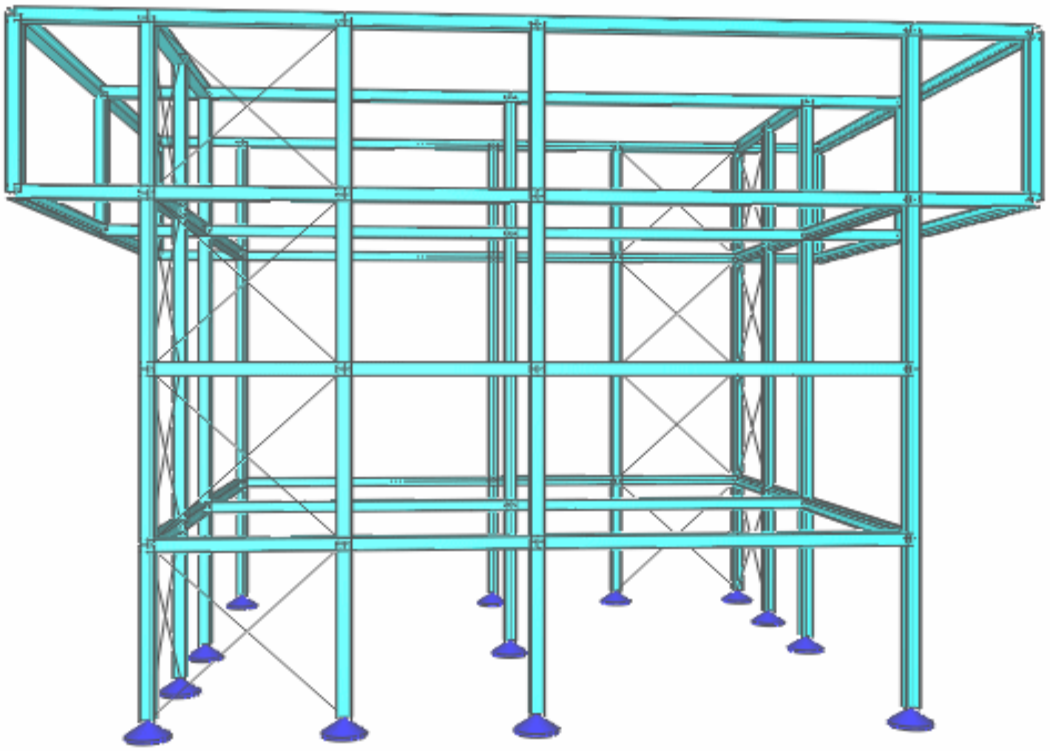
HANDLEIDING ONTWERPEN DRAAGCONSTRUCTIES PRACTICUM BK1TE2



Ir. G. Jan Arends m.m.v. ir. J.M. Gerrits

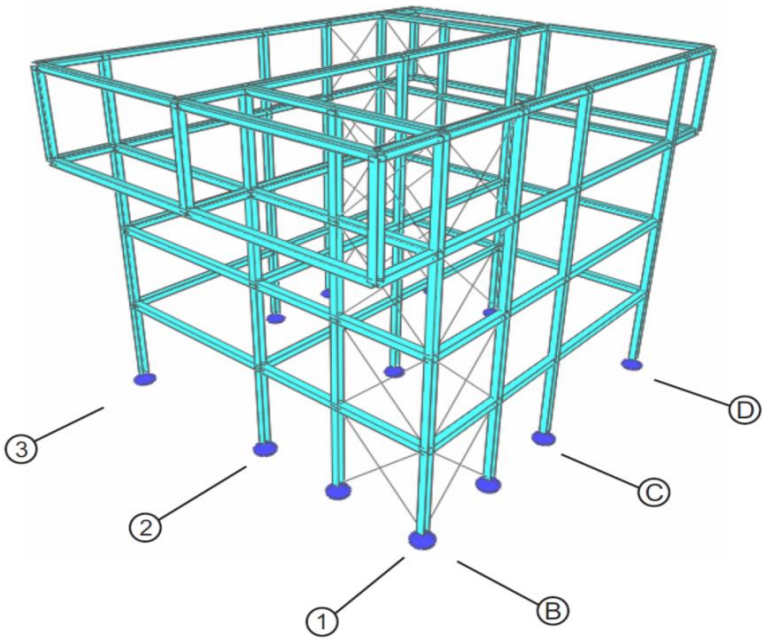
November 2013 v2

Inleiding

De draagconstructie is een van de belangrijkste onderdelen van een gebouw. Zonder een adequate draagconstructie zal een bouwwerk, hoe fraai ook ontworpen, instorten als de er op werkende krachten niet meer kunnen worden afgedragen naar de fundering. Uiteraard moet ook de fundering, die overigens onderdeel uitmaakt van de draagconstructie, voldoende sterk zijn.

De draagconstructie is van invloed op het totale ontwerp van het gebouw. Daarom is het noodzakelijk dat een architect iets afweet van de werking van de draagconstructie. Dat maakt ook het gesprek met de constructeur gemakkelijker. Het is aan de constructeur om een hele constructie door te rekenen en de minimaal benodigde afmetingen van een constructie-element te bepalen. Voor de architect is het echter belangrijk de afmetingen al zo goed mogelijk in te schatten, hetzij met vuistregels, hetzij door middel van een eenvoudige berekening.

Voor deze oefening gaan we voor een reeds ontworpen kantoorgebouw van vier bouwlagen met een *staalskelet*, een *ligger en kolom dimensioneren*. Eerst schatten we met behulp van vuistregels de afmetingen van deze elementen in om deze vervolgens met een eenvoudige berekening te controleren. Het type vloerconstructie en de horizontale maten zijn in bijlage I te vinden. Ze zijn gerelateerd aan het studentnummer. De verdiepingshoogte is 3,6 meter.



Staalconstructie met stabiliteitselementen.

Stabiliteit

Een goed gebouw moet voldoen aan de drie S'en: sterkte, stijfheid en stabiliteit. Deze drie items bepalen de plaats en de grootte van de draagconstructie-elementen. In het eerste practicum is ingegaan op de stabiliteit. We hebben daar de volgende regels afgeleid:

1. *Vloeren en daken moeten in principe als* (in het horizontale vlak) *stijve of vormvaste constructies* worden uitgevoerd.
2. *Stabiliteitselementen kunnen alleen krachten opnemen in hun vlak en niet loodrecht op het vlak!*
3. Er zijn *minimaal drie verticale stabiliteitsvlakken nodig* (schijven of diagonalen).
4. Deze drie stabiliteitswanden mogen niet *allemaal* evenwijdig aan elkaar lopen en ook mogen de *snijassen* ervan *niet samenvallen*. In de plattegrond mogen *de snijpunten niet door één punt* gaan (rotatie-instabiliteit).
5. *Hoe verder de snijassen uit elkaar liggen, hoe stijver de constructie* is en *des te kleiner de krachten in de stabiliteitselementen* zijn.

Als stabiliteitselementen worden vaak lift- en leidingschachten en wanden van trappenhuizen gebruikt. In de praktijk worden meestal minimaal vier stabiliteitswanden aangebracht, zodat horizontale krachten in alle richtingen beter opgenomen worden. Het gebouw dat we in deze oefening gebruiken, heeft vier stabiliteitswanden. In de gevel zijn daarvoor extra stijlen geplaatst. Een dergelijke draagconstructie wordt een *geschoord raamwerk* genoemd.

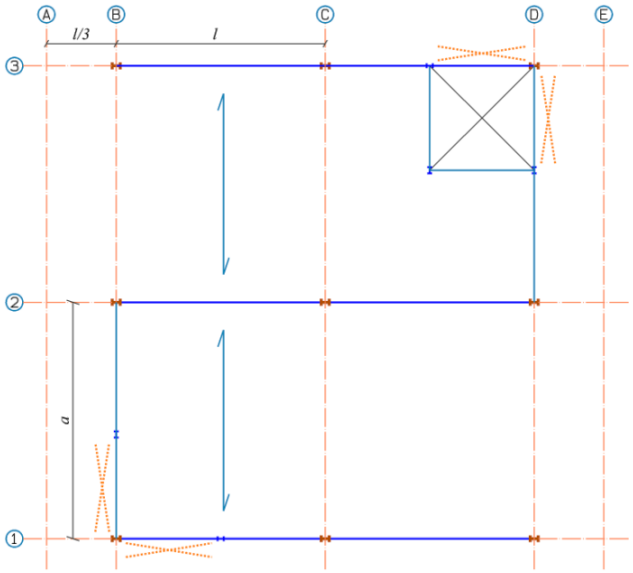
Schematiseren constructie

De belasting is afhankelijk van de functie van het gebouw en het totale gewicht van de vloer-constructie. Het gebouw heeft een kantoorfunctie met een ***veranderlijke belasting*** van ***3 kN/m²***. Voor de vloerconstructie moet een keuze worden gemaakt tussen een betonnen en een houten kanaalplaatvloer, ondersteund door het staalskelet. (De te maken keuze is afhankelijk van je studentnummer, zie bijlage 1, waarin ook de bijbehorende liggerlengte ℓ en de h.o.h. afstand a zijn weergegeven.)

Om te weten hoeveel belasting er op een ligger of kolom komt, maken we gebruik maken van *Draagconstructieplattegronden*. Op een normale plattegrond van een gebouw of verdieping teken je alles wat je van boven ziet vanaf één meter boven de vloer. Van muren en kolommen wordt een doorsnede getekend. Ook deuren, trappen, sanitair e.d. maken deel uit van de plattegrondtekening. Op een dergelijke tekening zien we dus wat zich boven de grond bevind.

Bij een *draagconstructieplattegrond* is dit heel anders. De plaatsing van deuren en bijvoorbeeld sanitair is hier niet belangrijk. Bovendien tekenen we hier niet wat zich boven de vloer bevindt maar juist de draagconstructie die er onder zit: *Alle constructiedelen die de verdiepingsvloer zowel in verticale als in horizontale richting op hun plaats houden*, worden op de constructieplattegrond van die vloer getekend. Dus niet de kolommen die zich boven de verdiepingsvloer bevinden en op die verdieping zichtbaar zijn, maar juist de kolommen die de vloer ondersteunen. Je zou de vloer (of het dak) kunnen beschouwen als een glazen tafelblad, waar doorheen je de poten en de stabiliteitsconstructie ziet.

Een uitzondering op bovengenoemde regel is onder meer de hanger: een constructie-element waarmee een vloer is opgehangen. Dit boven de vloer gelegen element wordt uiteraard wel weergegeven (met aanduiding ‘hanger’).

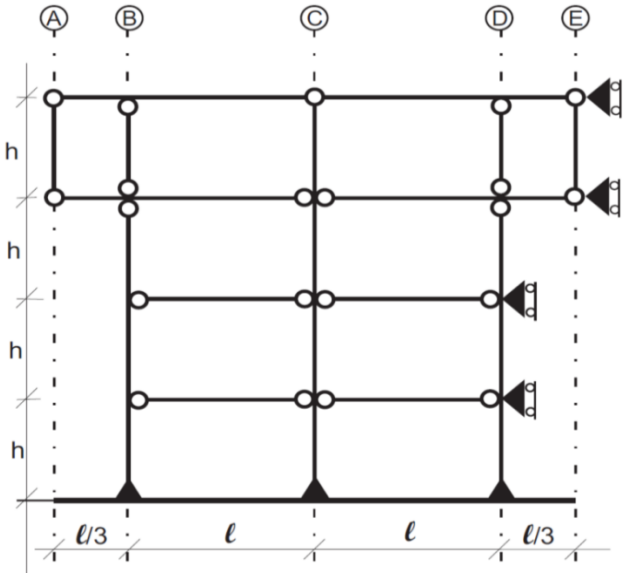


Constructieplattegrond vloer eerste verdieping.

In de vloervelden wordt met haken de overspanningsrichting van de vloerelementen weergegeven. (Een overspanning in twee richtingen geven we weer met twee loodrecht op elkaar staande haken.) De dragende liggers worden dik getekend en de niet dragende liggers met een dunne lijn. Ook de

plaats van de stabiliteitsvoorzieningen wordt hier aangeduid, in de vorm van een gestreept andreaskruis. Openingen in de vloer (liftschachten, vides, enz.) worden weergegeven met twee elkaar kruisende lijnen (een dunne getrokken lijn). In de plattegrond noteren we de afstanden (lengten) en de namen van de toegepaste draagconstructie-elementen.

Om aan een constructie te kunnen rekenen, moeten we deze zodanig schematiseren dat we de krachtswerking op de constructie kunnen bepalen. We gebruiken daarvoor het zogeheten *statisch schema*. Dit schema toont de hartlijnen van de constructie-elementen en de aard van de opleggingen en verbindingen in een bepaalde as. De oplegging is als het ware een verbinding met de fundering. De belangrijkste opleggingen zijn de scharnieroplegging, de roloplegging en de inklemming. Bij verbindingen maken we onderscheid tussen de scharnierverbinding en de buigvaste verbinding. In deze oefening maken we in principe gebruik van scharnieropleggingen en scharnierverbindingen.



Statisch schema in as 2.

In het schema worden de scharnierverbindingen weergegeven door open bolletjes. Let er op dat bij de derde verdieping de uitkragende liggers moeten doorlopen. Om dit weer te geven, moet aan de zijde van de uitkraging onder en boven de ligger een bolletje worden getekend. De getekende verticale rollen betekenen dat ergens in de constructie een element is geplaatst dat er voor zorgt dat de betreffende vloer in horizontale richting op zijn plaats blijft. Zij moeten worden getekend als in de weergegeven as geen stabiliteitswanden aanwezig zijn.

Globale dimensionering ligger (ligger B2-C2 op 1ste verdieping)

De dwarsafmetingen van liggers en kolommen zijn afhankelijk van de krachten die er op werken, maar ook van de lengte van die elementen. Om een eerste schatting van de afmetingen te kunnen maken zijn er vuistregels of kentallen opgesteld. Deze vuistregels zijn niet anders dan een eerste globale benadering. Ze zijn vooral bedoeld voor gebruikelijke constructies met normale belastingen. Hoe extremer de constructie of de daarop geplaatste belasting, des te onnauwkeuriger de vuistregel. Een constructiedeel behoeft dan ook niet aan de vuistregels te voldoen maar aan de normen (Eurocodes).

Tabel vuistregels

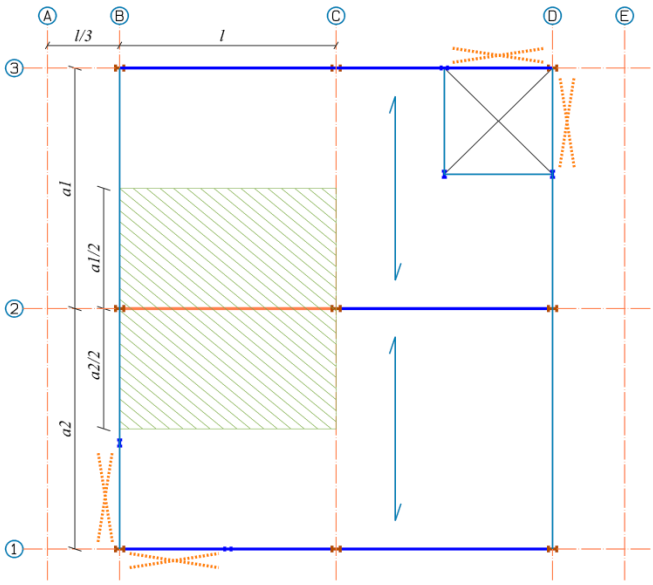
	hout		**staal**		**beton**	
	gezaagd	gelamineerd	HE	buis	t.pl. gestort	prefab
$h_{dakliggers}$	$\frac{1}{20}\ell$	$\frac{1}{20}\ell$	$\frac{1}{30}\ell$	-	$\frac{1}{20}\ell$	$\frac{1}{20}\ell$
$h_{vloerliggers}$	$\frac{1}{20}\ell$	$\frac{1}{17}\ell$	$\frac{1}{20}\ell$	-	$\frac{1}{20}\ell$	$\frac{1}{20}\ell$

Als ligger passen we voor deze oefening een HEA-profiel toe, *sterkteklasse S235*. Dit betekent dat de rekenwaarde voor de staalsterkte gelijk is aan 235 N/mm^2. De *elasticiteitsmodules E* is voor staal gelijk aan 210 x 10^3 N/mm^2. Een HEA-profiel heeft brede flenzen, zodat er voldoende oplegbreedte is voor de kanaalplaten. Met de vuistregel schatten we de hoogte van een profiel en in een tabel noteren we het profielnummer en de gegevens die we nodig hebben voor de controleberekening. Dat zijn: het gewicht van de ligger per strekkende meter, het weerstandsmoment W en het kwadratisch oppervlaktemoment I. Deze gegevens zijn te vinden in een staalprofielen tabel (zie bijlage 2). Vaak is daarin de *massa* per strekkende meter [kg/m] weergegeven. Dit moet worden omgerekend tot gewicht per strekkende mm [N/mm]. Daarvoor moeten we het weergegeven getal vermenigvuldigen met 10 (afronding van 9,8: versnelling van de zwaartekracht) om van [kg] naar [N] te gaan en vervolgens delen door 1000 (van meter naar millimeter).

Gegevens stalen HEA-profiel

$h_{\text{vloerligger}}$ [mm]	Profielnr.	Gewicht [N/mm]	W [mm^3]	I [mm^4]	Sterkte-klasse	E-modulus N/mm^2
	HE A				S235	210x10^3

Op deze ligger werkt de rustende belasting en de veranderlijke belasting. Voor het bepalen van de grootte daarvan gebruiken we de draagconstructieplattegrond, waarop we het oppervlak dat door de ligger wordt gedragen arceren. Alle elementen in het gearceerde vlak, inclusief het gewicht van eventuele secundaire liggers, moeten in de belasting worden meegenomen. Onze ligger heeft een overspanning ℓ. De hart-op-hart afstand (h.o.h.) van de liggers bedraagt *a (a1 = a2 = a)*.



Draagconstructieplattegrond met belastingschema ligger.

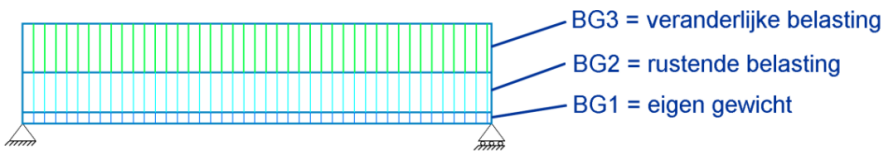
De belasting op de ligger bestaat uit drie delen:

BG1 = Eigen gewicht van de ligger.

BG2 = Rustende belasting op de ligger, bijv. gewicht vloerconstructie, plafond, opgehangen installaties, vloerafwerking enz.

BG3 = Veranderlijke belasting op de ligger.

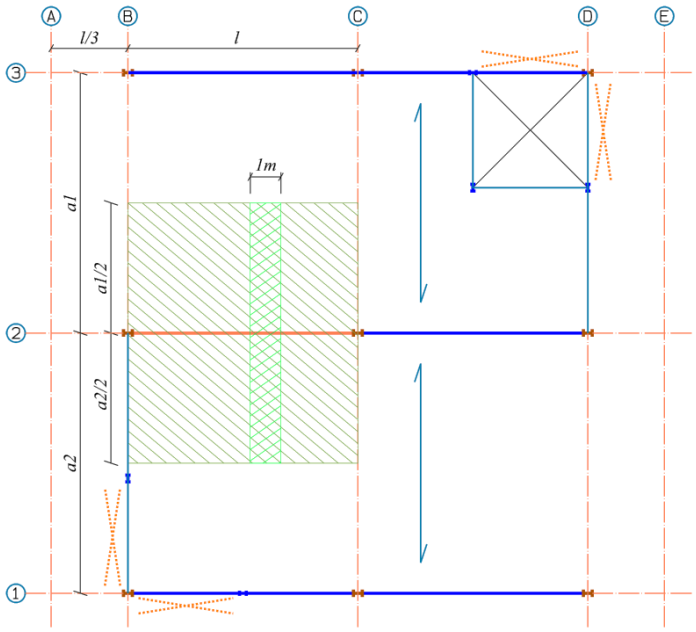
BG1 en BG2 vormen samen de blijvende belasting q_{bb}; de veranderlijke belasting kunnen we weergeven als q_{vb}. Voor de liggercontrole moeten de belastingen worden berekend *per strekkende meter op de ligger*, tenzij de belasting als een *puntlast* op de ligger komt. We gaan uit van een gelijkmatig verdeelde belasting.



Belasting op de te controleren ligger.

BG1. Het gewicht per strekkende meter hebben we hiervoor al bepaald bij het verzamelen van de gegevens van de ligger.

BG2. De rustende belasting bestaat uit het gewicht van de vloerconstructie inclusief het gewicht van een eventuele afwerklaag, het plafond, de installaties die aan de vloer hangen of in de vloerconstructie zijn opgenomen enz. (zie bijlage 3 en 4). Al deze belastingen zijn gegeven in N/m^2 of kunnen daarin worden berekend. Bij een betonnen deklaag moet bijvoorbeeld de volumieke *massa* [kg/m^3] worden omgerekend naar het volumieke *gewicht* [kN/m^3] door het aantal kg te vermenigvuldigen met 10 (versnelling zwaartekracht). We krijgen daardoor de eenheid N. Door deze uitkomst te delen door 1000 krijgen we kN: 1 kg/m^3 → 0,01 kN/m^3. Het volumieke gewicht dient vervolgens met de laagdikte te worden vermenigvuldigd om de belasting in kN/m^2 te krijgen. → *belasting in kN/m^2 = laagdikte in meter maal belasting in kN/m^3.*



Draagconstructieplattegrond met belasting per strekkende meter van de ligger.

De gevonden belasting per vierkante meter [kN/m^2] moet worden omgezet naar een lijnlast op de ligger oftewel een belasting per strekkende meter [kN/m']. Om de grootte daarvan te bepalen tekenen we op de ligger een afstand van 1 meter en arceren we het oppervlak dat door deze meter ligger wordt gedragen. De grootte van dit oppervlak is gelijk aan *twee keer de halve h.o.h. afstand van de liggers* maal 1 meter. De *belasting per strekkende meter [kN/m] wordt dan 2 x a/2 [m] maal de belasting per vierkante meter [kN/m^2].* (Voor randliggers geldt uiteraard één keer de halve h.o.h. afstand.)
Stel het gewicht van de vloerconstructie inclusief plafond e.d. is gelijk aan 4 kN/m^2. De liggers hebben een lengte van 6 meter, terwijl de liggers 5 meter uit elkaar liggen. De lijnlast BG2 is dan gelijk aan 2 x 5/2 x 4 = 20 kN/m'.
In deze oefening hebben we twee typen vloerconstructies: betonnen kanaalplaten en houten kanaalplaten. Voor gegevens zie respectievelijk de bijlagen 3 en 4.

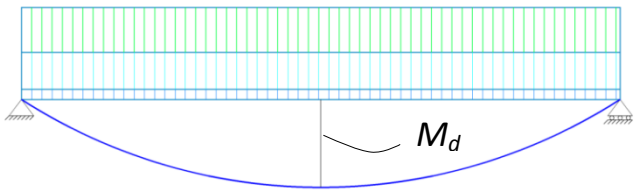
BG3. Ook de veranderlijke belasting is gegeven in kN/m^2. Om hier een belasting per strekkende meter ligger van te maken, moet deze eveneens vermenigvuldigd worden met *twee maal de halve h.o.h. spantafstand* → *veranderlijke belasting in kN/m = 2a/2 [m] x veranderlijke belasting [kN/m^2].* Voor ons kantoor geldt dus: *BG3 = a x 3 kN/m'.*

Controle Uiterste GrensToestand ligger (sterkte)

Met de hiervoor bepaalde belastingen kunnen we de sterkte en de stijfheid berekenen. Voor de sterkte moeten we de Uiterste GrensToestand (UGT) controleren. Voor een ligger op twee steunpunten bepalen we hiervoor de maximaal optredende buigspanning: σ_m. Deze moet kleiner zijn dan de sterkte, oftewel: $\sigma_m \leq f_{m;d}$ (met $f_{m;d}$ = 235 N/mm^2).

De buigspanning $\sigma_m = \frac{M_d}{W}$, waarin W het hiervoor al bepaalde weerstandsmoment is en M_d het maximale moment in het midden van de overspanning. Voor het maximale moment geldt:

$$M_d = \tfrac{1}{8} q l^2.$$



Maximaal moment.

Hierin is ℓ de lengte van de ligger en q de totale lijnlast. Voor de UGT geldt dat we de belastingen moeten vermenigvuldigen met partiële factoren γ (vroeger 'belastingfactoren') om extra veiligheid te krijgen. Deze factor hangt af van de veiligheidsklasse van het gebouw. In het collegedictaat is de toetsingsregel voor de Fundamentele Belastingcombinatie vermeld, zoals deze in de norm is gegeven. Enigszins vereenvoudigd luidt deze: FC = $\xi\, \gamma_{Gf}$ x G + γ_{Qf} x Q, waarin G de blijvende belasting en Q de veranderlijke belasting voorstelt. ξ is een verminderingsfactor die in de nationale bijlage is vastgesteld op 0,89.

Voor ons gebouw geldt dat γ_{Gf} = 1,35 en γ_{Qf} = 1,5. De veiligheidsfactor voor de blijvende belasting wordt met de verminderingsfactor 0,89 x 1,35 = 1,2 (de waarde van de vroegere belastingfactor voor de permanente belasting). Voor onze ligger geldt: q_{UGT} = 1,2 $q_{bb.}$ + 1,5 q_{vb}.

Met deze grootheden kunnen we het moment en daarmee de buigspanning berekenen en vervolgens de sterkte controleren door de unity check te doen: U.C. = $\frac{\sigma_m}{f_{m;d}} \leq 1$

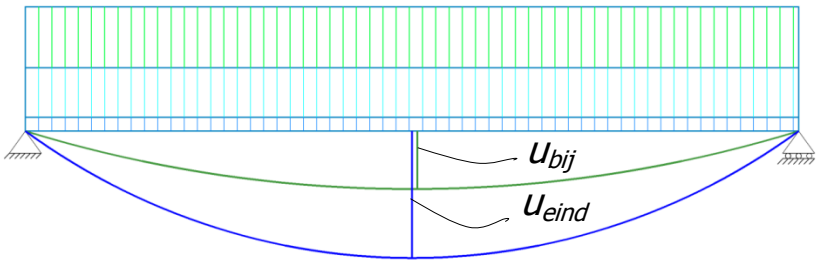
Is U.C. > 1 dan moeten we een zwaarder profiel nemen. Voor de W_{nieuw} van het nieuw te nemen profiel geldt:

$$W_{nieuw} = U.C. \times W_{oud}$$

Controle Bruikbaarheids GrensToestand BGT ligger (stijfheid)

Voor de stijfheid moete we de Bruikbaarheids GrensToestand (BGT) oftewel de doorbuiging controleren. Voor de doorbuiging geldt de formule: $u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q\ell^4}{EI}$ (E en I zijn hiervoor al bepaald).

Voor de BGT bestaan twee controles: de bijkomende doorbuiging u_{bij} en de doorbuiging in de eindtoestand u_{eind}. De u_{eind} is de totale vervorming die t.g.v. de belasting optreedt (inclusief *kruip bij hout- en betonconstructies*). Een eventuele zeeg kan hiervan worden afgetrokken. Dit betekent dat we deze doorbuiging kunnen verminderen door de ligger een zeeg te geven. u_{bij} is de vervorming die optreedt door de veranderlijke belasting (en bij hout en beton ook nog de kruip). De eis van doorbuiging in de eindtoestand is een esthetische eis, terwijl die voor de bijkomende doorbuiging meer een eis van welbevinden is: voel men zich wel zeker als een ligger teveel doorbuigt. Bovendien kan een te grote u_{bij} schade in wanden die op de vloer zijn geplaatst tot gevolg hebben, terwijl ook de afwerklaag van de vloeren zou kunnen scheuren. Voor de bijkomende doorbuiging van een stalen ligger geldt dat we kunnen volstaan met: $q = q_{vb}$ als belasting.



Bijkomende doorbuiging en doorbuiging in de eindtoestand.

Voor een vloerligger geldt als algemene eis $u_{bij} \leq u_{eis}$ met $u_{eis} = 0{,}003 \times \ell$. Bevindt de ligger zich in een wand of in de gevel, of moet er rekening mee worden gehouden dat op de vloer lichte scheidingswanden kunnen worden geplaatst, dan geldt: $u_{bij} \leq 0{,}002 \times \ell$. (Voor de totale doorbuiging geldt $u_{eind} \leq 0{,}004 \times \ell$. Voor een dakligger is deze limiet voor zowel u_{bij} als voor u_{eind}.

Ook hier kunnen we weer de U.C. doen: $U.C. = \dfrac{u_{bij}}{u_{eis}} \leq 1$.

Is U.C. > 1 dan moeten we een zwaarder profiel nemen. Voor de I_{nieuw} van de nieuw te nemen profiel geldt:

$$I_{nieuw} = U.C. \times I_{oud}.$$

De formules voor W_{nieuw} en I_{nieuw} kunnen we ook gebruiken als zowel voor de UGT als voor de BGT de U.C. << 1. We kunnen dan met een slanker, dus goedkoper profiel volstaan. We nemen dan de grootste van de beide waarden van U.C. als uitgangspunt.

Globale dimensionering kolom (kolom C2 *onder* 1ste verdieping)

Ook voor kolommen bestaan er vuistregels, maar vooral voor deze elementen kunnen de werkelijk benodigde afmetingen zeer sterk afwijken van die gevonden met deze vuistregels. De dimensies van de kolom zijn afhankelijk van de kniklengte. Er is echter een groot verschil of een kolom een heel gebouw met veel verdiepingen moet dragen of alleen het dak. Vaak is de kolom op de begane grond de 'maatgevende' kolom. Een slanke kolom met grote kniklengte zou ook maatgevend kunnen zijn ook al bevindt deze zich niet op de begane grond.

Tabel vuistregels

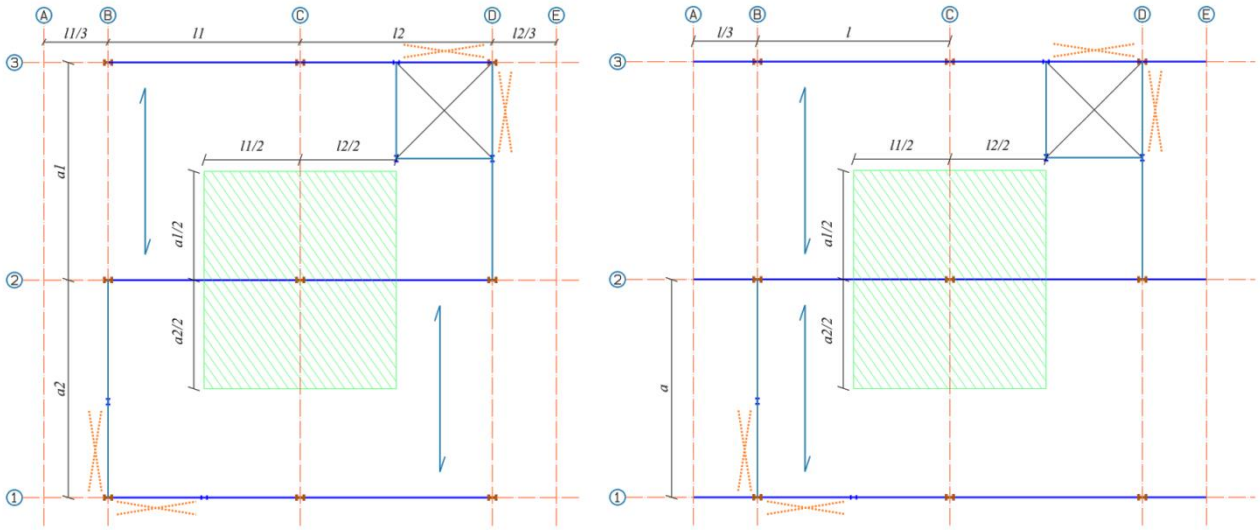
	hout		**staal**		**beton**	
	gezaagd	gelamineerd	HE	buis	t.pl. gestort	prefab
$b_{kolommen}$	$\frac{1}{20}\ell_c$	$\frac{1}{20}\ell_c$	$\frac{1}{15}\ell_c$	$\frac{1}{25}\ell_c$	$\frac{1}{18}\ell_c$	$\frac{1}{20}\ell_c$

Let er op dat we altijd de kleinste of liever de zwakste dwarsafmeting moeten toepassen: Bij HE profielen moeten we dus niet de profielhoogte maar de breedte van het profiel nemen. Juist die afmeting is maatgevend voor uitknikken.
Voor deze oefening kiezen we de zwaarst belaste kolom op de begane grond, de middenkolom. Met de vuistregels bepalen we globaal welke afmetingen de kolom moet hebben. De daarbij behorende gegevens noteren we weer in een tabel. We gaan uit van een HEA-profiel.

Gegevens stalen HEA-profiel

b_{kolom} [mm]	Profielnr.	Gewicht [N/mm]	W [mm^3]	I [mm^4]	Sterkte-klasse	E-modulus N/mm^2
	HE A				S235	210x10^3

Om de controle uit te kunnen voeren, moeten we weten welke belasting de kolom moet dragen. Daarvoor maken we eerst een belastingschema en vervolgens een gewichtsberekening die we in tabelvorm weergeven. Het belastingschema bestaat uit alle constructieplattegronden (of een 3-D tekening) waarop de betreffende kolom en alle daarop rustende constructiedelen zijn aangeduid. Kolommen en liggers eventueel met een kleur en het vloeroppervlak door een arcering. Alle liggers binnen de gearceerde gebieden dragen hun belasting af aan de kolom. Geef ook de lengtematen weer, zodat de totale belasting die door de kolom moet worden gedragen gemakkelijk is te bepalen.



Belastingschema van de te controleren kolom (links verdieping 1 en 2, rechts verdieping 3 en dak).

Het gewicht van alle constructiedelen die door de kolom worden gedragen, moeten bij elkaar worden opgeteld, evenals het totaal van de veranderlijke belasting die door de kolom moet worden afgevoerd. Om dit overzichtelijk te doen, maken we per kolom gebruik van een gewichtsberekenings-tabel. Hierin kunnen alle waarden overzichtelijk worden ingevoerd en eventueel in een spreadsheet (Excel-bestand) worden berekend.

Let er op dat de totale belasting als een puntlast (normaalkracht) op de kolom werkt. Alle belastingen moeten dus naar een belasting in kN worden omgezet. Het gewicht van kolommen en liggers (g; gegeven in kN per m) moet daarom worden vermenigvuldigd met resp. de verdiepingshoogte h en de liggerlengte ℓ [kN/m → kN]. De veranderlijke belasting (q) en de blijvende vloerbelasting (g) worden bepaald in kN/m^2. Deze moeten dus worden vermenigvuldigd met het oppervlak dat door de betreffende kolom wordt gedragen, om een puntlast te krijgen [kN/m^2 → kN].

Volgens de normcommissie is de kans dat alle vloeren extreem worden belast vrijwel nihil. Daarom heeft men de combinatie- of momentaanfactor ψ geïntroduceerd. Dit is een reductiefactor die voor

op één na alle verdiepingen mag worden gebruikt. *Bij de verdieping die de grootste bijdrage aan de veranderlijke belasting (in kN!) levert, moet deze extreem worden genomen* (ψ = 1). Voor de andere vloeren is ψ afhankelijk van het gebruik van de verdieping. Voor kantoren geldt bijvoorbeeld ψ = 0,5. Voor het dak mag zelfs ψ = 0 worden genomen. De totale belasting op de kolom wordt dan:

$$F_d = \gamma_{Gf} \Sigma \text{ blijvend} + \gamma_{Qf} \Sigma (\psi \text{ x veranderlijke belasting}).$$

Voorbeeld Tabel gewichtsberekening kolom

	Lengte [m]	Breedte [m]	bel./m^2 of bel./m	blijv. belast.	verand. belast.	tot.blijv. / verd.	fact. ψ	Te reken. ver. bel.
Dak / peil H								
Ver.belast	ℓ	a	q_{dak}	-	$\ell \times a \times q_{dak}$		$\psi = 0$	$0 \times \ell \times a \times q_{dak} = 0$
Gew. dakconstr.	ℓ	a	g_{dak}	$\ell \times a \times g_{dak}$	-			
Gew. ligger	ℓ		g_{ligger}	$\ell \times g_{ligger}$	-			
Gew. kolom	h		g_{kolom}	$h \times g_{kolom}$	-			
						$\Sigma_{blijv\ bel\ dak}$		
n^{de} verdieping peil H-h								
Ver.belast	ℓ	a	q_{vloer}	-	$\ell \times a \times q_{vloer}$		$\psi = ?$	$\psi \times \ell \times a \times q_{verd\ n}$
Gew. vloerconstr.	ℓ	a	g_{vloer}	$\ell \times a \times g_{vloer}$	-			
Gew. ligger	ℓ		g_{ligger}	$\ell \times g_{ligger}$	-			
Gew. kolom	h		g_{kolom}	$h \times g_{kolom}$	-			
						$\Sigma_{blijv\ bel\ vn}$		
n-1de verdieping								
idem							$\psi = ?$	
enz.								
1ste verdieping								
Ver.belast	ℓ	a	q_{vloer}	-	$\ell \times a \times q_{vloer}$		$\psi = ?$	$\psi \times \ell \times a \times q_{verd\ 1}$
Gew. Vloerconstr.	ℓ	a	g_{vloer}	$\ell \times a \times g_{vloer}$	-			
Gew. Ligger	ℓ		g_{ligger}	$\ell \times g_{ligger}$	-			
Gew. Kolom	h		g_{kolom}	$h \times g_{kolom}$	-			
						$\Sigma_{blijv\ bel\ v1}$		
Totaal						***Σ blijvend***		***Σ ver. bel.***

Controleberekening kolom (druksterkte)

Van de kolom gaan we de druksterkte controleren en het knikgetal n bepalen.
Voor de drukspanning geldt: $\sigma_c = \frac{F_d}{A} \leq f_{c;d}$

(A is de oppervlakte van de doorsnede. $f_{c;d}$ is de druksterkte, afhankelijk van het materiaal en de sterkteklasse (voor staal S235: 235 N/mm^2).

In werkelijkheid zal een kolom meestal veel eerder bezwijken. Een slank element dat op druk wordt belast, loopt gevaar uit te knikken. Een kolom zal nooit zuiver recht kunnen worden gemaakt, staat nooit exact verticaal en ook de belasting zal nooit precies in de as van de kolom aangrijpen. Om deze onvolkomenheden in te calculeren, wordt bij staal en hout gebruik gemaakt van een reductiefactor (knikfactor) en bij beton van een initiële excentriciteit. Bij deze oefening volstaan we met een reductiefactor van 0,6.

$$\sigma_c = \frac{F_d}{A} \leq 0{,}6 \cdot f_{c;d}$$

We kunnen ook hier de Unity Check uitvoeren: U.C. → $\frac{\sigma_c}{0{,}6 \cdot f_{c;d}} \leq 1$

Voldoet de sterkte niet, dan kunnen we de gevonden A vermenigvuldigen met de waarde van de U.C. om de benodigde doorsnede te krijgen → $A_{nieuw} = U.C. \times A_{oud}$

Bepaling knikgetal n

Knik is een gevaarlijke vorm van bezwijken, die vrij plotseling optreedt. Dit probleem is al lang bekend en in 1744 kwam de Zwitserse geleerde Leonard Euler met de volgende formule:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell_{cr}^2}.$$

F_{cr} (of F_E) wordt de Eulerse of ook wel de kritische knikkracht genoemd. E is de Elasticiteitsmodulus, I het kwadratisch oppervlaktemoment en ℓ_{cr} de kniklengte. In een geschoord gebouw met scharnierverbindingen tussen kolommen en liggers is de kniklengte van de kolom gelijk aan de verdiepingshoogte: $\ell_{cr} = h$.

Wil een constructie veilig zijn voor knikgevaar, dan moet de maximaal optredende belasting kleiner zijn dan de knikbelasting. Hoe veel kleiner hangt mede af van de wijze waarop de kolom wordt belast. De verhouding tussen de knikkracht en de totale extreme belasting op de kolom noemen we het *knikgetal n* → $n = {}^{F_{cr}}/_{F_d}$.

Om aan de veilige kant te blijven, eisen we dat het knikgetal $n = \frac{F_{cr}}{F_d} \geq 5$.

Deze relatief hoge waar de is nodig om alle imperfecties als scheefstand en een licht gekromd zijn, maar ook excentrische aansluiting van liggers aan de kolom te compenseren. Buiging in een kolom leidt tot sneller uitknikken.
Is n < 5 dan vermenigvuldigen we de I_{oud} met 5/n om het benodigde kwadratisch oppervlakte-moment te bepalen. Bij de zo gevonden I_{nieuw} kunnen we vervolgens het nieuwe profiel zoeken. Let er op dat zowel de sterktecontrole als het knikgetal moeten voldoen!

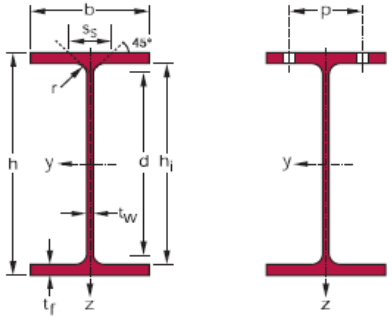
Bijlage 1: Gebouwnummer: laatste twee cijfers studentnummer

gebouw nummer	vrije over-spanning ℓ in m	h.o.h. spanten a in m	kanaal-plaatvloer
0	5.0	7.1	beton
1	5.0	7.4	hout
2	5.2	7.1	beton
3	5.2	7.4	hout
4	5.4	7.1	beton
5	5.4	7.4	hout
6	5.6	7.1	beton
7	5.6	7.4	hout
8	5.8	7.1	beton
9	5.8	7.4	hout
10	5.0	7.1	beton
11	5.0	7.4	hout
12	5.2	7.1	beton
13	5.2	7.4	hout
14	5.4	7.1	beton
15	5.4	7.4	hout
16	5.6	7.1	beton
17	5.6	7.4	hout
18	5.8	7.1	beton
19	5.8	7.4	hout
20	7.0	7.1	beton
21	7.0	7.4	hout
22	5.0	7.1	beton
23	5.0	7.4	hout
24	5.2	7.1	beton
25	5.2	7.4	hout
26	5.4	7.1	beton
27	5.4	7.4	hout
28	5.6	7.1	beton
29	5.6	7.4	hout
30	5.8	7.1	beton
31	5.8	7.4	hout
32	5.0	7.1	beton
33	5.0	7.4	hout
34	5.2	7.1	beton
35	5.2	7.4	hout
36	5.4	7.1	beton
37	5.4	7.4	hout
38	5.6	7.1	beton
39	5.6	7.4	hout
40	5.8	7.1	beton
41	5.8	7.4	hout
42	5.0	7.1	beton
43	5.0	7.4	hout
44	5.2	7.1	beton
45	5.2	7.4	hout
46	5.4	7.1	beton
47	5.4	7.4	hout
48	5.6	7.1	beton
49	6.6	7.4	hout

gebouw nummer	vrije over-spanning ℓ in m	h.o.h. spanten a in m	kanaal-plaatvloer
50	6.8	8.1	beton
51	6.8	8.4	hout
52	6.0	8.7	beton
53	6.0	9.0	hout
54	6.2	8.7	beton
55	6.2	9.0	hout
56	6.4	8.7	beton
57	6.4	9.0	hout
58	6.6	8.7	beton
59	6.6	9.0	hout
60	6.8	8.7	beton
61	6.8	9.0	hout
62	6.0	8.7	beton
63	6.0	9.0	hout
64	6.2	8.7	beton
65	6.2	9.0	hout
66	6.4	8.7	beton
67	6.4	9.0	hout
68	6.6	8.7	beton
69	6.6	9.0	hout
70	6.8	8.7	beton
71	6.8	9.0	hout
72	6.0	8.7	beton
73	6.0	9.0	hout
74	6.2	8.7	beton
75	6.2	9.0	hout
76	6.4	8.7	beton
77	6.4	9.0	hout
78	6.6	8.7	beton
79	6.6	9.0	hout
80	6.8	8.7	beton
81	6.8	9.0	hout
82	6.0	8.7	beton
83	6.0	9.0	hout
84	6.2	8.7	beton
85	6.2	9.0	hout
86	6.4	8.7	beton
87	6.4	9.0	hout
88	6.6	8.7	beton
89	6.6	9.0	hout
90	6.8	8.7	beton
91	6.8	9.0	hout
92	6.0	8.7	beton
93	6.0	9.0	hout
94	6.2	8.7	beton
95	6.2	9.0	hout
96	6.4	8.7	beton
97	6.4	9.0	hout
98	6.6	8.7	beton
99	6.6	9.0	hout

© G.J. Arends

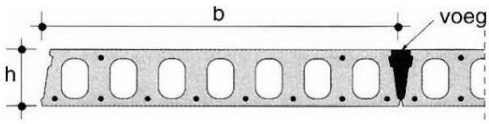
Désignation Designation Bezeichnung		Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte											
													axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y					axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						
	G	h	b	t_w	t_f	r	A	h_i	d	Ø	p_{min}	p_{max}	I_y	Wel.y	Wpl.y♦	i_y	A_{vz}	I_z	Wel.z	Wpl.z♦	i_z	s_s	I_t	I_w
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm^2 x10^2	mm	mm		mm	mm	mm^4 x10^4	mm^3 x10^3	mm^3 x10^3	mm x10	mm^2 x10^2	mm^4 x10^4	mm^3 x10^3	mm^3 x10^3	mm x10	mm	mm^4 x10^4	mm^6 x10^9
HE 100 A	16.7	96	100	5	8	12	21.2	80	56	M 10	54	58	349.2	72.76	83.01	4.06	7.56	133.8	26.76	41.14	2.51	35.06	5.24	2.58
HE 120 A	19.9	114	120	5	8	12	25.3	98	74	M 12	58	68	606.2	106.3	119.5	4.89	8.46	230.9	38.48	58.85	3.02	35.06	5.99	6.47
HE 140 A	24.7	133	140	5.5	8.5	12	31.4	116	92	M 16	64	76	1033	155.4	173.5	5.73	10.12	389.3	55.62	84.85	3.52	36.56	8.13	15.06
HE 160 A	30.4	152	160	6	9	15	38.8	134	104	M 20	78	84	1673	220.1	245.1	6.57	13.21	615.6	76.95	117.6	3.98	41.57	12.19	31.41
HE 180 A	35.5	171	180	6	9.5	15	45.3	152	122	M 24	86	92	2510	293.6	324.9	7.45	14.47	924.6	102.7	156.5	4.52	42.57	14.80	60.21
HE 200 A	42.3	190	200	6.5	10	18	53.8	170	134	M 27	98	100	3692	388.6	429.5	8.28	18.08	1336	133.6	203.8	4.98	47.59	20.98	108.0
HE 220 A	50.5	210	220	7	11	18	64.3	188	152	M 27	98	118	5410	515.2	568.5	9.17	20.67	1955	177.7	270.6	5.51	50.09	28.46	193.3
HE 240 A	60.3	230	240	7.5	12	21	76.8	206	164	M 27	104	138	7763	675.1	744.6	10.05	25.18	2769	230.7	351.7	6.00	56.10	41.55	328.5
HE 260 A	68.2	250	260	7.5	12.5	24	86.8	225	177	M 27	110	158	10450	836.4	919.8	10.97	28.76	3668	282.1	430.2	6.50	60.62	52.37	516.4
HE 280 A	76.4	270	280	8	13	24	97.3	244	196	M 27	112	178	13670	1013	1112	11.86	31.74	4763	340.2	518.1	7.00	62.12	62.10	785.4
HE 300 A	88.3	290	300	8.5	14	27	112.5	262	208	M 27	118	198	18260	1260	1383	12.74	37.28	6310	420.6	641.2	7.49	68.13	85.17	1200
HE 320 A	97.6	310	300	9	15.5	27	124.4	279	225	M 27	118	198	22930	1479	1628	13.58	41.13	6985	465.7	709.7	7.49	71.63	108.0	1512
HE 340 A	105	330	300	9.5	16.5	27	133.5	297	243	M 27	118	198	27690	1678	1850	14.40	44.95	7436	495.7	755.9	7.46	74.13	127.2	1824
HE 360 A	112	350	300	10	17.5	27	142.8	315	261	M 27	120	198	33090	1891	2088	15.22	48.96	7887	525.8	802.3	7.43	76.63	148.8	2177
HE 400 A	125	390	300	11	19	27	159.0	352	298	M 27	120	198	45070	2311	2562	16.84	57.33	8564	570.9	872.9	7.34	80.63	189.0	2942
HE 450 A	140	440	300	11.5	21	27	178.0	398	344	M 27	122	198	63720	2896	3216	18.92	65.78	9465	631.0	965.5	7.29	85.13	243.8	4148
HE 500 A	155	490	300	12	23	27	197.5	444	390	M 27	122	198	86970	3550	3949	20.98	74.72	10370	691.1	1059	7.24	89.63	309.3	5643
HE 550 A	166	540	300	12.5	24	27	211.8	492	438	M 27	122	198	111900	4146	4622	22.99	83.72	10820	721.3	1107	7.15	92.13	351.5	7189
HE 600 A	178	590	300	13	25	27	226.5	540	486	M 27	122	198	141200	4787	5350	24.97	93.21	11270	751.4	1156	7.05	94.63	397.8	8978
HE 650 A	190	640	300	13.5	26	27	241.6	588	534	M 27	124	198	175200	5474	6136	26.93	103.2	11720	781.6	1205	6.97	97.13	448.3	11030
HE 700 A	204	690	300	14.5	27	27	260.5	636	582	M 27	124	198	215300	6241	7032	28.75	117.0	12180	811.9	1257	6.84	100.1	513.9	13350
HE 800 A	224	790	300	15	28	30	285.8	734	674	M 27	130	198	303400	7682	8699	32.58	138.8	12640	842.6	1312	6.65	106.1	596.9	18290
HE 900 A	252	890	300	16	30	30	320.5	830	770	M 27	132	198	422100	9485	10810	36.29	163.3	13550	903.2	1414	6.50	111.1	736.8	24960
HE 1000 A	272	990	300	16.5	31	30	346.8	928	868	M 27	132	198	553800	11190	12820	39.96	184.6	14000	933.6	1470	6.35	113.6	822.4	32070

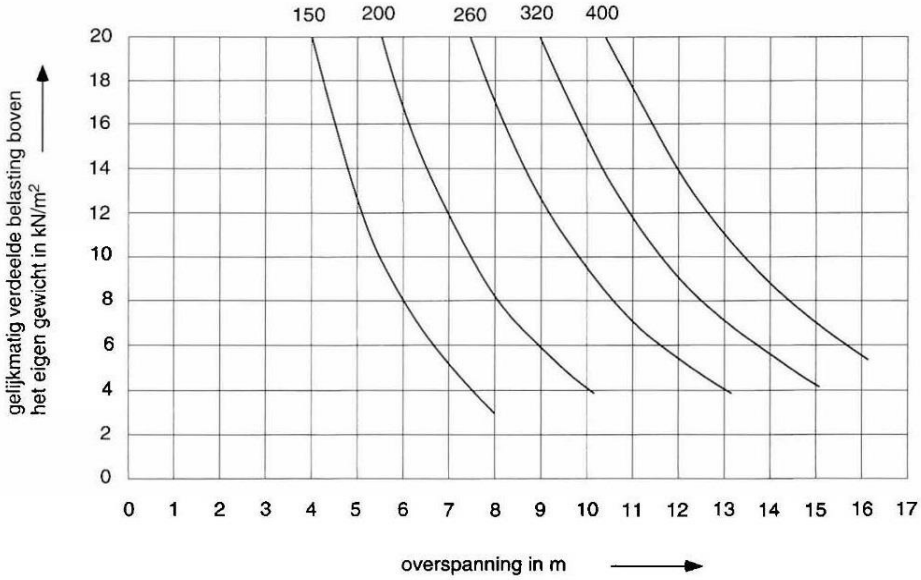


HEA

Bijlage 3: tabel kanaalplaten beton (bron: staalprofielen, (Over)spannend staal 5, 1998 p. 91)

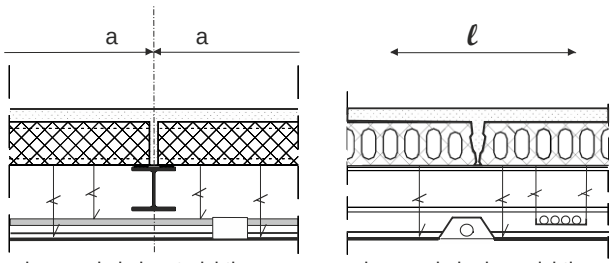
KANAAL-PLATEN





Kanaalplaten worden door verschillende producenten geleverd, die elk hun eigen bijzondere specificatie aan hun plaat meegeven. Deze samenvatting is gemaakt om een beeld te geven van de mogelijkheden van kanaalplaten. Bij een definitief ontwerp kunt u bij de leverancier nauwkeurige gegevens opvragen.

h (hoogte)	mm	150	200	260	320	400
b (standaard breedte)	mm	1200	1200	1200	1200	1200
aantal kanalen	stuks	8 tot 11	6 tot 11	5 tot 7	4 tot 7	4
gewicht inkl. voeg	kN/m²	2,7	3,1	4	4,7	4,8
voegvulling (kwaliteit B15)	l/m	6	7,3	11	12	15
sterkteklasse[1)]		B50–B65	B55–B65	B55–B65	B55–B65	B65
milieuklasse		1 of 2	1 of 2	1 of 2	1 of 2	1 of 2
brandwerendheid	min.	30 tot 120	60 tot 120	90 tot 120	90 tot 120	90 tot120
A (oppervlak)	$\times 10^3$ mm²	130	150	190	230	230
z_s (zwaartepunt)	mm	73,6	99,1	122	152	204
I (traagheidsmoment)	$\times 10^6$ mm⁴	310	685	1470	2640	4640
m.b.t. utiliteitsbouw						
ℓ_{max} verdieping[2)]	m	7,2	8,9	12,5	14,6	16,5
ℓ_{max} dak[3)]	m	8,0	9,9	12,5	14,6	17,5
max. plaatlengte bij						
breedte 300 mm	m	7,2	8,5	10,4	13,0	
breedte 400-500 mm	m	7,2	7,9	10,4	13,0	
breedte 600-1200 mm	m	8,1	10,0	12,6	14,7	



doorsnede in lengterichting

doorsnede in dwarsrichting

Veranderlijke belasting Q = 3 kN/m²

afwerklaag 50 mm [1]
kanaalplaat

staalprofiel HEA
leidingen etc. 15 kg/m²
plafond + verlichting 45 kg/m²

[1] volumieke massa afwerklaag = 2400 kgf/m³

Vloeropbouw

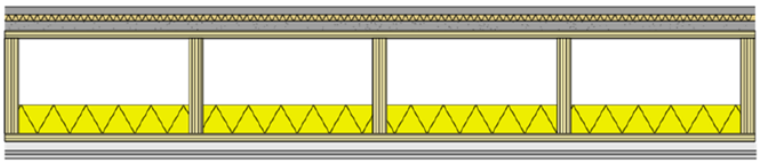
Bijlage 4: gegevens Kerto-Ripa Box (hout)

Kerto-Ripa Box gewicht zper vierkante meter en maximaal toelaatbare overspanning

Naam	Hoogte	Gewicht	Dak	Vloer				
				woning	kantoor	school	winkel	bijeenk.
	mm	kN/m^2	m	m	m	m	m	m
KRB-2400x25-5x45x200-2400x25	250	**0,35**	10,25	7,65	**7,15**			
KRB-2400x31-5x45x200-2400x25	256	**0,38**	10,50	7,90	**7,40**	5,65	4,80	4,35
KRB-2400x25-5x45x225-2400x25	275	**0,36**	10,90	8,25	**7,70**			
KRB-2400x31-5x45x225-2400x25	281	**0,39**	11,15	8,50	**7,95**	6,30	5,30	4,85
KRB-2400x25-5x45x240-2400x25	290	**0,37**	11,25	8,60	**8,05**			
KRB-2400x31-5x45x240-2400x25	296	**0,40**	11,50	8,85	**8,30**	6,70	5,60	5,15
KRB-2400x25-5x45x260-2400x25	310	**0,38**	11,65	9,05	**8,45**			
KRB-2400x31-5x45x260-2400x25	316	**0,41**	11,90	9,35	**8,75**	7,25	6,10	5,50
KRB-2400x25-5x45x300-2400x25	350	**0,40**	12,50	9,80	**9,35**			
KRB-2400x31-5x45x300-2400x25	356	**0,43**	12,75	10,05	**9,60**	8,10	7,05	6,40
KRB-2400x25-5x45x360-2400x25	410	**0,43**	13,65	10,75	**10,40**			
KRB-2400x31-5x45x360-2400x25	416	**0,46**	13,90	11,00	**10,60**	9,20	8,50	7,75
KRB-2400x37-5x45x360-2400x25	422	**0,49**	14,10	11,25	**10,80**	9,45	8,15	7,40
KRB-2400x37-5x45x360-2400x37	434	**0,55**	14,60	11,80	**11,00**	10,00	8,65	7,90
KRB-2400x25-5x51x400-2400x25	450	**0,47**	14,40	11,40	**11,05**			
KRB-2400x31-5x51x400-2400x25	456	**0,50**	14,65	11,70	**11,30**	10,05	9,35	9,35
KRB-2400x37-5x51x400-2400x25	462	**0,53**	14,85	11,95	**11,50**	10,30	9,55	9,00
KRB-2400x37-5x51x400-2400x37	474	**0,59**	15,35	12,50	**11,85**	10,80	10,15	9,55
KRB-2400x25-5x57x450-2400x25	500	**0,53**	15,35	12,25	**11,85**			
KRB-2400x31-5x57x450-2400x25	506	**0,56**	15,60	12,50	**12,10**	10,95	10,30	10,30
KRB-2400x37-5x57x450-2400x25	512	**0,59**	15,80	12,75	**12,30**	11,10	10,55	10,55
KRB-2400x37-5x57x450-2400x37	524	**0,65**	16,30	13,35	**12,65**	11,55	10,90	11,05
KRB-2400x25-5x63x500-2400x25	550	**0,59**	16,25	13,05	**12,65**			
KRB-2400x31-5x63x500-2400x25	556	**0,62**	16,45	13,35	**12,85**	11,65	11,20	11,20
KRB-2400x37-5x63x500-2400x25	562	**0,65**	16,70	13,60	**13,05**	11,85	11,35	11,35
KRB-2400x37-5x63x500-2400x37	574	**0,71**	17,15	14,15	**13,45**	12,25	11,75	11,75
KRB-2400x43-5x63x500-2400x43	586	**0,77**	17,55	14,50	**13,90**	12,65	12,10	12,10
KRB-2400x25-5x75x600-2400x25	656	**0,73**	17,90	14,70	**14,15**			
KRB-2400x31-5x75x600-2400x25	656	**0,76**	18,15	15,00	**14,40**	13,10	12,55	12,55
KRB-2400x37-5x75x600-2400x25	662	**0,79**	18,35	15,20	**14,60**	13,25	12,75	12,75
KRB-2400x37-5x75x600-2400x37	674	**0,86**	18,80	15,65	**15,00**	13,70	13,15	13,15
KRB-2400x43-5x75x600-2400x43	686	**0,92**	19,20	16,05	**15,40**	14,05	13,50	13,50

OPBOUW

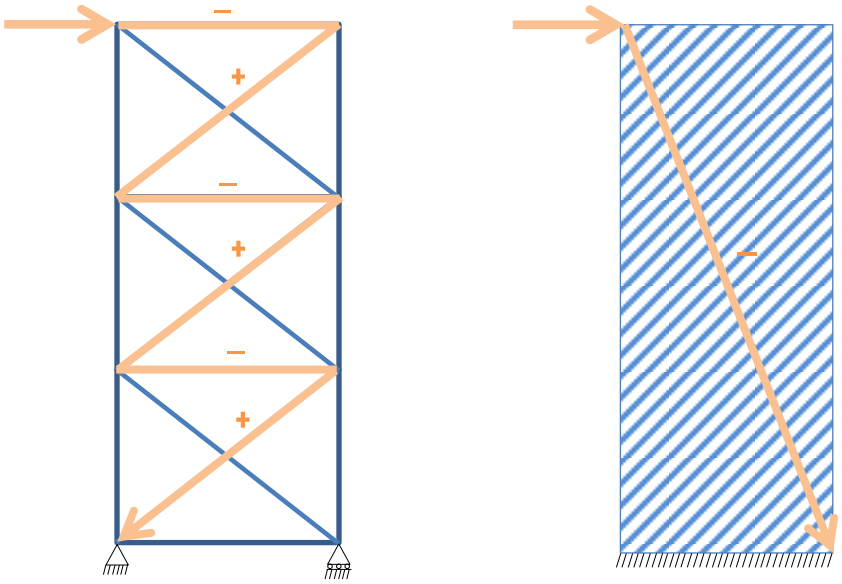
25mm Zwevende gipsvezelplaat
20mm Houtvezelisolatie
30mm Grind in honingraatstructuur
362mm KRB-2400x25-5x45x300-2400x37
90mm Minerale wol
27mm Stalen veerregels
12,5mm Gipsvezelplaat
12,5mm Gipsvezelplaat



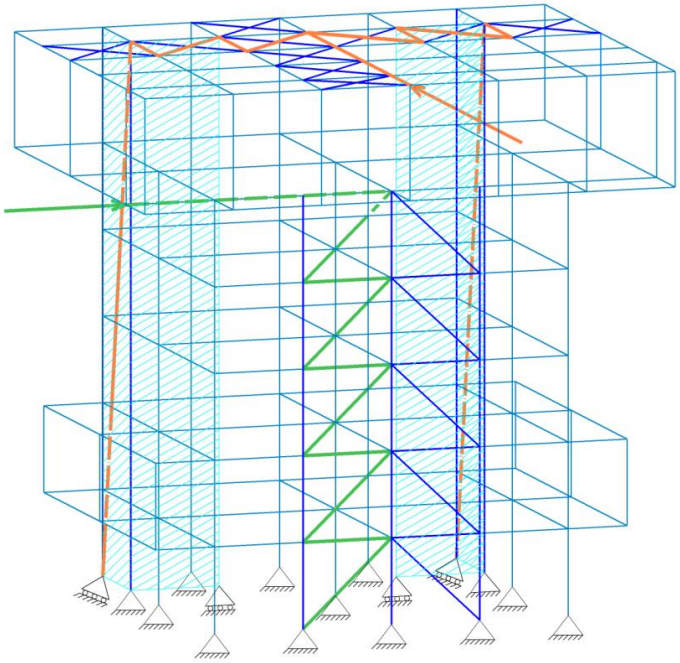
Totaalgewicht rustende belasting op/aan Kerto Ripa box) 110 kg/m^2.

Bijlage 5 Krachtdoorstroming

Alle krachten moeten via de draagconstructie naar de fundering worden afgevoerd. Bij een geschoorde constructie lopen de horizontale krachten via de stabiliteitsvoorzieningen.
Bij stabiliteitskruisen loopt de kracht via de trekdiagonalen. Bedacht moet worden dat een element een horizontale component moet hebben, wil deze de kracht kunnen doorgeven. In een tekening geven we bij de het tekenen van de krachtdoorstroming ook alleen die elementen aan, die een horizontale component hebben (zie afb.). In de andere elementen zullen overigens ook normaal-spanningen komen (links trek en rechts druk).
Bij stabiliteitswanden gaan we er van uit dat de krachtsafdracht van de horizontale belasting volgens de druklijn loopt. De kracht veroorzaakt een dwarskracht in de stabiliteitswand. De horizontale kracht zal de wand willen doen kantelen. Er ontstaan trekspanningen aan de linkerzijde. Deze moeten worden gecompenseerd door gewicht en eventuele rustende belasting.



Krachtdoorstroming in stabiliteitsverband en in stabiliteitswand.



Krachtdoorstroming in de constructie in twee loodrecht op elkaar staande richtingen.
Hoe is de krachtsafdracht als de groene kracht in het midden van de zijgevel aangrijpt?

© G.J. Arends

Antwoordverzamelblad practicum **Bk1TE2 1** LET OP EENHEDEN!

Belastingen & schematiseren: dimensionering ligger

Studentnummer:		**Naam:**	
Algemeen			
gebouwnummer:			
veranderlijke belasting:		kN/m^2	
materiaal kanaalplaat:		hoogte:	m
eigen gewicht kanaalplaat:		kN/m^2	
HEA-profiel:			
gewicht HEA-profiel:		kN/m	
blijvende belasting G:		kN/m	
veranderlijke belasting Q:		kN/m	
Resultaat t.g.v. uiterste grenstoestand (UGT)			
belastingfactor γ voor G:		voor Q:	
gelijkmatig verdeelde belasting q:		kN/m	
maximaal moment:		kNm	
maximaal optredende spanning:		kN/m^2	
U.C. = σ / $f_{m;d}$:			
Resultaat t.g.v. bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)			
Bijkomende doorbuiging			
belastingfactor γ voor G:		voor Q:	
gelijkmatig verdeelde belasting q:		kN/m	
maximale doorbuiging:		mm	
toegestane doorbuiging:		mm	
U.C. (doorbuiging):			
Belastingfactoren uiterste grenstoestand (UGT) uitkragende ligger			
belastinggeval 1:	ver. belasting alleen op veld		
belastingfactor γ voor G_{veld}:		voor $G_{uitkr.}$:	
belastingfactor γ voor Q_{veld}:		voor $Q_{uitkr.}$:	
belastinggeval 2:	ver. belasting alleen op uitkraging		
belastingfactor γ voor G_{veld}:		voor $G_{uitkr.}$:	
belastingfactor γ voor Q_{veld}:		voor $Q_{uitkr.}$:	

© G.J. Arends

Antwoordverzamelblad practicum **BK1TE2 2** [ ] in BB in te voeren

Belastingen & schematiseren: Dimensionering kolom LET OP DE EENHEDEN!

Studentnummer: [ ] **Naam:** [ ]

gebouwnummer: [ ] geschat profielnummer **HE** [ ] **A**

Gewichtstabel	lengte (hoogte) [m]		breedte [m]		bel./m^2 of bel./m		blijv. belast. [kN]	tot.blijv. per verd. [kN]	verand. belast. [kN]		fact. ψ		Te reken. ver. bel. [kN]
Dak													
Ver.belasting =		x		x		=	→			x		=	
Gew. dakconstr. =		x		x		=							
							+						
Gew. Ligger =		x				=							
							+						
Gew. Kolom =		x				=							
							=						
3de verdieping													
Ver.belasting =		x		x		=	→			x		=	
Gew. dakconstr. =		x		x		=							
							+						
Gew. Ligger =		x				=							
							+						
Gew. Kolom =		x				=							
							=						
2de verdieping													
Ver.belasting =		x		x		=	→			x		=	
Gew. dakconstr. =		x		x		=							
							+						
Gew. Ligger =		x				=							
							+						
Gew. Kolom =		x				=							
							=						
1ste verdieping													
Ver.belasting =		x		x		=	→			x		=	
Gew. dakconstr. =		x		x		=							
							+						
Gew. Ligger =		x				=							
							+						
Gew. Kolom =		x				=							
							=						
									+				+

totaal in kN = blijvende belasting = G: [ ] ver. bel. = Q: [ ]

kolomcontrole UGT partiële factor γ voor G = [ ] part. fact. γ voor Q = [ ]

$F_{tot} = F_d$ = [ ] kN → [ ] N A = [ ] mm^2

$\sigma_{c\ max}$ = [ ] N/mm^2 $f_{c;d}$ = [ ] N/mm^2 U.C. = [ ]

ℓ_c = [ ] mm I = [ ] mm^4 E = [ ] N/mm^2

F_{cr} = [ ] N n = [ ] gekozen profielnr. HE [ ] A