

EXERCICE 1: MATERIAUX ET DETAILS CONSTRUCTIFS

Buts

Connaître les ordres de grandeur des caractéristiques des différents matériaux.

Se familiariser avec les définitions et la représentation de détails en construction métallique.

Remettre en mémoire les acquis des semestres précédents indispensables pour ce cours.

Références

TGC 1

Chap. 3 et du TGC 10, chap. 2 à 5 du TGC 11

Exercice 1

Calculer l'inertie de la section suivante selon ses deux axes principaux.

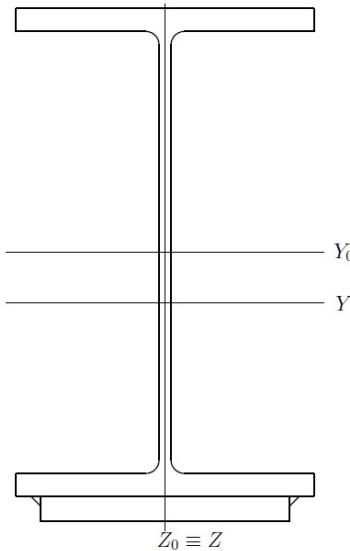


Figure 1—Section HEA 500 renforcée avec une plaque 250mm · 25mm

Exercice 2

Caractéristiques mécaniques, valeurs de calcul :

Caractéristique	Symbole et unité	Acier S 235 J0	Béton C 25/30	Bois C24
Charge volumique	γ [kN/m ³]			3.5
Module d'élasticité	E_a, E_{cm} [N/mm ²]		35'300	11'000
Résistance à la compression	f_u, f_{cd} [N/mm ²]		16.5	
Allongement de rupture	ε_r [%]		$\cong 0.6$	$\cong 0.1^*$
Résilience	KV [J]		N'existe pas	N'existe pas

* selon la SIA 265, une relation élastique-linéaire entre contrainte et déformation est admise jusqu'à la rupture.

A. Compléter le tableau ci-dessus regroupant les caractéristiques mécaniques suivantes d'un acier S235 J0, d'un béton C 25/30 ($k_E = 11000$) et d'un bois résineux de classe C24 sollicité parallèlement aux fibres. Aller regarder dans les PDF des normes, chaps. 1 et 3.

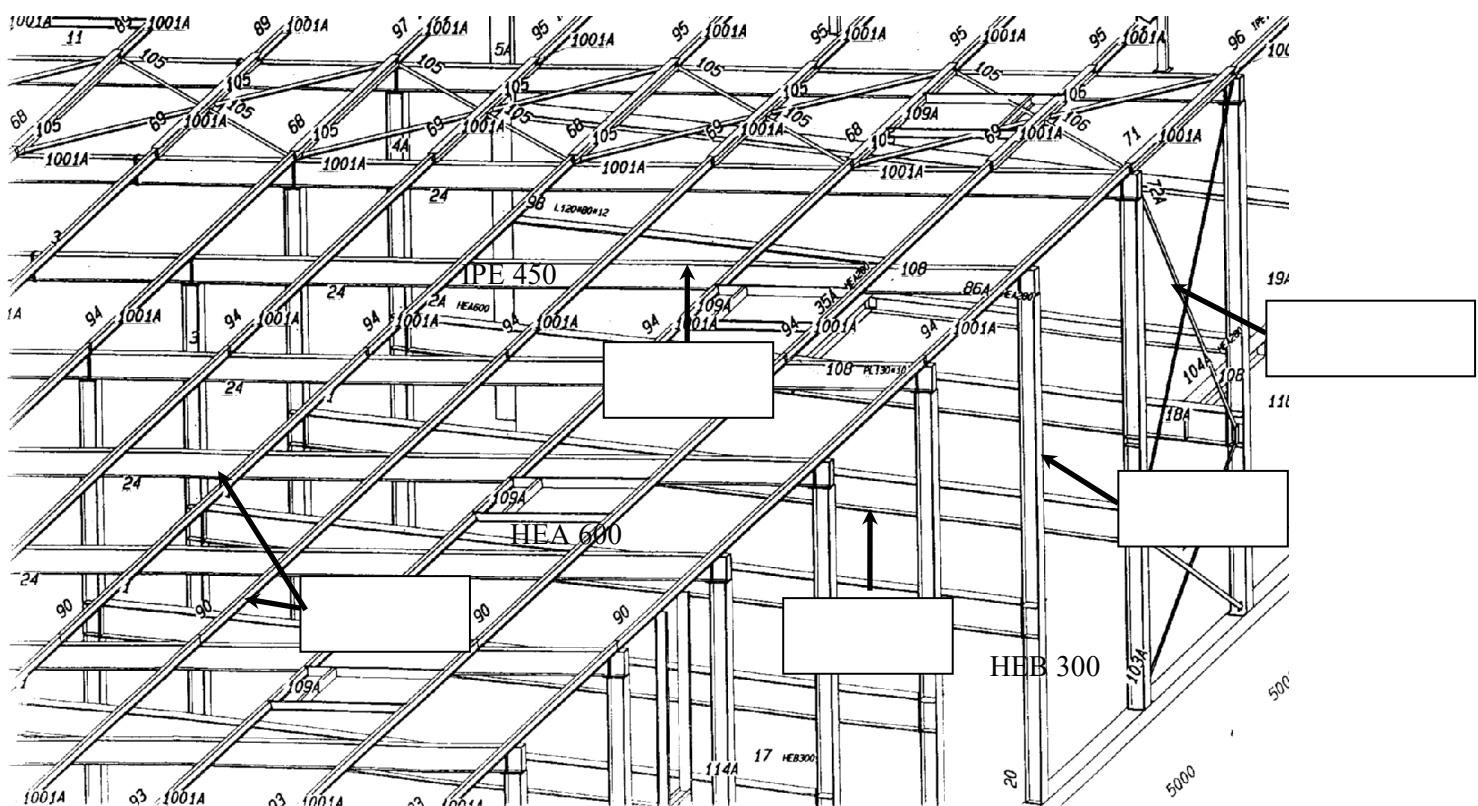
- B. Dessiner le diagramme réel σ - ϵ d'un acier S 235, ceci en traction et en compression.
- C. Sur la même figure, esquisser le diagramme σ - ϵ d'un acier S460M.
- D. Toujours sur la même figure, esquisser les diagrammes σ - ϵ des matériaux suivants :
 - d'un béton C 25/30
 - d'une barre d'armature B500B

Exercice 3

Le maître d'ouvrage vous a confié la réalisation de sa halle industrielle. La conception de cette halle a déjà été réalisée et vous a été présentée en cours. Afin de se familiariser avec la construction, on va dessiner des détails types.

Sur la figure 2, remplissez les cases vides avec le nom des éléments de structure.

Figure 2 – Vue 3D partielle de la halle, avec un cadre souligné en gris



Exercice 4

À l'aide des dessins de détails d'une halle distribués et de votre TGC, faites :

- la représentation en élévation et vue en plan du détail de pied de poteau de la figure 3.
- ensuite, faites la représentation en élévation, coupe verticale et vue en plan du détail de l'assemblage poutre-poteau de la figure 4.

Note : Les profilés sont laissés à choix dans les séries proposées, utilisez vos tables SZS pour les représenter correctement

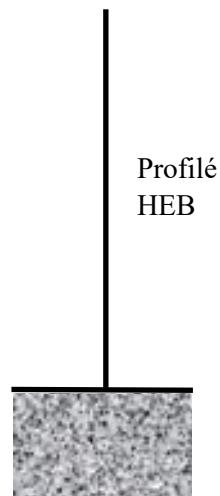
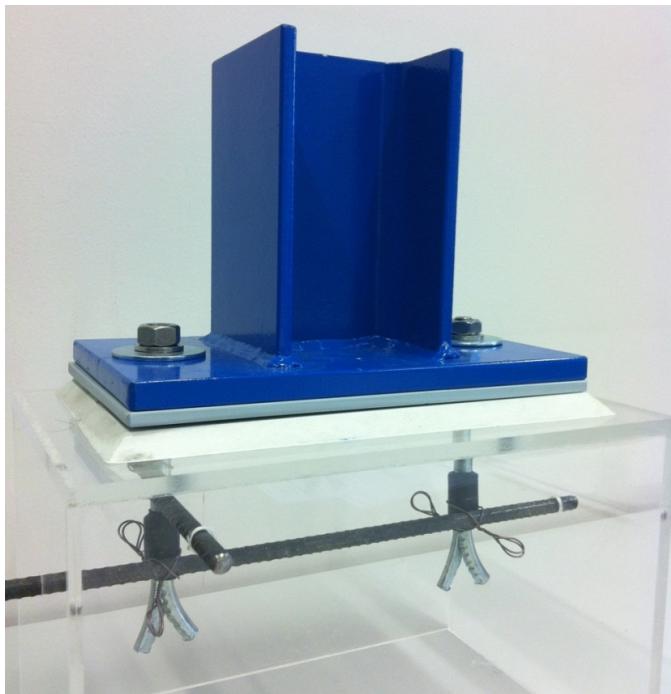


Figure 3 – Photo et modèle statique d'un pied de poteau encastré

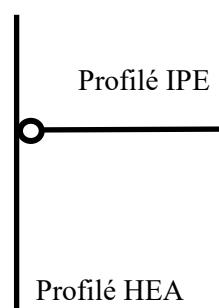


Figure 4 – Photo et modèle statique d'un assemblage poutre-poteau articulé

Exercice 5

Calculer les efforts dans les barres BC, EC, EG du treillis ci-dessous.

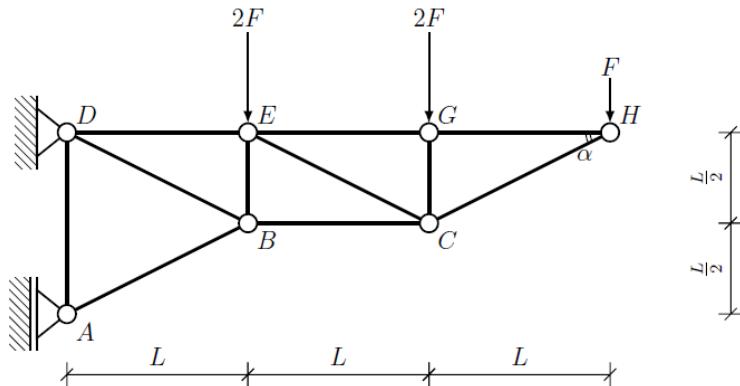


Figure 5–Poutre à treillis

Exercice 6

Le pont de la figure 6 est composée des plusieurs poutres et la variable d vaut 10m (exercice de révision de la Prof. K .Beyer).

- Montrer que la structure est isostatique.
- Calculer les réactions d'appuis pour un poids propre $q = 20 \text{ kN/m}$ et les dessiner dans le diagramme avec leur **sens réel**. Indiquer les composantes éventuellement nulles de certaines réactions.
- Contrôler les réactions d'appuis verticales des appuis A et B en utilisant le théorème du déplacement virtuel.
- Tracer les diagrammes des efforts intérieurs NVM et calculer toutes leurs **valeurs caractéristiques** (valeurs minimales / maximales, valeurs aux extrémités des poutres).
- Un camion avec un poids $P = 400 \text{ kN}$ traverse le pont (de $x=0 \text{ m}$ à $x=60 \text{ m}$, figure 6). Le camion est représenté par une seule force verticale de valeur P .
 - Quelle position du camion maximise la valeur absolue de la force de liaison dans l'articulation C sous l'effet du camion **et** du poids propre du pont ? Que vaut cet effort ?
 - Quelle position du camion maximise la valeur absolue de la réaction d'appuis en A sous l'effet du camion **et** du poids propre du pont ? Que vaut cet effort ?

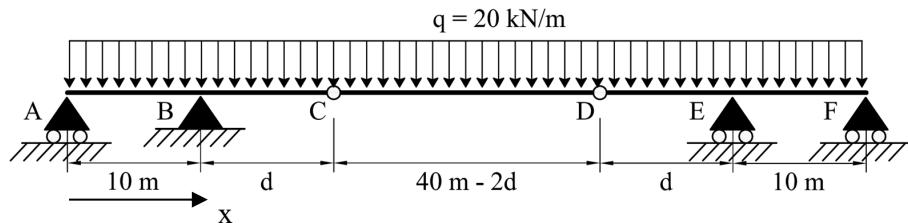
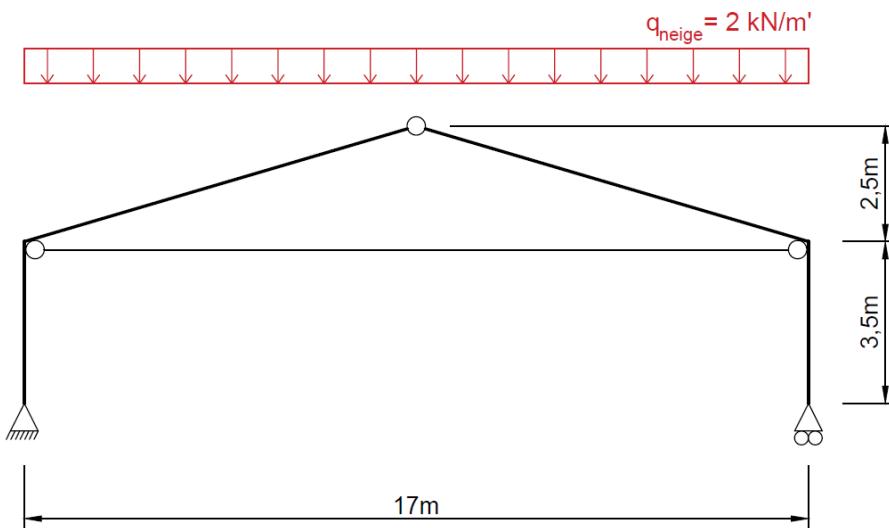


Figure 6–Pont sous poids propre avec articulations à une distance d des appuis

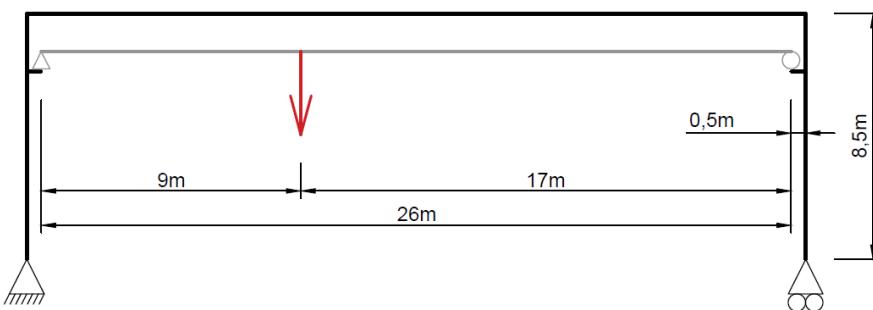
Note : cet exercice a un complément dans le dossier « exercices statique » sur Moodle : CIVIL_124_exercice_repetitions

Exercice 7 (Exercices complémentaires de statique, voir sur Moodle)

1. Cadre avec ferme sous-tendue



2. Cadre avec pont-roulant



3. Sporthalle Buchholz



Annexes

Copie du tableau 5 de la norme SIA 262 : Construction en béton

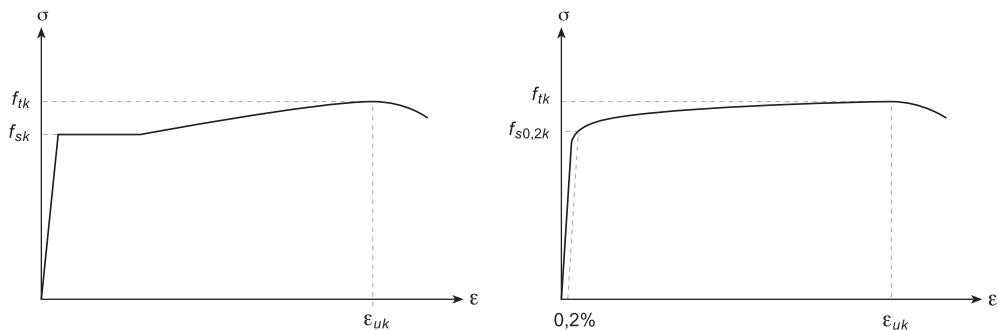
Copie du tableau 1 de la norme SIA 263 : Construction en acier

Copie du tableau 6 de la norme SIA 265 : Construction en bois

Copie pp. 34-35 de la table Szs C5

Extrait de la norme SIA 262 : Construction en béton (voir aussi le PDF de la norme sur Moodle)

Figure 4: Diagramme contrainte-déformation spécifique typique de l'acier d'armature passive



3.2.2.2 Résistance

L'essai de résistance permet de mesurer la limite d'écoulement f_s , comme contrainte supérieure d'écoulement ou comme contrainte limite d'élasticité à 0,2% ($f_{s0,2}$), ainsi que la résistance à la traction f_t (figure 4). Elles résultent de la division de la charge de traction correspondante par la section nominale de la barre. Les valeurs caractéristiques figurent au tableau 5.

3.2.2.3 Ductilité

Les propriétés de l'acier d'armature passive en matière de ductilité doivent satisfaire aux exigences du tableau 5. En cas d'utilisation d'un acier d'armature passive ne correspondant pas à la classification de cette norme, on contrôlera par des essais la conformité de ses propriétés en matière de ductilité.

Tableau 5: Propriétés de l'acier d'armature passive

Acier d'armature passive	B500A	B500B	B450C
Produit	Torches, treillis soudés	Barres, torches, treillis soudés	Barres, torches, treillis soudés
Classe de ductilité	A	B	C
Limite d'écoulement f_{s_k} [N/mm ²] ¹⁾	500	500	≥ 450 ≤ 550
Rapport $(f_t/f_s)_k$	$\geq 1,05$ ²⁾	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $\leq 1,35$
Allongement sous charge ultime ε_{u_k} [%]	$\geq 2,5$ ²⁾	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$
Écart par rapport aux dimensions nominales [%]	$\pm 4,5$ pour $\varnothing > 8$ mm $\pm 6,0$ pour $\varnothing \leq 8$ mm		
Surface	nervurée		
Surface projetée relative des nervures f_R			
5 mm < $\varnothing \leq 6$ mm	0,035		
6,5 mm < $\varnothing \leq 12$ mm	0,040		
$\varnothing > 12$ mm	0,056		

¹⁾ La valeur maximale déterminée par des essais ne doit pas être supérieure à 1,3 f_{s_k} .
²⁾ Pour les barres $\varnothing < 6$ mm, il faut: $(f_t/f_s)_k \geq 1,03$ et $\varepsilon_{u_k} \geq 2,0\%$.

Extrait de la norme SIA 263 : Construction en acier

3.2.2 Valeurs caractéristiques

3.2.2.1 Pour les propriétés physiques des aciers de construction et dans les conditions usuelles de température, les valeurs ci-après serviront de base pour les calculs:

- masse volumique $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$
- module d'élasticité $E = 210 \text{ kN/mm}^2$
- module de glissement $G = 81 \text{ kN/mm}^2$
- coefficient de Poisson $\nu = 0,3$.

3.2.2.2 Le coefficient de dilatation thermique est fonction de la température. Toutefois, dans le domaine $-100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 200^\circ\text{C}$, on peut en général calculer avec une valeur constante de $\alpha_T = 10 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

Dans des cas spéciaux, on peut recourir à l'approximation suivante:

$$\alpha_T = (11,2 + 0,01\theta) 10^{-6}/^\circ\text{C} \quad \text{valable pour } -100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 700^\circ\text{C}.$$

3.2.2.3 Le tableau 1 contient les valeurs caractéristiques de la limite d'élasticité f_y de la limite d'élasticité en cisaillement τ_y et de la résistance à la traction f_u normalement utilisées pour les vérifications.

Tableau 1: Valeurs caractéristiques de la limite d'élasticité f_y , de la limite d'élasticité en cisaillement τ_y et de la résistance à la traction f_u en N/mm^2

Nuance d'acier	Epaisseur t					
	$t \leq 40 \text{ mm}$			$40 \text{ mm} < t \leq 100 \text{ mm}$		
	f_y	τ_y	f_u	f_y	τ_y	f_u
S 235	235	135	360	215	124	340
S 275	275	160	430	255	147	410
S 355	355	205	510	335	193	490
S 460	460	265	550	430	248	530

Pour des calculs plus précis, on peut utiliser les valeurs fournies dans SN EN 10025, SN EN 10137 et SN EN 10155, et, pour les profilés creux, SN EN 10210 et SN EN 10219.

3.2.2.4 L'utilisation des méthodes de calcul EP et PP selon le chiffre 4.3.1 est autorisée si l'acier employé répond aux exigences suivantes:

- l'allongement de rupture (selon SN EN 10002-1) mesuré sur une longueur de $5,65\sqrt{A_0}$ est supérieur à 15%
- le rapport entre l'allongement de rupture et la déformation élastique est de $\varepsilon_u/\varepsilon_y \geq 15$
- le rapport entre la résistance à la traction et la limite d'élasticité est de $f_u/f_y \geq 1,1$.

Les nuances d'acier du tableau 1 remplissent ces conditions.

3.2.2.5 Le comportement du matériau sollicité selon plusieurs axes peut être évalué selon le critère d'écoulement plastique basé sur l'énergie de déformation (d'après von Mises). La contrainte de comparaison $\sigma_{m,E}$ est obtenue comme suit:

$$\sigma_{m,E} = \sqrt{\sigma_{x,E}^2 + \sigma_{y,E}^2 + \sigma_{z,E}^2 - \sigma_{x,E}\sigma_{y,E} - \sigma_{x,E}\sigma_{z,E} - \sigma_{y,E}\sigma_{z,E} + 3(\tau_{xy,E}^2 + \tau_{xz,E}^2 + \tau_{zy,E}^2)}$$

Extrait de la norme SIA 265 : Construction en bois

Tableau 6: Propriétés caractéristiques et valeurs de calcul du bois massif ($\eta_w = 1,0$ et $\eta_t = 1,0$)

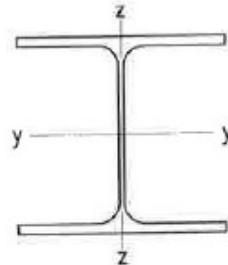
Classes de résistance		Résineux					Chêne Hêtre	
		C20	C24	C27	C35 ⁴⁾	C45 ⁴⁾		
Propriétés caractéristiques ¹⁾								
– Résistance en flexion	$f_{m,k}$	N/mm ²	20	24	27	35	45	30
– Module d'élasticité moyen en flexion	$E_{m,mean}$	kN/mm ²	9,5	11	12	13	15	10
– Densité apparente	ρ_k	kg/m ³	330	350	370	400	440	530
Valeurs de calcul ¹⁾								
Résistance	Flexion	$f_{m,d}$	N/mm ²	12	14	16	23	30
	Traction parallèle aux fibres	$f_{t,0,d}$	N/mm ²	7 ³⁾	8	9,5	14	18
	Comp. parallèle aux fibres	$f_{c,0,d}$	N/mm ²	11	12	13	17	18
	Traction perpen. aux fibres	$f_{t,90,d}$	N/mm ²	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Comp. perpen. aux fibres	$f_{c,90,d}$	N/mm ²	– en général	1,7	1,8	1,9	2,2
			N/mm ²	– avec un avant-bois ^{5) 6)}	2,2 (2,8)	2,3 (2,9)	2,5 (3,1)	2,7 (3,3)
			N/mm ²	– appui d'extrémité ⁶⁾	1,7 (2,8)	1,8 (2,9)	1,9 (3,1)	2,0 (3,3)
Déformation	Contrainte tangentielle	$f_{v,d}$	N/mm ²	1,5	1,5	1,5	1,8	1,8
	$E_{0,mean}$ parallèle aux fibres ²⁾	$\left\{ \begin{array}{l} E_{m,mean} \\ E_{t,0,mean} \\ E_{c,0,mean} \end{array} \right\}$	kN/mm ²	9,5	11	12	13	15
	$E_{90,mean}$ perpen. aux fibres ²⁾	$\left\{ \begin{array}{l} E_{t,90,mean} \\ E_{c,90,mean} \end{array} \right\}$	kN/mm ²	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
	Module de cisaillement ²⁾	G_{mean}	kN/mm ²	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6

¹⁾ Toutes les propriétés et les valeurs de calcul correspondant à une teneur en eau de 12%.
²⁾ Le fractile 5% est défini par les $2/3$ de la valeur moyenne.
³⁾ Pas admis pour des barres tendues.
⁴⁾ Pour ces classes (triées mécaniquement), il faut vérifier qu'elles sont disponibles sur le marché.
⁵⁾ L'avant-bois doit dépasser de 100 mm de chaque côté, sinon prendre la valeur «en général».
⁶⁾ La valeur supérieure (entre parenthèses) n'est admissible que si les déformations qui en résultent sont sans conséquence sur le comportement de l'élément porteur.

HEA

Breitflanschträger HEA

Profilés à larges ailes HEA



$$\begin{aligned}
 A_v &= A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f \\
 A_w &= (h - t_f) \cdot t_w & W_{ely} &= \frac{I_y}{h/2} \\
 S_y &= \frac{1}{2} W_{ply} \\
 S_z &= \frac{1}{2} W_{plz} & \bar{W}_y &= \frac{I_y}{(h - t_f)/2} \\
 & & W_{elz} &= \frac{I_z}{b/2}
 \end{aligned}$$

Maximale Lagerlängen /
Longueurs maximales en stock:

$h \leq 180$ 18 m

$h \geq 200$ 24 m

EN 10365:2017

Andere Bezeichnungen } DIE, IPBI
Autres désignations }

Falls bei reiner Biegung nicht mit Verfahren PP gerechnet werden darf, sind folgende Verfahren anzuwenden:

Si en cas de flexion pure la méthode PP ne peut pas être utilisée, les procédures suivantes doivent être utilisées:

S355: \triangle EP \blacktriangle EE

S460: \circ EP \bullet EE \circ EER

Bei Druckbeanspruchung ist örtliches Beulen zu beachten für:

En cas de sollicitation par compression, le voilement local doit être pris en compte pour:

- S460 und höher/nuance S460 ou plus élevée
- S355 und höher/nuance S355 ou plus élevée
- alle Stähle/toutes les nuances d'acier

HEA	m kg/m	Statische Werte / Valeurs statiques												
		A mm ²	A _v mm ²	A _w mm ²	I _y mm ⁴	W _{ely} mm ³	W _y mm ³	W _{ply} mm ³	i _y mm	I _z mm ⁴	W _{elz} mm ³	W _{plz} mm ³	i _z mm	K = I _x mm ⁴
100	16,7	2120	756	440	3,49	72,8	79	83,0	40,6	1,34	26,8	41,2	25,1	0,0520
120	19,9	2530	846	530	6,06	106	114	119	48,9	2,31	38,5	58,9	30,2	0,0596
140	24,7	3140	1012	685	10,3	155	166	173	57,3	3,89	55,6	84,8	35,2	0,0803
160	30,4	3880	1321	858	16,7	220	234	245	65,7	6,16	76,9	118	39,8	0,118
180	35,5	4530	1447	969	25,1	294	311	325	74,5	9,25	103	157	45,2	0,147
200	42,3	5380	1808	1170	36,9	389	410	429	82,8	13,4	134	204	49,8	0,204
220	50,5	6430	2067	1390	54,1	515	544	568	91,7	19,5	178	271	55,1	0,281
240	60,3	7680	2518	1640	77,6	675	712	745	101	27,7	231	352	60,0	0,410
260	68,2	8680	2876	1780	104,5	836	881	920	110	36,7	282	430	65,0	0,520
280	76,4	9730	3174	2060	136,7	1010	1060	1110	119	47,6	340	518	70,0	0,614
300	88,3	11300	3728	2350	182,6	1260	1320	1380	127	63,1	421	641	74,9	0,842
320	97,6	12400	4113	2650	229,3	1480	1560	1630	136	69,9	466	710	74,9	1,09
340	105	13300	4495	2980	276,9	1680	1770	1850	144	74,4	496	756	74,6	1,29
360	112	14300	4896	3320	330,9	1890	1990	2090	152	78,9	526	802	74,3	1,51
400	125	15900	5733	4080	450,7	2310	2430	2560	168	85,6	571	873	73,4	1,91
450	140	17800	6578	4820	637,2	2900	3040	3220	189	94,7	631	966	72,9	2,49
500	155	19800	7472	5600	869,7	3550	3730	3950	210	103,7	691	1060	72,4	3,18
550	166	21200	8372	6450	1119	4150	4340	4620	230	108,2	721	1110	71,5	3,61
600	178	22600	9321	7340	1412	4790	5000	5350	250	112,7	751	1160	70,5	4,08
650	190	24200	10320	8290	1752	5470	5710	6140	269	117,2	782	1200	69,7	4,59
700	204	26000	11700	9610	2153	6240	6490	7030	288	121,8	812	1260	68,4	5,23
800	224	28600	13880	11400	3034	7680	7960	8700	326	126,4	843	1310	66,5	6,10
900	252	32100	16330	13800	4221	9480	9820	10800	363	135,5	903	1410	65,0	7,51
1000	272	34700	18460	15800	5538	11190	11550	12800	400	140,0	934	1470	63,5	8,37

Breitflanschträger HEA

Profilés à larges ailes HEA

HEA

Die Profile HEAA sind im Walzprogramm einzelner Werke aufgeführt.

Anstelle des nicht mehr gewalzten Profils HEA 1100 können HL-Profile verwendet werden, siehe Seiten 46/47.

w_1 mit \varnothing_{max} nur für versetzte Schrauben.

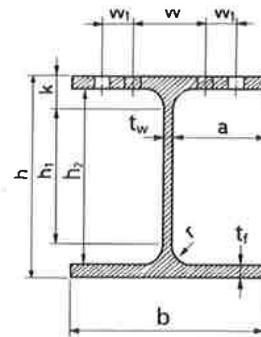
Walztoleranzen siehe Seite 158

Les profilés HEAA figurent dans le programme de laminage de quelques acieries.

Au lieu du profilé HEA 1100 qui n'est plus laminé, on utilisera des profilés HL (voir pages 46/47).

w_1 avec \varnothing_{max} seulement pour boulons décalés.

Tolérances de laminage voir page 158



HEA	m kg/m	Profilmasse Dimensions de la section					Konstruktionsmasse Dimensions de construction						Oberfläche Surface	HEA		
		h mm	b mm	t_w mm	t_f mm	r mm	h_1 mm	k mm	a mm	h_2 mm	w mm	w_1 mm	\varnothing_{max} mm	U_m m ² /m	U_t m ² /t	
100	16,7	96	100	5	8	12	56	20	47	80	56	M12	0,561	33,6	100	
120	19,9	114	120	5	8	12	74	20	57	98	66	M16	0,677	34,0	120	
140	24,7	133	140	5,5	8,5	12	91	21	67	116	76	M20	0,794	32,1	140	
160	30,4	152	160	6	9	15	104	24	77	134	86	M20	0,906	29,8	160	
180	35,5	171	180	6	9,5	15	121	25	87	152	100	M24	1,02	28,7	180	
200	42,3	190	200	6,5	10	18	134	28	96	170	110	M24	1,14	26,9	200	
220	50,5	210	220	7	11	18	152	29	106	188	120	M24	1,26	24,9	220	
240	60,3	230	240	7,5	12	21	164	33	116	206	94	35	M24	1,37	22,7	240
260	68,2	250	260	7,5	12,5	24	176	37	126	225	100	40	M24	1,48	21,7	260
280	76,4	270	280	8	13	24	196	37	136	244	110	45	M24	1,60	21,0	280
300	88,3	290	300	8,5	14	27	208	41	145	262	120	45	M27	1,72	19,5	300
320	97,6	310	300	9	15,5	27	224	43	145	279	120	45	M27	1,76	18,0	320
340	105	330	300	9,5	16,5	27	242	44	145	297	120	45	M27	1,79	17,1	340
360	112	350	300	10	17,5	27	260	45	145	315	120	45	M27	1,83	16,4	360
400	125	390	300	11	19	27	298	46	144	352	120	45	M27	1,91	15,3	400
450	140	440	300	11,5	21	27	344	48	144	398	120	45	M27	2,01	14,4	450
500	155	490	300	12	23	27	390	50	144	444	120	45	M27	2,11	13,6	500
550	166	540	300	12,5	24	27	438	51	143	492	120	45	M27	2,21	13,3	550
600	178	590	300	13	25	27	486	52	143	540	120	45	M27	2,31	13,0	600
650	190	640	300	13,5	26	27	534	53	143	588	120	45	M27	2,41	12,7	650
700	204	690	300	14,5	27	27	582	54	142	636	120	45	M27	2,50	12,3	700
800	224	790	300	15	28	30	674	58	142	734	130	40	M27	2,70	12,0	800
900	252	890	300	16	30	30	770	60	142	830	130	40	M27	2,90	11,5	900
1000	272	990	300	16,5	31	30	868	61	141	928	130	40	M27	3,10	11,4	1000