$n_f = 1,0$$

$$p_s = 10 \cdot (T - z) + p_0 \cdot c_F \cdot (0,5 + z/2T)$$

$$z = h_{DB} + 0,5 \cdot (H_{2.D.} - h_{DB})$$

$$z = 1,5 + 0,5 \cdot (8,8 - 1,5) = 5,15 \text{ m}$$

$$c_F = 1,0$$

$$p_s = 10 \cdot (10 - 5,15) + 26,07 \cdot 1 \cdot (0,5 + 5,15/20) = 68,25 \text{ [kN/ mm}^2\text{]}$$

$$t_{s1} = 18,3 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(68,25 / 141)} + 1,5 = 7,7 \text{ mm}$$

$$t_{s2} = 1,21 \cdot a \cdot \sqrt{(p \cdot k)} + t_k$$

$$t_{s2} = 1,21 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{(68,25 \cdot 1)} + 1,5 = 8,5 \text{ mm}$$

$$t_{\text{AH-Seite}} = \max [7,7; 8,5; 12,5] = 12,5 \text{ mm}$$

## Kimmgang

$$b_{\text{Kimm}} \geq 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 158 = 1590 \text{ mm}$$

$$t_{\text{Kimm}} = \max [t_{\text{AH-Boden}}; t_{\text{AH-Seite}}] = 12,5 \text{ mm}$$

## Flachkiel

$$b_{\text{Kiel}} \geq 800 + 5 \cdot L = 800 + 5 \cdot 158 = 1590 \text{ mm}$$

$$b_{\text{Kiel}} = (700 + 108) \cdot 2 = 1616 \text{ mm}$$

$$\text{wähle } b_{\text{Kiel}} = 1620 \text{ mm}$$

$$t_{\text{fk}} = t_{\text{AB-Boden}} + 2 \text{ mm} = 12,5 + 2 = 14,5 \text{ mm}$$

## Bodenlängsspanten

$$W = 83/\sigma_{PR} \cdot m \cdot a \cdot l^2 \cdot p \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$m = m_k^2 - m_a^2$$

$$m_a = 0,204 \cdot a/l \cdot [4 - (a/l)^2]$$

$$l = \text{ununterstützte Länge} = 2,8 \text{ m}$$

$$m_a = 0,204 \cdot 0,7/2,8 \cdot [4 - (0,7/2,8)^2] = 0,2$$

$$m = 1^2 - 0,2^2 = 0,96$$

$$\sigma_{PR} = \sigma_{Perm} - \sigma_{Zul} = 230 - 120 \cdot 0,8 = 134 \text{ MPa}$$

$$W = 83/134 \cdot 0,96 \cdot 0,7 \cdot 2,8^2 \cdot 126,07 \text{ [cm}^3\text{]} = 411 \text{ cm}^3$$

$$A_{erf} = (1 - 0,817 \cdot m_a) \cdot 0,05 \cdot e \cdot l \cdot p \cdot k$$

$$A_{erf} = (1 - 0,817 \cdot 0,2) \cdot 0,05 \cdot 2,8 \cdot 126,07 \cdot 1 = 14,8 \text{ cm}^2$$

Wähle: HP 260 x 16

## Tankspanten

$$W_{\text{Tank-sp}} = p_{\text{Tank}}/p \cdot W$$

$$W_{\text{Tank-sp}} = 87,7/126,07 \cdot 411 = 286 \text{ cm}^3 < W$$

Es können die Profile wie Bodenlängsspanten benutzt werden.

## Kimmspanten

$$W_{\text{Kimmspannt}} = a_{\text{Kimm}}/a_l \cdot W$$

$$a_{\text{Kimm}} = a_l/2 + R/3$$

$$a_{\text{Kimm}} = 0,7/2 + 2,5/3 = 1,18 \text{ m}$$

$$W_{\text{Kimmspannt}} = 1,18/0,7 \cdot 411 = 693 \text{ cm}^3$$

$$A_{\text{Kimmspannt}} = a_{\text{Kimm}}/a_l \cdot A$$

$$A_{\text{Kimmspannt}} = 1,18/0,7 \cdot 14,8 = 24,9 \text{ cm}^2$$

Wähle: HP 340 x 14

## Innenlängsspannt

$$W_{\text{Innenlängsspannt}} = m \cdot a \cdot l^2 \cdot p$$

$$W_{\text{Innenlängsspannt}} = 0,96 \cdot 0,7 \cdot 2,8^2 \cdot 132,6 = 728 \text{ cm}^3$$

wähle: HP 300 x 14

## Raumspannt (9.A.2)

$$W_{\text{Raumspannt}} = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot c_r \cdot k$$

$$n = 0,55$$

$$c = 1,0 - 1/l \cdot (l_{ku} + 0,4 \cdot l_{ko})$$

$$l = H_{2.D.} - h_{DB} = 8,8 - 1,5 = 7,3 \text{ m}$$

$$c = 1,0 - 1/7,3 \cdot (0,5 + 0,4 \cdot 0,5) = 0,904$$

$$W_{\text{Raumspannt}} = 0,55 \cdot 0,904 \cdot 0,7 \cdot 7,3^2 \cdot 68,25 \cdot 1 \cdot 1 = 1266 \text{ cm}^3$$

wähle: HP 370 x 15

## Kniebleche Kimm

$$t_{\text{gefFlanscht}} = c (W/k_1)^{1/3} + t_k$$

$$t_{\text{gefFlanscht}} = 0,95 (1266/0,72)^{1/3} + 1,5 = 12,96 \text{ mm}$$

$$t_{\text{gefFlanscht}} = 13 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ungefFlanscht}} = c (W/k_1)^{1/3} + t_k$$

$$t_{\text{ungefFlanscht}} = 1,2 (1266/0,72)^{1/3} + 1,5 = 15,98 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ungefFlanscht}} = 16 \text{ mm}$$

## Schenkellänge

$$l_{Kn} = 50,6 \cdot ((W \cdot k_2)/(t_{\text{ungefFlanscht}} \cdot k_1))^{1/2}$$

$$l_{Kn} = 50,6 \cdot ((1266 \cdot 1)/(16 \cdot 1))^{1/2} = 450,09 \text{ mm}$$

## 2. Rechnung

$$W_{\text{Raumspant}} = n \cdot c \cdot a \cdot l^2 \cdot p \cdot c_r \cdot k$$

$$n = 0,55$$

$$c = 1,0 - 1/l \cdot (l_{ku} + 0,4 \cdot l_{ko})$$

$$l = H_{2.D.} - h_{DB} = 8,8 - 1,5 = 7,3 \text{ m}$$

$$c = 1,0 - 1/7,3 \cdot (0,4509 + 0,4 \cdot 0,5) = 0,942$$

$$W_{\text{Raumspant}} = 0,55 \cdot 0,942 \cdot 0,7 \cdot 7,3^2 \cdot 68,25 \cdot 1 \cdot 1 = 1319 \text{ cm}^3$$

Wähle: HP 370 x 16

### Kniebleche Kimm

$$t_{\text{gef1anscht}} = c (W/k_1)^{1/3} + t_k$$

$$t_{\text{gef1anscht}} = 0,95 (1319/0,72)^{1/3} + 1,5 = 13,12 \text{ mm}$$

$$t_{\text{gef1anscht}} = 13 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ungef1anscht}} = c (W/k_1)^{1/3} + t_k$$

$$t_{\text{ungef1anscht}} = 1,2 (1319/0,72)^{1/3} + 1,5 = 16,18 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ungef1anscht}} = 16 \text{ mm}$$

### Schenkel1änge

$$l_{kn} = 50,6 \cdot ((W \cdot k_2)/(t_{\text{ungef1anscht}} \cdot k_1))^{1/2}$$

$$l_{kn} = 50,6 \cdot ((1319 \cdot 1)/(16 \cdot 1))^{1/2} = 459,4 \text{ mm}$$

$$l_{kn} = 460 \text{ mm}$$

### Schweißnahtdicke

$$a_{\text{erf}} = (1000 \cdot w)/d^2 = (1000 \cdot 1319)/499^2 = 5,29 \text{ mm}$$

Wähle  $a = 5,5 \text{ mm}$

(1) Nr.	(2) Bauteilpaarung	(3) t <sub>1</sub> [mm]	(4) t <sub>2</sub> [mm]	(5) t <sub>0</sub> [mm]	(6) a/t <sub>0</sub> [-]	(7) a [mm]	(8) a <sub>min</sub> [mm]	(9) unter- br. lassig n	(10) a <sub>ausgef.</sub> [mm]	(11) b/l [-]	(12) b [mm]	(13) b <sub>ausgef.</sub> [mm]	(14) l [mm]
1	MLT-Flachkiel	14,50	14,50	14,50	0,40	5,80	3,11	n	6,0	-	-	-	-
2	MLT-Innenboden	14,50	12,50	12,50	0,40	5,00	3,00	n	5,5	-	-	-	-
3	MLT-Bodenwrangen	14,50	12,50	12,50	0,35	4,38	3,00	j	4,5	0,935	2160,00	2165	2015
4	MLT-Stützblech	14,50	12,50	12,50	0,15	1,88	3,00	j	3,5	1,697	365,22	370	220
5	Bodenwrange-Bodenlängsspant	12,50	16,00	12,50	0,35	4,38	3,08	n	4,5	-	-	-	-
6	Bodenwrange-Innenlängsspant	12,50	14,00	12,50	0,35	4,38	2,97	n	4,5	-	-	-	-
7	Bodenwrange-Innenboden	12,50	12,50	12,50	0,20	2,50	2,89	j	3,0	1,091	1800,00	1805	1655
8	Bodenwrange-Außenboden	12,50	12,50	12,50	0,20	2,50	2,89	j	3,0	1,091	1800,00	1805	1655
9	Bodenwrange-Flachkiel	12,50	14,50	12,50	0,20	2,50	3,00	j	3,5	1,273	700,00	705	555
10	Bodenwrange-Kimmgang	12,50	12,50	12,50	0,20	2,50	2,89	j	3,0	1,091	1800,00	1805	1655
11	Bodenwrange-Seitenlängsträger	12,50	11,00	11,00	0,35	3,85	2,80	j	4,0	0,945	2553,19	2555	2405
12	Bodenwrange-Beulsteife	12,50	12,00	12,00	0,15	1,80	2,86	j	3,0	1,515	441,18	445	295
13	Seitenlängsträger-Innenboden	11,00	12,50	11,00	0,20	2,20	2,80	j	3,0	1,240	775,86	780	630
14	Seitenlängsträger-Außenboden	11,00	12,50	11,00	0,20	2,20	2,80	j	3,0	1,240	775,86	780	630
15	Bodenlängsspant-Außenboden	16,00	12,50	12,50	0,20	2,50	3,08	j	3,5	1,273	700,00	705	555
16	Innenlängsspant-Innenboden	14,00	12,50	12,50	0,20	2,50	2,97	j	3,0	1,091	1800,00	1805	1655
17	Kimmspant-Kimmgang	14,00	12,50	12,50	0,20	2,50	2,97	j	3,0	1,091	1800,00	1805	1655
18	Raumspant-Knie	15,00	13,00	13,00	0,15	1,95	3,06	n	3,5	-	-	-	-
19	Raumspant-Außenhaut Seite	15,00	12,50	12,50	0,20	2,50	3,03	j	3,5	1,273	700,00	705	555
20	Knie-Innenboden	13,00	12,50	12,50	0,15	1,88	2,92	n	3,0	-	-	-	-
21	Beulsteifen-Innenlängsspant	12,00	14,00	12,00	0,15	1,80	2,94	j	3,0	1,515	441,18	445	295
22	Bodenlängsspant-Beulsteifen	16,00	12,00	12,00	0,15	1,80	3,06	j	3,5	1,768	345,39	350	200
23	Innenlängsspant-Beulsteifen	14,00	12,00	12,00	0,15	1,80	2,94	j	3,0	1,515	441,18	445	295
24	Bodenlängsspant-Flachkiel	16,00	14,50	14,50	0,40	5,80	3,19	j	6,0	0,940	2368,42	2370	2220
25	Längsband-Flachkiel	20,00	14,50	14,50	0,40	5,80	3,39	j	6,0	0,940	2368,42	2370	2220
26	Innenboden-Kimmgang	12,50	12,50	12,50	0,40	5,00	2,89	n	5,5	-	-	-	-
27	Seitenlängsträger-Beulsteifen	11,00	12,00	11,00	0,15	1,65	2,77	j	3,0	1,653	379,75	380	230