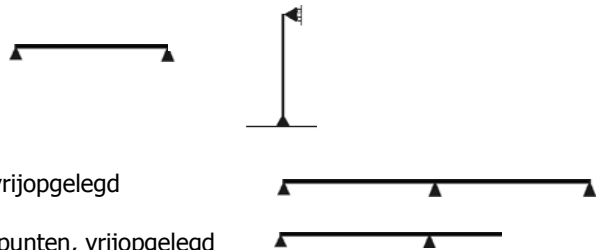


# BK2000 - Rekenvoorbeeld

## Inhoud

- gegeven kantoor
- bepaling afmetingen kanaalplaten
- berekening ligger op 2 steunpunten, vrijopgelegd
- berekening kolom
- berekening doorgaande ligger op 3 steunpunten, vrijopgelegd
- berekening 1zijdige uitkragende ligger op 2 steunpunten, vrijopgelegd



## Bijlagen

1. HEB-profielentabel
2. mechanica "vergeet-me-nietjes"
3. bepaling van de doorbuigingen en momenten van een 1zijdige uitkragende ligger op 2 steunpunten, vrijopgelegd

## LET OP

De toetsing van de vervorming (=bruikbaarheidsgrenstoestand) en de sterkte (=uiterste grenstoestand) vindt plaats door de zogenaamde unity check (UC). Dit betekent dat voldaan moet worden aan:

- $UC = \sigma_d / f_d \leq 1$ ;
- $UC = u_{\text{bijkomend}} / u_{\text{eis}} \leq 1$ ;
- $UC = u_{\text{eindfase}} / u_{\text{eis}} \leq 1$ .

## Omrekenwaarden

1 kg = 10 N  
1 ton = 10000 N = 10 kN

1 N/mm = 1 kN/m  
1 kN/m = 1 N/mm

1 N/mm<sup>2</sup> = 10<sup>3</sup> kN/m<sup>2</sup> = 1E+3 kN/m<sup>2</sup>  
1 kN/m<sup>2</sup> = 10<sup>-3</sup> N/mm<sup>2</sup> = 1E-3 kN/m<sup>2</sup>

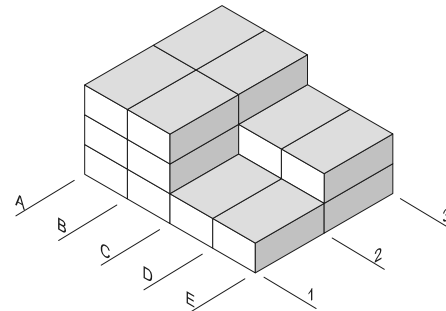
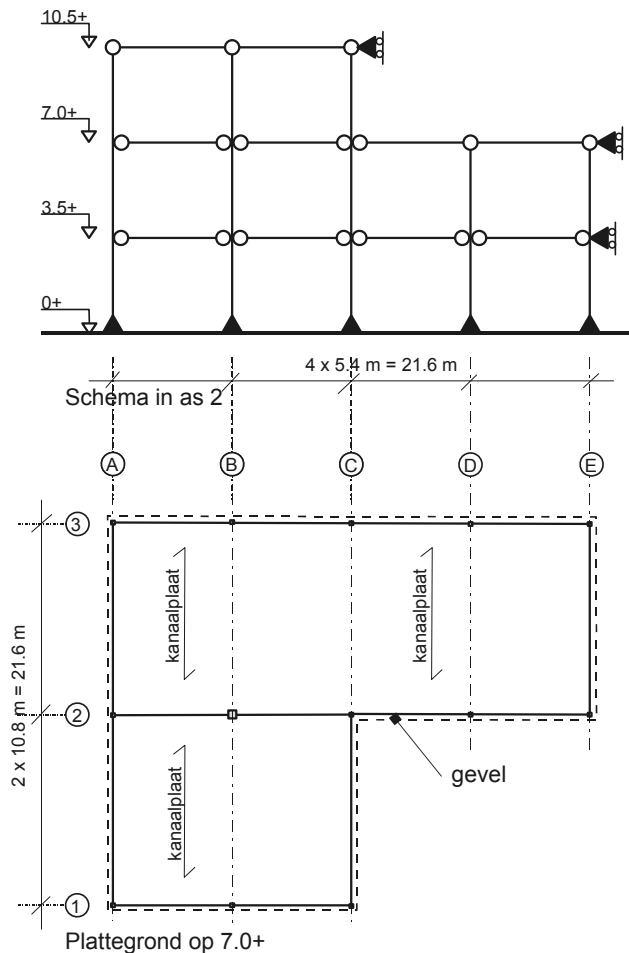


Bedrijfsverzamelgebouw De Reeuwijkse Poort, Reeuwijk, 1999

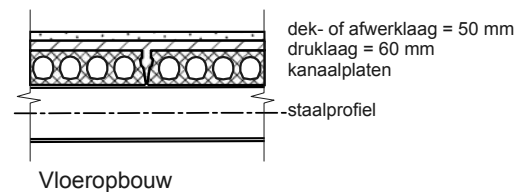
**Gegeven**

Het kantoorgebouw (veiligheidsklasse 3) heeft een geschoord stalen draagconstructie met kanaalplaten als vloeren.

Overspanning ligger = 5.4 m  
 Overspanning kanaalplaat = 10.8 m  
 Veranderlijke belasting =  $Q = 3 \text{ kN/m}^2$



Axometrie gebouw



Bij kanaalplaatvloeren wordt in het algemeen geen druklaag toegepast. In constructief-noodzakelijke gevallen, bijv. hoge belasting per  $\text{m}^2$  of eventuele schijfwerking, kan een gewapende druklaag van tenminste 50 mm aangebracht worden. In dit voorbeeld moeten de kanaalplaatvloeren als horizontale schijven werken, daarom is een 60 mm dikke druklaag toegepast.

**Gevraagd**

1. bepaal de constructiehoogte en het gewicht van de kanaalplaten;
2. bepaal de plaats van de zwaarst belaste ligger;
3. bepaal met vuistregels / schattingsregels het profiel van deze ligger;
4. opstellen belastingschema voor de zwaarst belaste ligger
5. controleer het gekozen liggerprofiel in de bruikbaarheidgrenstoestand en de uiterste grenstoestand;
6. bepaal de plaats van de zwaarst belaste kolom;
7. bepaal met vuistregels / schattingsregels het profiel van deze kolom;
8. bepaal de rekenwaarde van de belasting op de kolom;
9. controleer het gekozen kolomprofiel in de uiterste grenstoestand.

**Literatuur en informatie**

- Dictaat Draagconstructies-Basis, hoofdstuk Globaal dimensioneren
- Blackboard Draagconstructies Sites > products > links (producteninformatie van firma's met o.a. staaltabellen, kanaalplaatengrafieken, details enz)

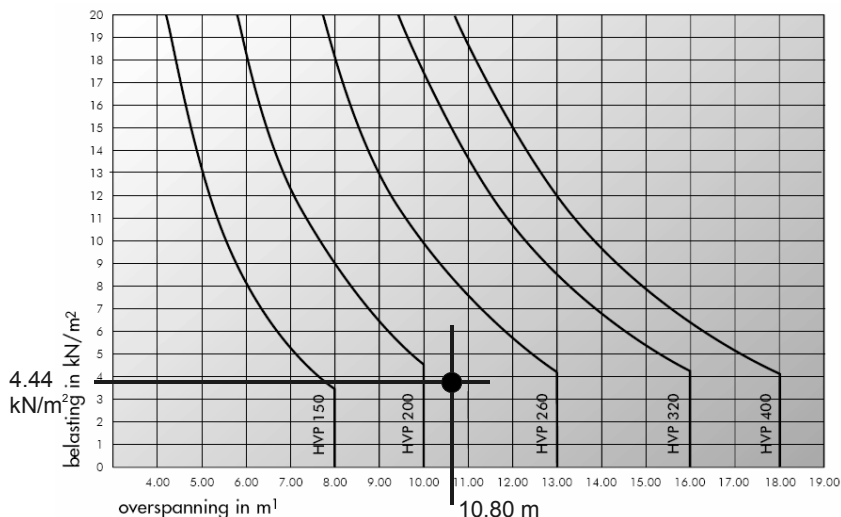
**Bepaling kanaalplaatafmetingen en –gewicht**

– eigen gewicht druklaag	=	$0.06 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 * 10/1000$	=	1.44 kN/m <sup>2</sup>
– Q = veranderlijke belasting	=		=	3.00 kN/m <sup>2</sup>
Totale belasting op de plaat	=		=	4.44 kN/m <sup>2</sup>

Gekozen is voor een kanaalplaat van de firma Beton Son BV.

Uitgangspunten bij onderstaande grafiek zijn:

- in de berekening van de belasting is al rekening gehouden met het eigen gewicht en een afwerklaag van 50 mm.
- een brandwerendheid van 60 minuten.
- milieuklasse XC1.
- bijkomende doorbuiging < 0.003 van de overspanning.
- veiligheidsklasse 3 (gamma = 1.5).
- er is geen rekening gehouden met sparingen en/of ravelingen



\* incl. voegvulling

**HVP 150-111 HVP 200-11**

Werkend: 1200  
Pasplaten: 400 olopend met 100  
Voegvulling: 5.91 l/m<sup>1</sup> / 8.7 l/m<sup>1</sup>  
Gewicht\*: 261 kg/m<sup>2</sup> / 312 kg/m<sup>2</sup>

**HVP 150-8**

Werkend: 1200  
Pasplaten: 395-530-670-805-940-107  
Voegvulling: 5.9 l/m<sup>1</sup>  
Gewicht\*: 264 kg/m<sup>2</sup>

**HVP 200-6 L**

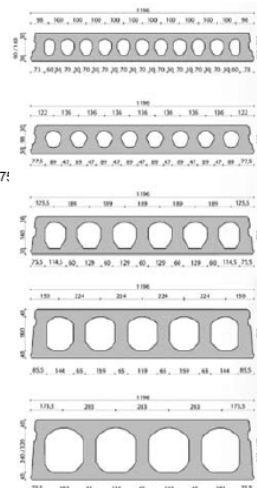
Werkend: 1200  
Pasplaten: 325-510-690-875-1055  
Voegvulling: 8.7 l/m<sup>1</sup>  
Gewicht\*: 303 kg/m<sup>2</sup>

**HVP 260-6**

Werkend: 1200  
Pasplaten: 375-600-895-1050  
Voegvulling: 9.4 l/m<sup>1</sup>  
Gewicht\*: 382 kg/m<sup>2</sup>

**HVP 320-4 / HVP 400-4**

Werkend: 1200  
Pasplaten: 460-740-1025  
Voegvulling: 11.4 l/m<sup>1</sup> / 11.9 l/m<sup>1</sup>  
Gewicht\*: 392 kg/m<sup>2</sup> / 465 kg/m<sup>2</sup>

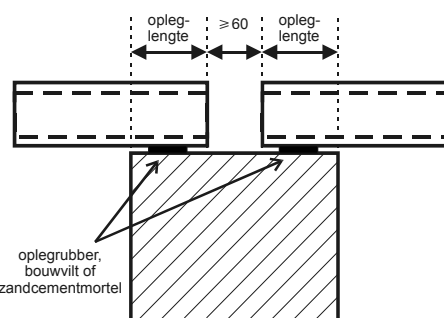


Gekozen is voor het type HVP260 met een eigen gewicht van 382 kg/m<sup>2</sup> incl. voegvulling (NB met dezelfde plaat en gelijke belasting is het ook mogelijk om 12.8 m te overspannen)

De opleglengte is ten minste gelijk aan:

- 100 mm bij een oplegging op metselwerk;
- 80 mm bij een oplegging op al dan niet gewapend (voorgespannen) beton;
- 70 mm bij een oplegging op profielstaal of vormvast plaatstaal.

Dus bij opleggingen op de bovenflens van stalen I-vormige liggers moet de flens minimaal 200 mm zijn.



Het leggen van kanaalplaten op oplegrubbers.  
Bron Beton Son BV

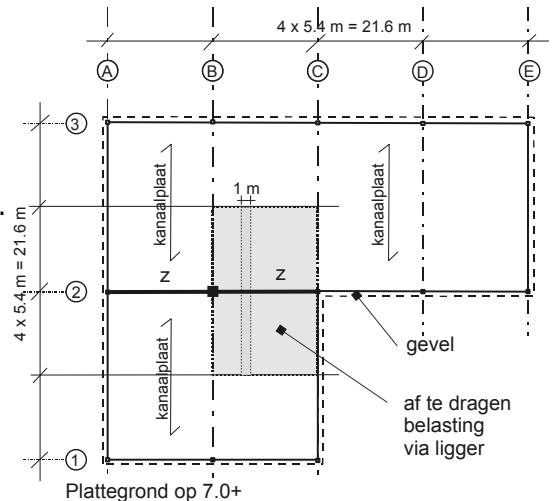
## 2. Bepaling plaats zwaarst belaste ligger

Het grootste vloeroppervlakte met de zwaarste belastingen die op een ligger rust, is bij de liggers in A2-B2 en B2-C2 op niveau 3.5+ en 7.0+. Gekozen wordt om voor ligger B2-C2 op 7.0+ een berekeningscontrole uit te voeren.

## 3. Geschatte liggerhoogte in B2-C2 op 7.0+

Met de vuistregel  $h = 1/20 \times \text{overspanning} = 1/20 \times 5.40 = 0.27 \text{ m}$ . Deze hoogte in de HEB-staaltabel opgezocht, geeft een HEB280. Maar omdat vuistregels alleen gelden voor de gebruikelijk h.o.h.-afstanden en gebruikelijke belastingen, wordt hier gekozen voor HEB320 (zware belasting met kleine overspanning; kanaalplaten hebben grotere overspanning). De flensbreedte is 300 mm, dus ruim voldoende voor de kanaalplaatopleggingen. Sterkteklasse HEB-profiel is S235 met rekenwaarde  $f_d = 235 \text{ N/mm}^2$ .

Voor profielgegevens van HEB320 zie bijlage 1 ( $G_8 = 129 \text{ kg/m}$ ;  $I_y = 30824 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ;  $W_{y,el} = 1926 \times 10^3 \text{ mm}^3$ )

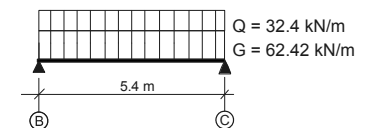


## 4. Opstellen van het belastingschema voor HEB320-ligger in B2-C2 op 7.0+

Permanente belasting

$$\begin{aligned} \text{eigen gewicht dek- of afwerklaag} &= 0.05 \cdot 800 \text{ kg/m}^3 = 0.40 \text{ kN/m}^2 \\ \text{eigen gewicht druklaag} &= 0.06 \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 = 1.44 \text{ kN/m}^2 \\ \text{eigen gewicht HVP260 + voegvulling} &= \underline{\underline{3.82 \text{ kN/m}^2}} \\ \text{Grustende belasting} &= 5.66 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_{\text{rustende belasting}} &= 5.66 \cdot 10.8 = 61.13 \text{ kN/m} \\ G_{\text{ligger}} &= 129 \text{ kg/m} = \underline{\underline{1.29 \text{ kN/m}}} \\ G &= 62.42 \text{ kN/m} (= \text{permanente belasting}) \end{aligned}$$



$Q = \text{veranderlijke belasting} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot (2 \cdot 5.4 \text{ m}) = 32.4 \text{ kN/m}$

NB De verhouding tussen G en Q is ca 2:1. Ofwel een zware vloerconstructie die een relatief lichte veranderlijke belasting draagt.

## 5. Controleberekening HEB320-ligger in B2-C2 op 7.0+

De toegepaste formules zijn ontleend aan de mechanica "vergeet-me-nietjes" (zie bijlage 2)

*Uiterste grenstoestand (UGT)*

Voor G is  $\gamma_f = 1.2$  en voor Q is  $\gamma_f = 1.5$  (gebouw veiligheidsklasse 3)

$$M = \frac{q\ell^2}{8} = \frac{(1.2 \cdot 62.42 + 1.5 \cdot 32.4) \cdot 5.4^2}{8} = 450.2 \text{ kNm}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W_{y,el}} = \frac{450.2}{1926 \cdot 10^3} = 233.7 \text{ E}+3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Unity Check (UC)} \quad \frac{\sigma_m}{f_d} = \frac{233.7 \text{ E}+3}{235 \text{ E}+3} = 0.99 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

*Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)*

Voor G en Q is  $\gamma_f = 1.0$ .  $q = 62.42 + 32.4 = 94.82 \text{ kN/m}$

$u_{\text{eind}}$  is t.g.v. G+Q. Eis voor  $u_{\text{eind}} = 0.004 \cdot \ell = 0.004 \cdot 5.4 = 0.0216 \text{ m}$

$$u_{\text{eind}} = \frac{5}{384} \frac{q\ell^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \frac{94.82 \cdot 5.4^4}{2.1 \text{ E}+8 \cdot 30824 \text{ E}+8} = 0.0162 \text{ m} < 0.0216 \text{ m} (= \text{eis}) \Rightarrow \text{UC} = 0.75 \Rightarrow \text{voldoet}$$

$u_{\text{bijkomend}}$  is t.g.v. Q. Eis voor  $u_{\text{bijkomend}} = 0.003 \cdot \ell = 0.003 \cdot 5.4 = 0.0162 \text{ m}$

$q = 32.4 \text{ kN/m}$

$$u_{\text{bijkomend}} = \frac{5}{384} \frac{q\ell^4}{EI_y} = \frac{5}{384} \frac{32.4 \cdot 5.4^4}{2.1 \text{ E}+8 \cdot 30824 \text{ E}+8} = 0.0055 \text{ m} < 0.0162 \text{ m} (= \text{eis}) \Rightarrow \text{UC} = 0.34 \Rightarrow \text{voldoet}$$

**Conclusie:** bepalend (maatgevend) voor het HEB320 profiel is uiterste grenstoestand (UGT = sterkte)

NB Met een profiel HEB300 werd de rekenwaarde in de uiterste grenstoestand overschreden. (UC=1.14)

## 6. Bepaal de plaats van de zwaarst belaste kolom

Gelet op het aantal verdiepingen en het te dragen vloeroppervlakte, is gekozen voor kolom B2.

## 7. Bepaal met vuistregels / schattingsregels het profiel van deze kolom

Met de vuistregel  $h = 1/40 \times \text{kniklengte} = 1/40 \times 3.50 = 0.0875 \text{ m}$ . Uit de staaltabel volgt dan HEB100. Dit is wel heel erg klein profiel om 3 verdiepingen te dragen, daarom is een realistischere keuze een HEB240 met de sterkteklasse S235. Voor profielgegevens van HEB240 zie bijlage 1 ( $G_8=0.85 \text{ kg/m}$ ;  $I_{y,el}=11259 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ;  $I_{z,el}=39231 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ;  $A=10599 \text{ mm}^2$ )

## 8. Bepaal de rekenwaarde van de belasting op de kolom (HEB240-profiel)

### Peil 10.5+:

Permanente belasting

- dakbedekking+isolatie =  $0.15 \text{ kN/m}^2 \times 58.32 = 8.7 \text{ kN}$
- druklaag+kanaalplaten =  $5.8 \text{ kN/m}^2 \times 58.32 = 306.8 \text{ kN}$
- eigen gewicht kolom =  $0.85 \times 3.5 = 2.97 \text{ kN}$
- gewicht HEB320-ligger =  $1.29 \times 5.4 = 6.97 \text{ kN}$

$$G_{10.8+} = 8.7 + 306.8 + 2.97 + 6.97 = 325.5 \text{ kN}$$

$$Q_{m;10.8+} = 0 \times 1 \text{ kN/m}^2 \times 58.32 \text{ m}^2 = 0 \text{ kN} (\Psi=0)$$

### Peil 7.0+:

$$G_{\text{rustend}} = 5.66 \text{ kN/m}^2 \text{ (zie pt. 4)} \times 58.32 = 330 \text{ kN}$$

$$G_{\text{kolom}} = 0.85 \times 3.5 = 2.97 \text{ kN}$$

$$G_{\text{HEB320-ligger}} = 1.29 \times 5.4 = 6.97 \text{ kN}$$

$$G_{7.0+} = 340 + 2.97 + 6.97 = 340 \text{ kN}$$

$$Q_{e;7.0+} = 3 \text{ kN/m}^2 \times 58.32 \text{ m}^2 = 175 \text{ kN} (\Psi=1)$$

### Peil 3.5+:

$$G_{\text{rustend}} = 5.66 \text{ kN/m}^2 \text{ (zie pt. 4)} \times 58.32 = 330 \text{ kN}$$

$$G_{\text{kolom}} = 0.85 \times 3.5 = 2.97 \text{ kN}$$

$$G_{\text{HEB320-ligger}} = 1.29 \times 5.4 = 6.97 \text{ kN}$$

$$G_{3.5+} = 340 + 2.97 + 6.97 = 340 \text{ kN}$$

$$Q_{m;3.5+} = 0.5 \times 3 \text{ kN/m}^2 \times 58.32 \text{ m}^2 = 87.5 \text{ kN} (\Psi=0.5)$$

waarden in kN

	G	Q
Peil 10.5+	325.5	0.0
Peil 7.0+	340.0	175.0
Peil 3.5+	340.0	87.5
$\gamma_f =$	1005.5	262.4
	*1.2	*1.5
	1206.6	393.7
$F_{d;kolom} =$	1600.3	

$$\text{NB } Q_m = \Psi \times Q_e$$

$Q_m$  = momentane veranderlijke belasting;  $\Psi$  = factor voor de momentane belasting;

$Q_e$  = de extreme veranderlijke belasting

## 9. Controleer het gekozen kolomprofiel in de uiterste grenstoestand

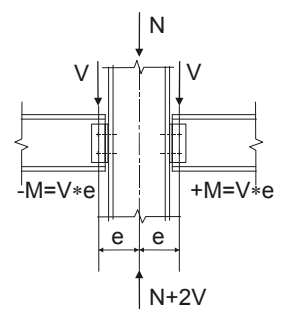
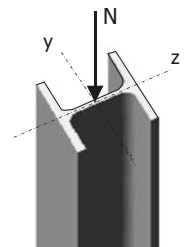
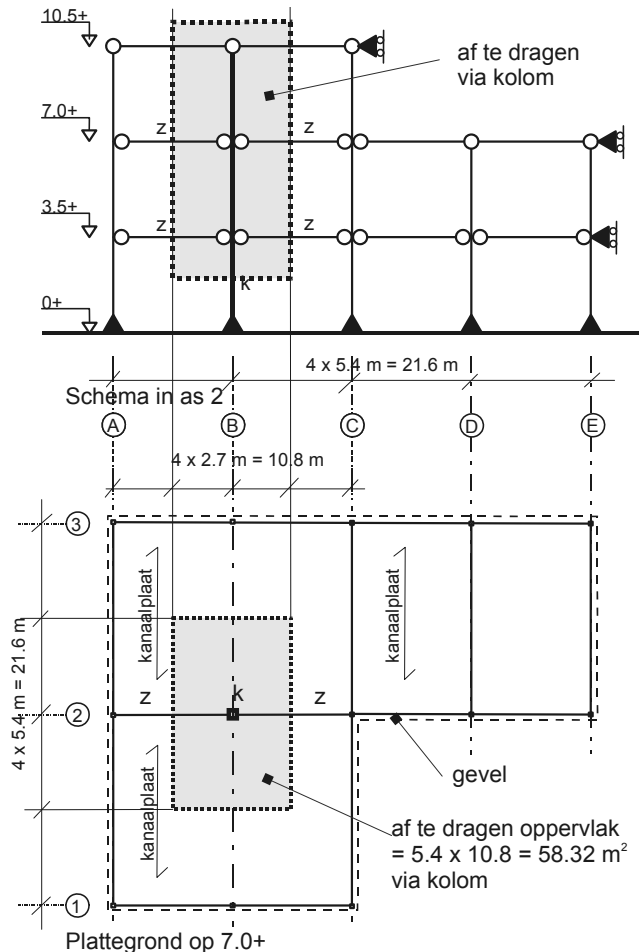
Het HEB240-profiel moet gecontroleerd worden op knik zowel in de y- als in de z-richting.

De kniklengte van deze kolom is in y- en z-richting gelijk  $l_{c,y} = l_{c,z} = 3500 \text{ mm}$ . Daarom wordt alleen in z-richting ("zwakke" as) op knik gecontroleerd. (normaalspanning)

In deze situatie zijn de liggers (A2-B2 en B2-C2) met hoekprofielen scharnierend aan de kolom verbonden. Hierdoor ontstaan 2 gelijke momenten (vloerbelastingen zijn gelijk) die tegengesteld zijn en elkaar dus opheffen.

Was dit niet het geval dan ontstaat een excentrisch moment ter hoogte van de verbinding in

de kolom. Dan moet de kolom gecontroleerd worden met: 
$$\sigma = \frac{F_{d;kolom}}{\omega^* A} + \frac{n}{n-1} \frac{M}{W}$$



*Controle HEB240 in z-as op normaalspanning*

$$i_z = \text{traagheidsstraal} = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3923E+4}{10599}} = 60.8 \text{ mm}$$

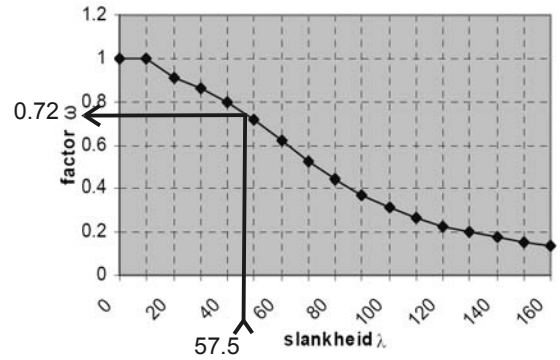
$$\lambda_z = \text{slankheid} = \frac{l_{cz}}{i_z} = \frac{3500}{60.8} = 57.5$$

$$\sigma_z = \frac{F_{d,kolom}}{\omega_z * A} = \frac{1600.3E+3}{0.72 * 11844} = 206.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Unity check UC} = \frac{206.8}{235} = 0.88 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

$$n = \frac{F_E}{F_d} = \frac{\pi^2 E I_z}{l_{cz}^2 F_{d,kolom}} = \frac{\pi^2 * 2.1E+5 * 392310E+4}{3500^2 * 1600.3E+3} = 4.15$$

Dit knikgetal ( $n > 3$ ) is acceptabel, omdat de ligeraansluitingen symmetrisch zijn en het een middenkolom is die rondom gesteund wordt door kanaalplatenvloeren (schijfwerking)



**Conclusie:** het HEB240-profiel voldoet aan alle eisen t.o.v. de uiterste grenstoestand (UGT = sterkte)

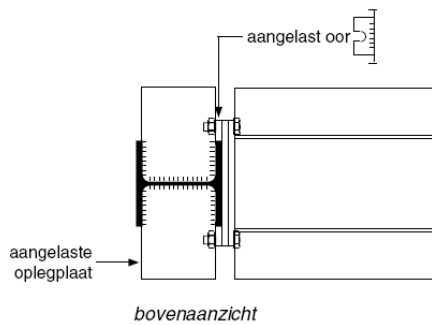
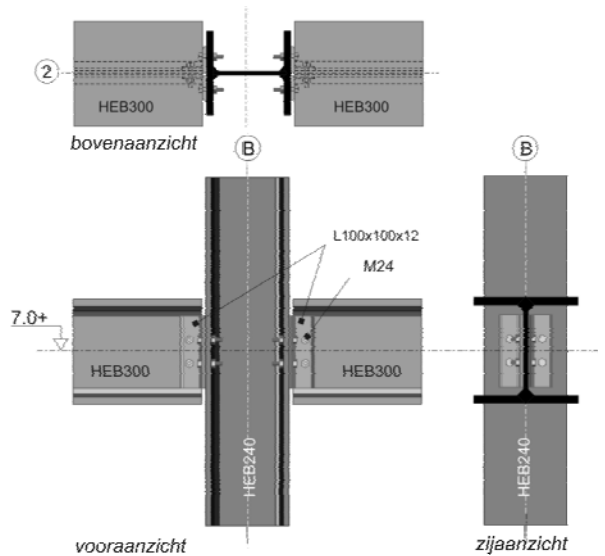
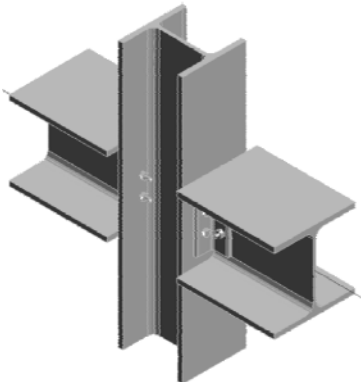
Was gekozen voor een HEB220 kolom dan waren de waarden:

in y-richting is:  $i_y = 103 \text{ mm}$ ;  $\lambda_y = 37.1$ ;  $\omega = 0.85$ ;  $UC = 0.88 \Rightarrow$  voldoet

in z-richting is:  $i_z = 60.8 \text{ mm}$ ;  $\lambda_z = 62.6$ ;  $\omega = 0.66$ ;  $UC = 1.13 \Rightarrow$  voldoet niet

*Kanaalplaten boven de liggers*

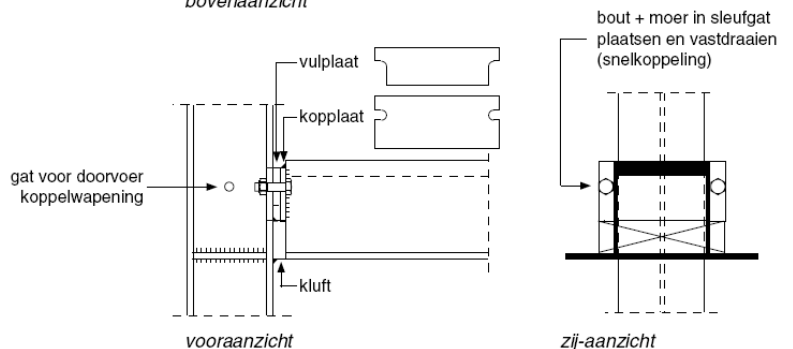
Scharnierende ligger-verbinding d.m.v. hoekprofielen aan doorgaande kolom. Er zijn sparingen nodig in de kanaalplaten. De kanaalplaten zijn niet getekend.



*Kanaalplaten tussen de liggers*

Hoedligger (NSQ-, TBB- of THQ-ligger) met een onvolledige kopplaat, opgelegd op een kluft aan smalle HE-kolom; snelkoppeling met twee bouten, eventueel te vervangen door twee draadstangen voor doorkoppelen van twee liggers. Er zijn geen sparingen nodig in de kanaalplaten. De kanaalplaten zijn niet getekend.

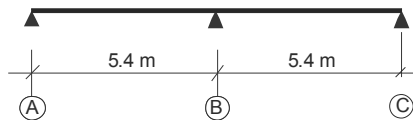
Bron: Verdiepingbouw in staal en beton, 1998, pag. 176



**Ligger op 3 steunpunten als variant voor de ligger op 7.0+**

Indien voor de ligger gekozen was voor een doorgaande ligger op 3 steunpunten (meerveldsligger), dan was de berekeningcontroles in uiterste grenstoestand en de bruikbaarheidgrenstoestand anders verlopen. De overige gegevens (zie blad 2) en de belastingen (zie blad4) blijven van toepassing.

Het schema voor ligger A2-C2 wordt:



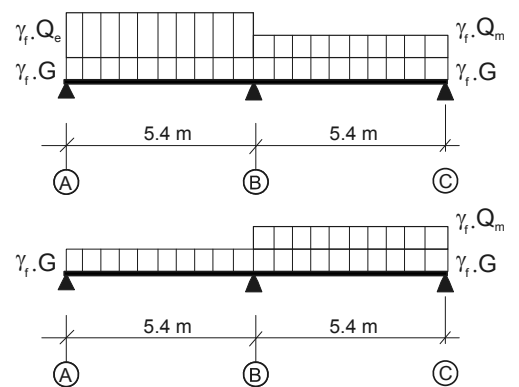
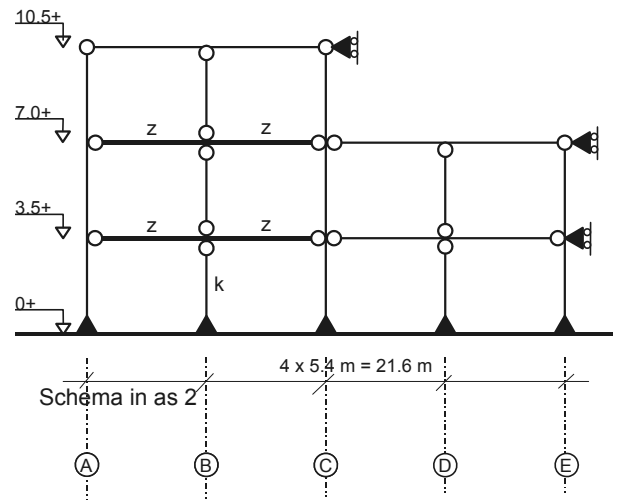
Bij het toepassen van doorgaande liggers moeten deze liggers berekend worden op wisselende belastingen. Zie "Belastingcombinaties voor onderdelen van constructies" in het Draagconstructies-Basis of in Jellema, deel 9 Gegeven was een extreme veranderlijke belasting van 3 kN/m<sup>2</sup>. Dit is kleiner dan 4 kN/m<sup>2</sup>, dus de doorgaande ligger moet berekend worden voor eis 2, t.w. voor de belastingcombinaties A en B.

**Belastingcombinatie A:**

- extreme veranderlijke belasting op 1 vloerveld én
- momentane veranderlijke belasting op overige vloervelden én
- permanente belasting op alle vloervelden

**Belastingcombinatie B:**

- momentane veranderlijke belasting niet op 1 vloerveld én
- momentane veranderlijke belasting op overige vloervelden én
- permanente belasting op alle vloervelden

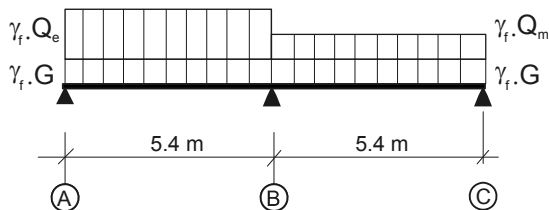


Het bepalen van het maximale momenten en de maximale doorbuigingen kan op 2 manieren:

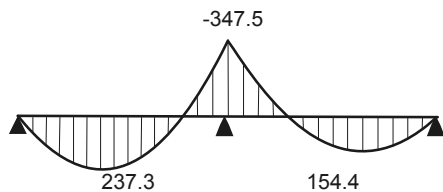
- door elke combinatie zodanig op te splitsen, dat met behulp van de mechanica "vergeet-me-nietjes" het max. moment en max. doorbuiging te bepalen zijn.
- door alle gegevens in een rekenprogramma bijv. MatrixFrame in te voeren.

Kies voor een HEB300-liggerprofiel (voor profielgegevens zie staaltabel G<sub>8</sub>=119 kg/m; I<sub>y</sub>=251664x10<sup>4</sup> mm<sup>4</sup>; W<sub>y,el</sub>=1678x10<sup>3</sup> mm<sup>3</sup>)

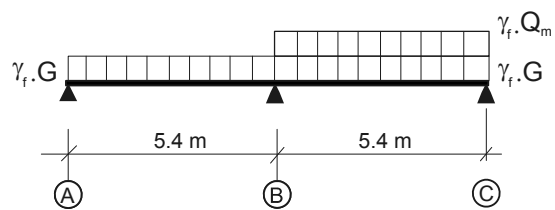
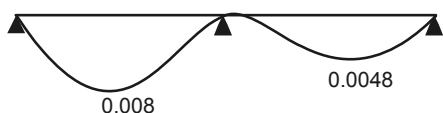
Resultaten berekend met MatrixFrame zijn voor:



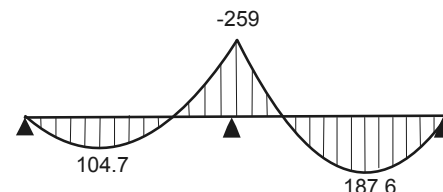
Fundamentele belastingcombinatie (UGT) in kNm



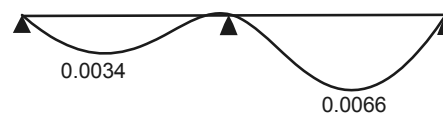
Incidentele belastingcombinatie (BGT) in m



Fundamentele belastingcombinatie (UGT) in kNm



Incidentele belastingcombinatie (BGT) in m



Het maximale moment is bij belastingcombinatie A boven het middensteunpunt B = -347.5 kNm.

$$\sigma_{\max;B} = \frac{M_B}{W_{y,el}} = \frac{347.5}{1678E-6} = 207.1E+3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Unity check UC} = \frac{\sigma_{\max;B}}{f_d} = \frac{207.1E+3}{235E+3} = 0.88 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

De maximale optredende doorbuiging is bij belastingcombinatie A tussen steunpunt A en B = 0.008 m

De maximale doorbuiging in de eindfase mag max.  $0.004 \times 5.4 = 0.0216$  m zijn.

Conclusie: maatgevend voor het HEB300 profiel is UGT (=uiterste grenstoestand = sterkte)

Ofwel bij gelijke belastingen en gelijke overspanningen is er geen voordeel te behalen aan een doorlopende ligger t.o.v. een ligger op 2 steunpunten. (oorzaken: wisselende veldbelastingen)



Bioscoop Pathé ArenA, Amsterdam, 2000  
Architect Frits van Dongen van de Architecten Cie., Amsterdam  
Bron Beeldbank BouwenMetStaal



### Ligger op 2 steunpunten met 1 uitkraging

Indien voor de ligger gekozen was voor een ligger met 1 uitkraging, dan was de berekeningcontroles in uiterste grenstoestand en de bruikbaarheidgrenstoestand anders verlopen.

De overige gegevens (zie blad 2) en de belastingen (zie blad4) blijven van toepassing.

#### Bepaling plaats zwaarste belaste ligger

Het grootste vloeroppervlakte met de zwaarste belastingen die op een ligger rust is, bij de liggers in T2-B2 op niveau 3.5+ en 7.0+. Gekozen wordt om voor ligger T2-B2 op 3.5+ een berekeningscontrole uit te voeren.

#### Geschatte liggerhoogte in T2-B2 op 3.5+

Met de vuistregel  $h = 1/20 \times \text{overspanning} = 1/20 \times 5.40 = 0.27 \text{ m}$ . Deze hoogte in de HEB-staaltabel opgezocht, geeft een HEB280.

Maar omdat vuistregels alleen gelden voor de gebruikelijk h.o.h.-afstanden en gebruikelijke belasting, wordt hier gekozen voor HEB300 (zware belasting met kleine overspanning; kanaalplaten hebben grotere overspanning). Sterkteklasse HEB-profiel is S235.

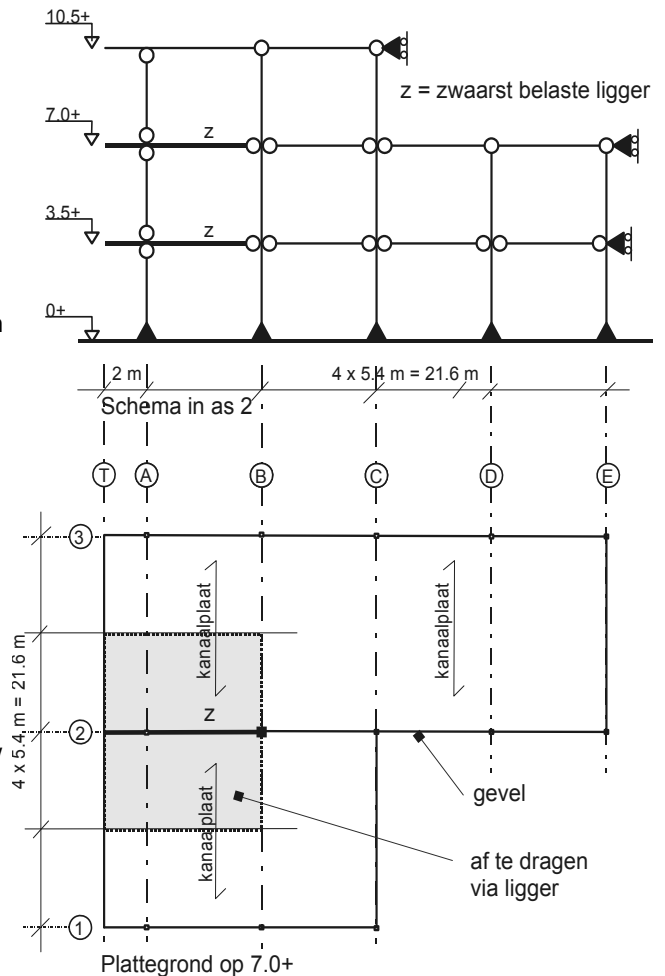
Voor profielgegevens van HEB300 zie bijlage 1 ( $G_8 = 119 \text{ kg/m}$ ;  $I_y = 251664 \times 10^4 \text{ mm}^4$ ;  $W_{y,el} = 1678 \times 10^3 \text{ mm}^3$ )

#### Controleberekening HEB300-ligger in T2-B2 op 3.5+

De berekende permanente en veranderlijke belastingen uit paragraaf 4 blijven gelijk.

$G = \text{permanente belasting} = 48.32 \text{ kN/m}$

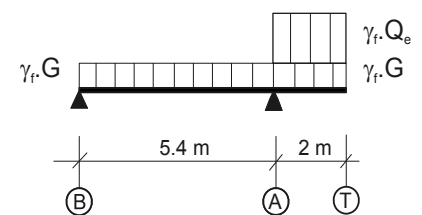
$Q = \text{veranderlijke belasting} = 32.4 \text{ kN/m}$



Bij het toepassen van uitkragende ligger moet deze ligger berekend worden op wisselende belastingen. Zie "Belastingcombinaties voor onderdelen van constructies" in het Draagconstructies-Basis of in Jellema, deel 9 Gegeven was een extreme veranderlijke belasting van  $3 \text{ kN/m}^2$ . Dit is kleiner dan  $4 \text{ kN/m}^2$ , dus de uitkragende ligger moet berekend worden voor eis 3, t.w. voor de belastingcombinaties A en B.

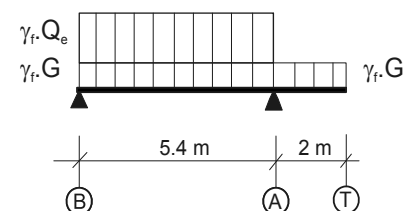
#### belastingcombinatie A:

- extreme veranderlijke belasting op uitkraging én
- momentane veranderlijke belasting in het 2e veld vanaf de uitkraging én
- gereduceerde permanente belasting op vloerveld naast uitkraging
- permanente belasting op overige velden en uitkraging



#### belastingcombinatie B:

- extreme veranderlijke belasting op veld naast uitkraging én
- momentane veranderlijke belasting in het 2e veld vanaf de uitkraging én
- gereduceerde permanente belasting op uitkraging én
- permanente belasting op overige velden.



Het bepalen van de maximale momenten en de maximale doorbuigingen kan op 2 verschillende manieren:

1. door elke combinatie zodanig op te splitsen, dat met behulp van de mechanica "vergeet-me-nietjes" de max. momenten en max. doorbuigingen te bepalen zijn.
2. door alle gegevens in een rekenprogramma bijv. MatrixFrame in te voeren.

De gebruikte formules A en B zijn bepaald door middel van de "vergeet-me-nietjes". (zie bijlage 3)

*Uiterste grenstoestand (UGT)*

Voor G is  $\gamma_f = 0.9$  (voor uitkraging) of 1.2 (voor veld) en voor Q is 1.5 (gebouw veiligheidsklasse 3)  
 $G = 48.32 \text{ kN/m}$ ;  $Q = 32.4 \text{ kN/m}$

Voor belastingcombinatie A:

$$\text{- boven B: } \sigma_B = \frac{(0.9 \cdot 48.32 + 1.5 \cdot 32.4) \cdot 2^2}{2 \cdot 1678 \text{E-}6} = 109759 \text{ kN/m}^2; \quad UC = \frac{109759}{235 \text{E}+3} = 0.47 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

$$\text{- tussen A en B: } \sigma_M = \frac{(1.2 \cdot 48.32 + 1.5 \cdot 32.4) \cdot 5.4^2 / 8 - (0.9 \cdot 48.32 + 1.5 \cdot 32.4) \cdot 2^2 / 2}{1678 \text{E-}6} = 55070 \text{ kN/m}^2; \quad UC = \frac{55070}{235 \text{E}+3} = 0.23 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

Voor belastingcombinatie B:

$$\text{- boven B: } \sigma_B = \frac{(0.9 \cdot 48.32) \cdot 2^2}{2 \cdot 1678 \text{E-}6} = 51833 \text{ kN/m}^2; \quad UC = \frac{51833}{235 \text{E}+3} = 0.22 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

$$\text{- tussen A en B: } \sigma_M = \frac{([1.2 \cdot 48.32 + 1.5 \cdot 32.4] \cdot 5.4^2) / 8 - (0.9 \cdot 48.32) \cdot 2^2 / 2}{1678 \text{E-}6} = 51445 \text{ kN/m}^2; \quad UC = \frac{51445}{235 \text{E}+3} = 0.22 < 1 \Rightarrow \text{voldoet}$$

*Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)*

Voor G en Q is  $\gamma_f = 1.0$ .

$G = 48.32 \text{ kN/m}$ ;  $Q = 32.4 \text{ kN/m}$ ;  $G+Q = 80.72 \text{ kN/m}$

Voor de uitkraging geldt:  $u_{\text{eind}}$  is t.g.v.  $G+Q$ . Eis voor  $u_{\text{eind}} = 0.004 \cdot 2 \cdot c = 0.004 \cdot 2 \cdot 2 = 0.016 \text{ m}$

Tussen de steunpunten geldt:  $u_{\text{eind}}$  is t.g.v.  $G+Q$ . Eis voor  $u_{\text{eind}} = 0.004 \cdot l = 0.004 \cdot 5.4 = 0.0216 \text{ m}$

Voor belastingcombinatie A:

$$u_{\text{eind;uitkraging}} = \frac{3 \cdot 80.72 \cdot 2^4 + 4 \cdot 80.72 \cdot 2^3 \cdot 5.4 - 48.32 \cdot 5.4^3 \cdot 2}{24 \cdot 2.1 \text{E}+8 \cdot 25166 \text{E-}8} = 0.0021 \text{ m} \Rightarrow UC=0.13 \Rightarrow \text{voldoet (formule B van bijlage 3)}$$

$$u_{\text{eind;midden}} = \frac{5.4^2 (5 \cdot 48.32 \cdot 5.4^2 - 12 \cdot 80.72 \cdot 2^2)}{384 \cdot 2.1 \text{E}+8 \cdot 25166 \text{E-}8} = 0.0046 \text{ m} \Rightarrow UC=0.21 \Rightarrow \text{voldoet (formule A van bijlage 3)}$$

Voor belastingcombinatie B:

$$u_{\text{eind;uitkraging}} = \frac{3 \cdot 48.32 \cdot 2^4 + 4 \cdot 48.32 \cdot 2^3 \cdot 5.4 - 80.72 \cdot 5.4^3 \cdot 2}{24 \cdot 2.1 \text{E}+8 \cdot 25166 \text{E-}8} = \text{abs}(-0.0116) \text{ m} \Rightarrow UC=0.73 \Rightarrow \text{voldoet}$$

$$u_{\text{eind;midden}} = \frac{5.4^2 (5 \cdot 80.72 \cdot 5.4^2 - 12 \cdot 48.32 \cdot 2^2)}{384 \cdot 2.1 \text{E}+8 \cdot 25166 \text{E-}8} = 0.0136 \text{ m} \Rightarrow UC=0.63 \Rightarrow \text{voldoet}$$

**Conclusie**

Een betere keuze was het HE280B-profiel geweest, omdat de optredende doorbuigingen, spanningen en unity checks dichter bij de eisen geweest. In dit geval klopte de vuistregel wel. De berekeningsresultaten zijn:

*Uiterste grenstoestand (UGT)*

- voor belastingcombinatie A:  $\sigma_B = 133.7 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_B = 0.57$        $\sigma_{AB} = 66.8 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_{AB} = 0.28$   
 - voor belastingcombinatie B:  $\sigma_B = 63.0 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_B = 0.27$        $\sigma_{AB} = -62.6 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_{AB} = 0.27$

*Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)*

- voor belastingcombinatie A:  $u_{\text{eind;uitkraging}} = 0.0027 \text{ m}$ ,  $UC=0.17$        $u_{\text{midden}} = 0.0059 \text{ m}$ ,  $UC=0.27$   
 - voor belastingcombinatie B:  $u_{\text{eind;uitkraging}} = -0.0152 \text{ m}$ ,  $UC=0.95$        $u_{\text{midden}} = 0.0177 \text{ m}$ ,  $UC=82$

Bij een HE260B-profiel wordt de doorbuigingseis t.p.v. de uitkraging (0.016 m) bij combinatie B overschreden.

*Uiterste grenstoestand (UGT)*

- voor belastingcombinatie A:  $\sigma_B = 160.1 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_B = 0.68$        $\sigma_{AB} = 79.7 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_{AB} = 0.34$   
 - voor belastingcombinatie B:  $\sigma_B = 75.4 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_B = 0.32$        $\sigma_{AB} = -75.0 \text{ N/mm}^2$ ;  $UC_{AB} = 0.32$

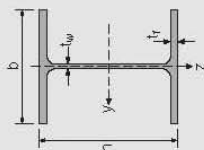
*Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)*

- voor belastingcombinatie A:  $u_{\text{eind;uitkraging}} = 0.0035 \text{ m}$ ,  $UC=0.22$        $u_{\text{midden}} = 0.0079 \text{ m}$ ,  $UC=0.37$   
 - voor belastingcombinatie B:  $u_{\text{eind;uitkraging}} = -0.0196 \text{ m}$ ,  $UC=1.23$        $u_{\text{midden}} = 0.0288 \text{ m}$ ,  $UC=1.33 \Leftarrow \text{voldoet niet!}$

## BIJLAGE 1

## balkstaal breedflensbalken, HEB

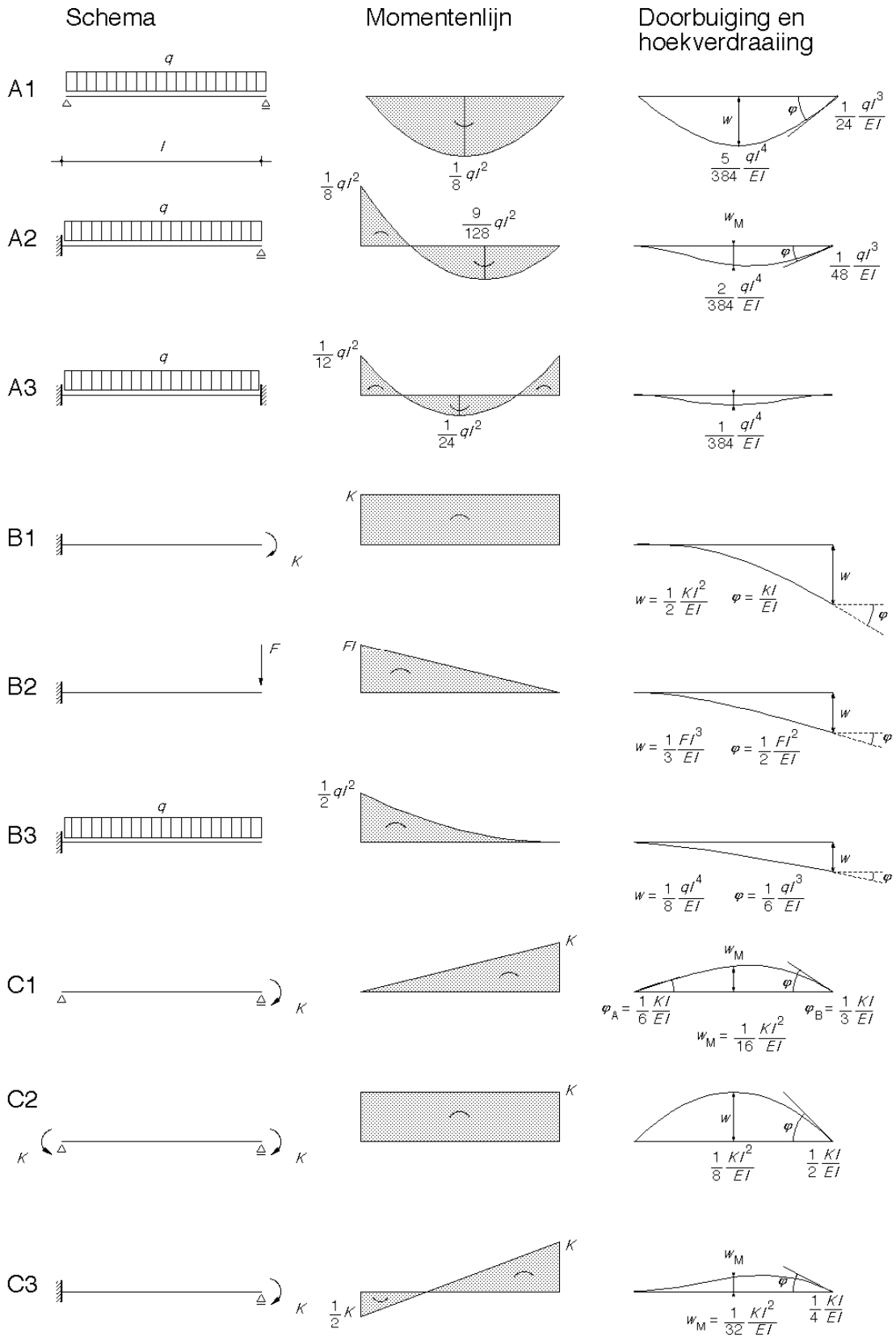
leveringsvoorwaarden: NEN-EN 10025-1 en -2  
 toleranties: NEN-EN 10034; DIN 1025/2  
 max. handelslengte: 28 m



profiel nr.	G <sub>0</sub> kg/m	A mm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm	A <sub>L</sub> m <sup>2</sup> /m	I <sub>y</sub> x10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	W <sub>y,rel</sub> x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	I <sub>z</sub> x10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	W <sub>z,rel</sub> x10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	profiel nr.
100	20,8	2604	100	100	6	10	0,567	450	89,9	167	33,5	100
120	27,2	3401	120	120	6,5	11	0,686	864	144	318	52,9	120
140	34,4	4296	140	140	7	12	0,805	1509	216	550	78,5	140
160	43,4	5425	160	160	8	13	0,918	2492	312	889	111	160
180	52,2	6525	180	180	8,5	14	1,04	3831	426	1363	151	180
200	62,5	7808	200	200	9	15	1,15	5696	570	2003	200	200
220	72,8	9104	220	220	9,5	16	1,27	8091	736	2843	258	220
240	84,8	10599	240	240	10	17	1,38	11259	938	3923	327	240
260	94,8	11844	260	260	10	17,5	1,50	14919	1148	5135	395	260
280	105	13136	280	280	10,5	18	1,62	19270	1376	6595	471	280
300	119	14908	300	300	11	19	1,73	25166	1678	8563	571	300
320	129	16134	320	300	11,5	20,5	1,77	30824	1926	9239	616	320
340	137	17090	340	300	12	21,5	1,81	36656	2156	9690	646	340
360	145	18063	360	300	12,5	22,5	1,85	43193	2400	10141	676	360
400	158	19778	400	300	13,5	24	1,93	57681	2884	10819	721	400
450	174	21798	450	300	14	26	2,03	79888	3551	11721	781	450
500	191	23864	500	300	14,5	28	2,12	107176	4287	12624	842	500
550	203	25406	550	300	15	29	2,22	136691	4971	13077	872	550
600	216	26996	600	300	15,5	30	2,32	171041	5701	13530	902	600
650	229	28634	650	300	16	31	2,42	210616	6480	13984	932	650
700	245	30638	700	300	17	32	2,52	256888	7340	14441	963	700
800	267	33418	800	300	17,5	33	2,71	359084	8977	14904	994	800
900	297	37128	900	300	18,5	35	2,91	494065	10979	15816	1054	900
1000	320	40005	1000	300	19	36	3,11	644748	12895	16276	1085	1000

Mechanica "vergeet-me-nietje"

BIJLAGE 2

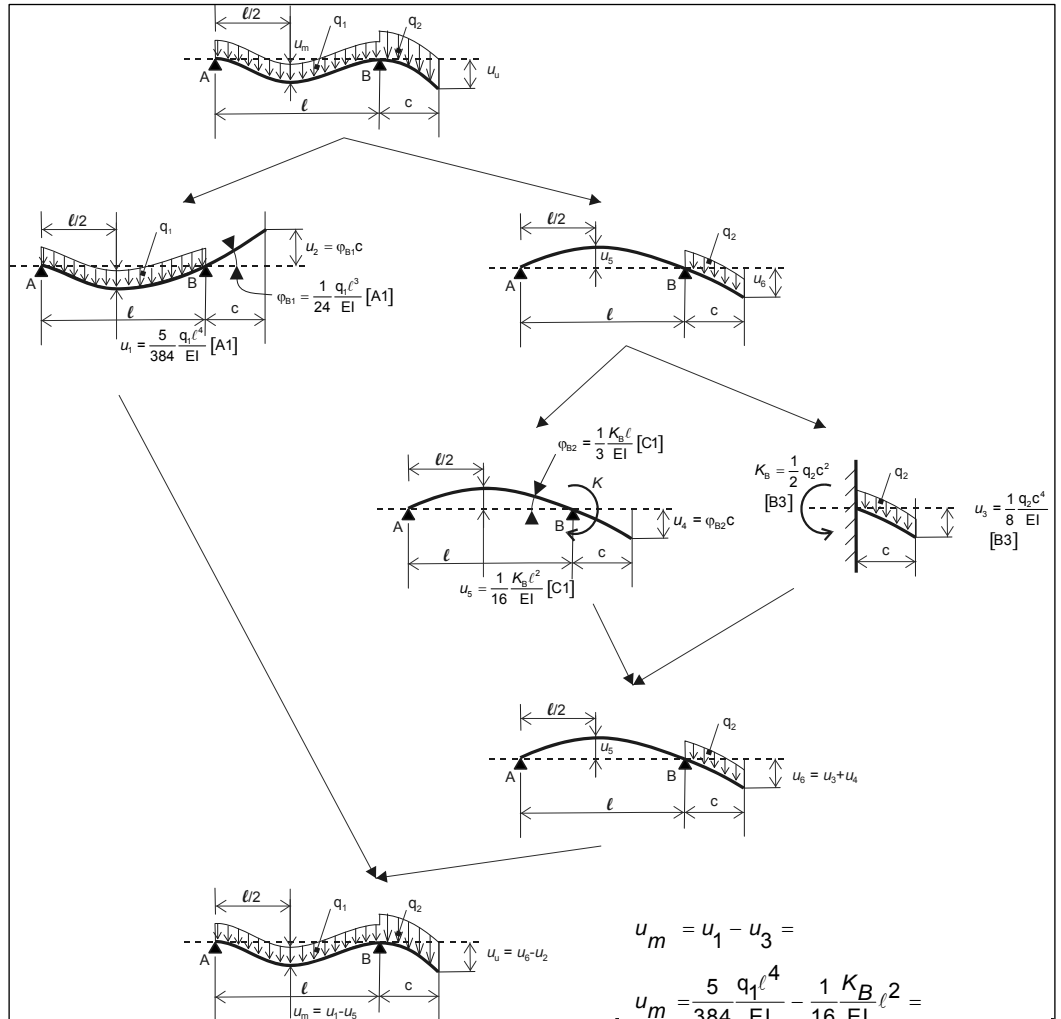


### Bepaling van de doorbuigingen en momenten van een 1 zijdige uitkragende ligger op 2 steunpunten, vrijgelegd

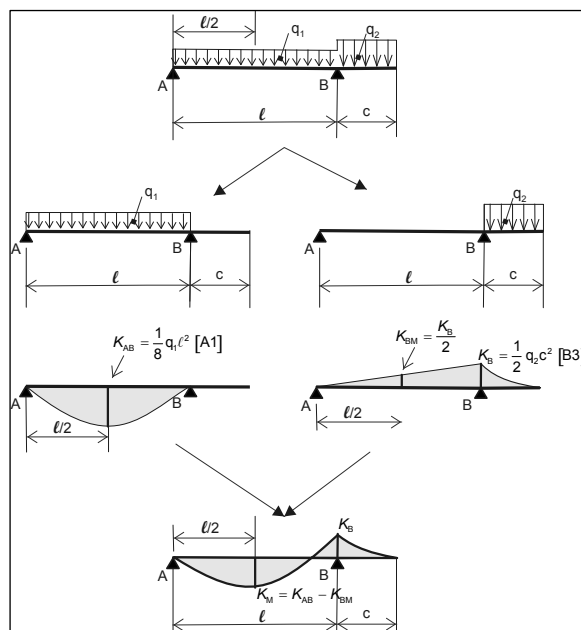
BIJLAGE 3

Tussen de vierkante haken is het nummer van het mechanica "vergeet-me-nietje" weergegeven.

Doorbuigingen



Momenten



$$u_m = u_1 - u_3 =$$

$$u_m = \frac{5 q_1 l^4}{384 EI} - \frac{1 K_B l^2}{16 EI} =$$

$$u_m = \frac{5 q_1 l^4}{384 EI} - \frac{1 q_2 c^2}{16 EI} l^2 =$$

$$u_m = \frac{5 q_1 l^4}{384 EI} - \frac{1 q_2 c^2 l^2}{32 EI} =$$

$$u_m = \frac{l^2 (5q_1 l^2 - 12q_2 c^2)}{384 EI} \quad (\text{formule A})$$

$$u_u = u_6 - u_2 = u_3 + u_4 - u_2 =$$

$$u_u = \frac{1 q_2 c^4}{8 EI} + \varphi_{B2} c - \varphi_{B1} c =$$

$$u_u = \frac{1 q_2 c^4}{8 EI} + \frac{1 K_B l}{3 EI} c - \frac{1 q_1 l^3}{24 EI} c =$$

$$u_u = \frac{1 q_2 c^4}{8 EI} + \frac{1 q_2 c^3 l}{6 EI} - \frac{1 q_1 l^3 c}{24 EI} =$$

$$u_u = \frac{3q_2 c^4 + 4q_2 c^3 l - q_1 l^3 c}{24 EI} \quad (\text{formule B})$$