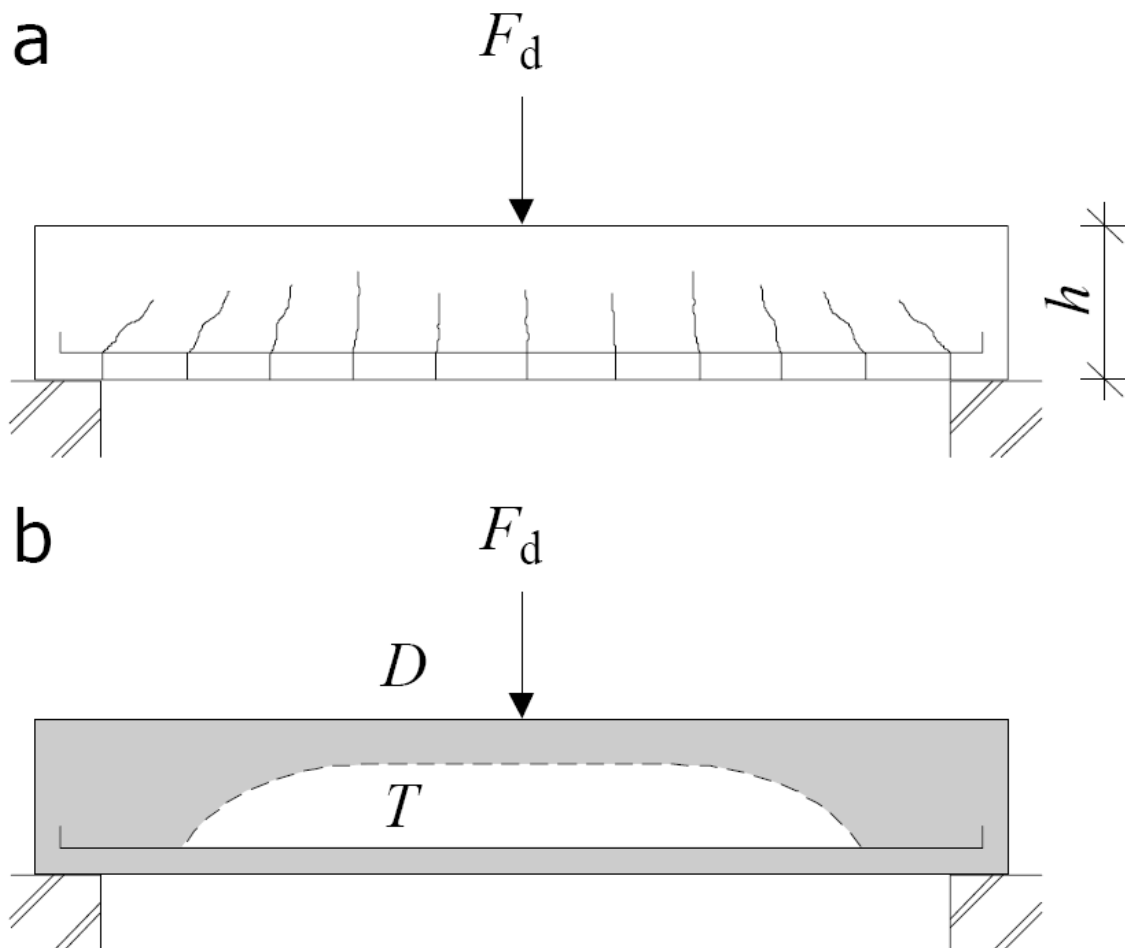


Week 07

Theorie: Beton kolommen en wanden

Slanke ligger

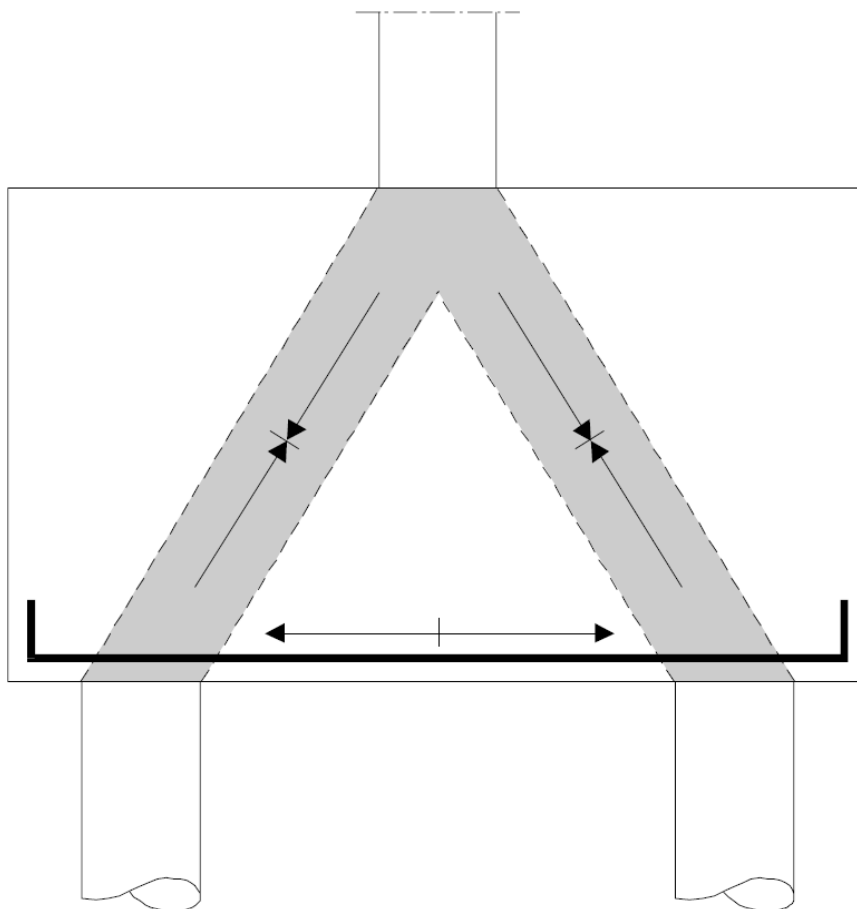


$L/h > 2$.

De krachtswerking wordt gekenmerkt door een combinatie van buiging en afschuiving., voor te stellen door het samenstel van een trekband en drukboog.

Gedrongen ligger

$$L \leq 2H$$



Als grote geconcentreerde lasten moeten worden afgedragen naar de steunpunten die niet direct onder de geconcentreerde last zijn geplaatst.

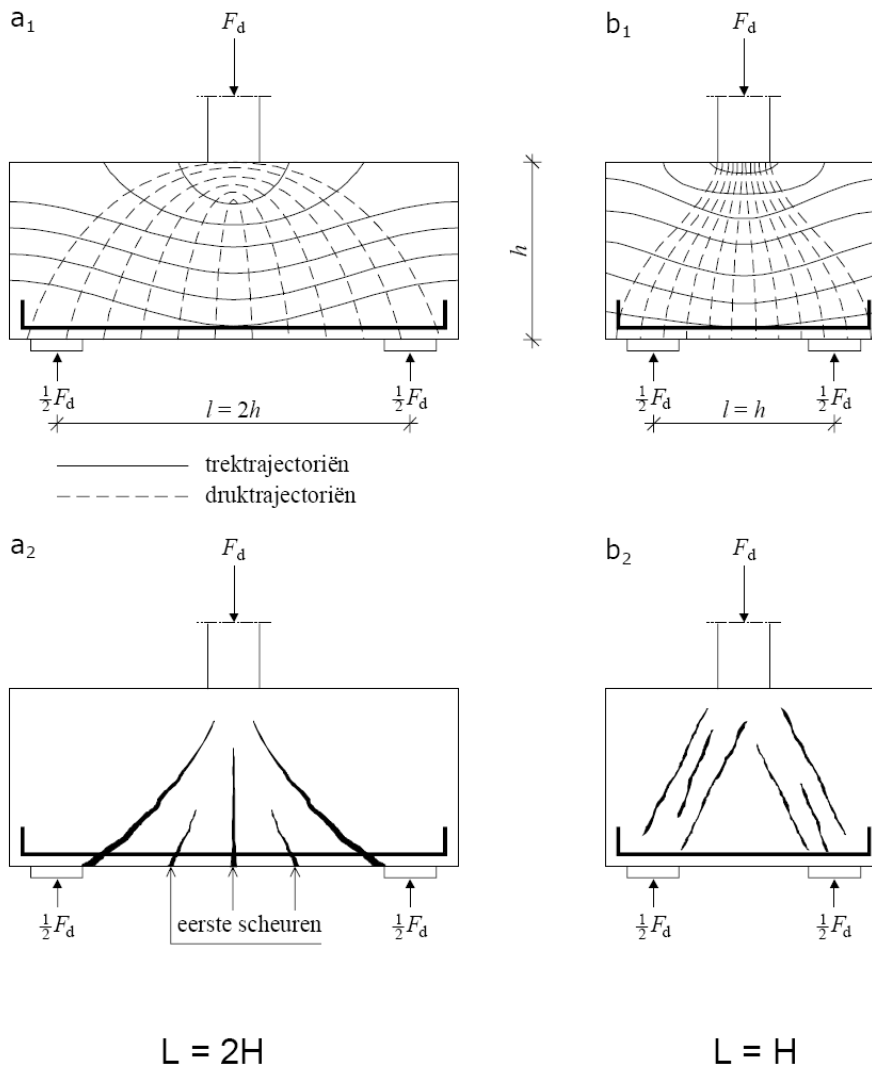
- Poeren
- Consoles
- Wandliggers

Hierbij is het afschuifdraagvermogen zeer groot.

Een deel van de belasting wordt via de drukdiagonalen rechtstreeks naar de opleggingen afgedragen.

Deze toename treedt vooral op als de afstand van de puntlast tot de ondersteuning kleiner is dan 2 tot 2 1/2 maal de hoogte van de ligger.

Vergelijking bezwijkbeeld gedrongen liggers



AFSCHUIFBUIGBREUK

AFSCHUIFTREKBREUK

Figuur a:

Belastingafdracht volgens drukboog-trekband-principe van de slanke ligger.
 Bij opvoeren belasting ontstaan er in het midden onder de balk verticale buigtrekscheuren.
 Bij verder opvoering, scheuren ontwikkelen zich steeds schuiner, ontstaat afschuifbreuk
 De balk bezwijkt doordat de scheuren de hoogte van de drukzone kleiner maakt.

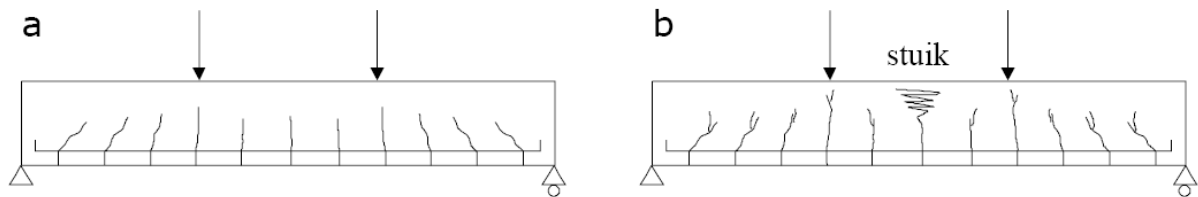
Figuur b:

De belasting wordt via de drukdiagonalen naar de ondersteuning afgevoerd.
 Bij opvoering belasting ontstaan geen buigtrekscheuren.
 Er ontstaan wel slijtscheuren in het lijf van de balk.
 Balk bezwijkt dus door een afschuiftrekbreuk.

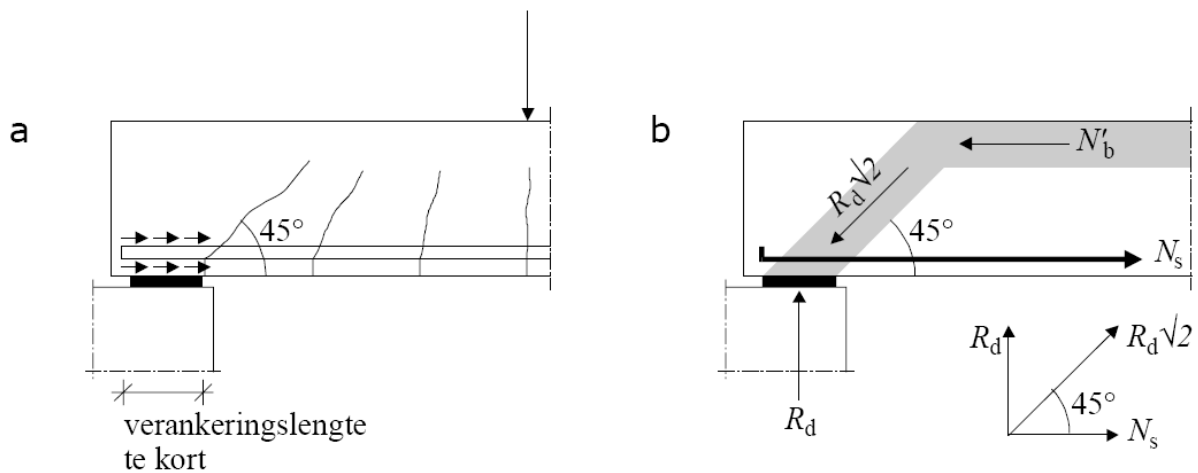
Voor gedrongen constructies geldt dat:

- De verankering van de trekwapening zodanig moet zijn, dat geen verankeringsbreuk kan ontstaan.
- Door afschuifbuig- en trekbreuk voldoende dwarskrachtwapening aanbrengen.
- Door afschuifdrukbreuk (bezwijken drukdiagonaal) voldoende dwarskrachtwapening aanbrengen.

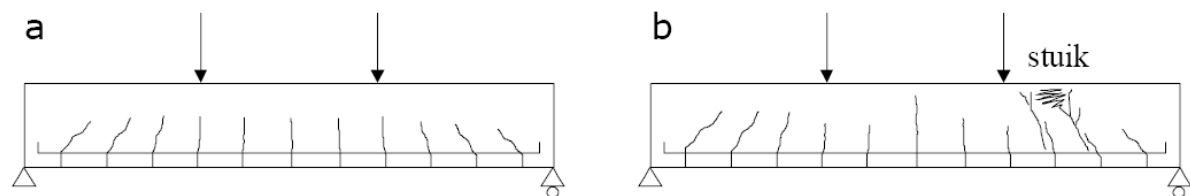
ZUIVERE BUIGBREUK:



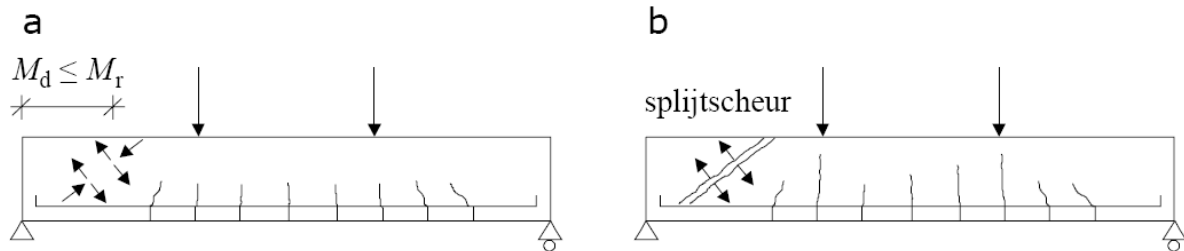
VERANKERINGSBREUK:



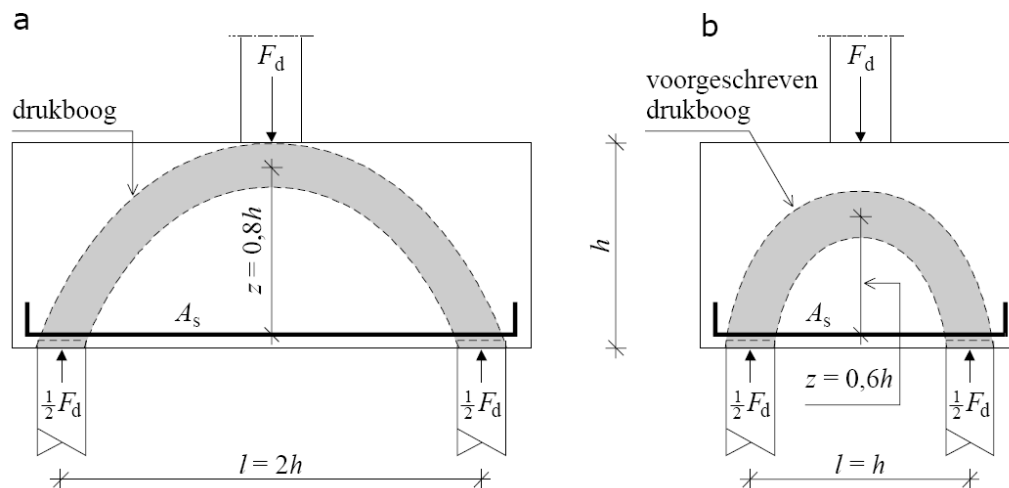
AFSCHUIFBUIGBREUK:



AFSCHUIFTREKBREUK:



DRUKBOOG – TREKBAND-PRINCIPE



Bij de ligger met $l=2h$ kan nog steeds worden benaderd door het drukboog-trekbandprincipe. De ligger met $l=h$ heeft een geknikt drukboog en lijkt dus meer op een vakwerk.

In de VBC is echter gekozen voor het druk-trekbandprincipe voor zowel slanke – als gedrongen liggers.

Daarom schrijft de VBC voor gedrongen liggers een waarde z voor (inwendige hefboomsarm), die voldoende is om bij een op buiging belaste gedrongen ligger het ontstaan van een stabiele, dus niet te steile drukboog te garanderen.

Voor statisch bepaalde gedrongen liggers:

$$Z = 0.2L + 0.4h > 0.6L$$

(L =theoretische overspanning, h = totale hoogte betondoorsnede)

Voor een gedrongen ligger met $L=2h$ komt dit neer op $z = 0.8h$.

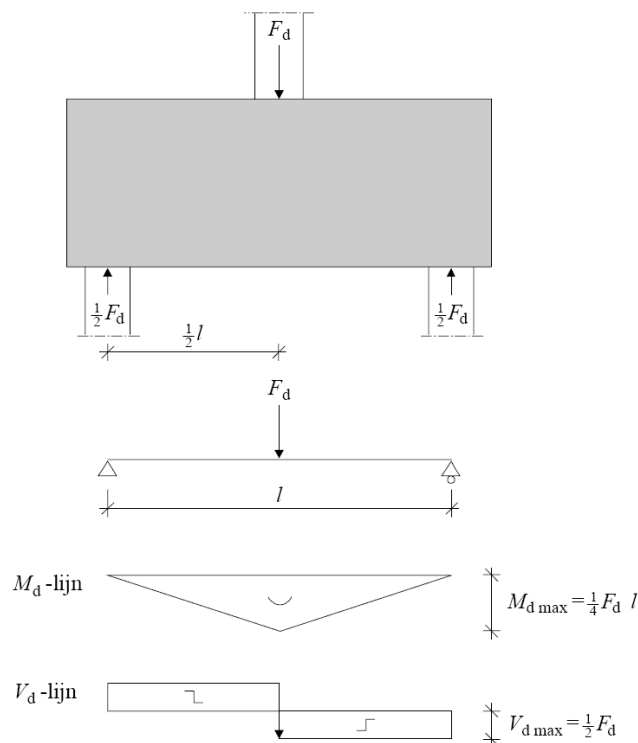
Dit komt overeen met $z=0.9d$ uit de benaderingsformule ($d=0.9h$)

Voor een gedrongen ligger met $L=h$ is de inwendige hefboomsarm, $z=0.6h$

De vereiste buigtrekwapening berekenen we dan met :

$$N_s = M_d/z, \text{ zodat: } A_s = M_d /z * f_s$$

Dwarskrachtcapaciteit



Bij gedrongen liggers is er vaak sprake van grote puntlasten, deze veroorzaken grote dwarskrachten in de constructie. Naarmate de boogwerking sterker is wordt de belasting meer rechtstreeks naar de ondersteuning afgedragen, het afschuifdraagvermogen zal dan toenemen.

Rekenwaarde schuifspanning;

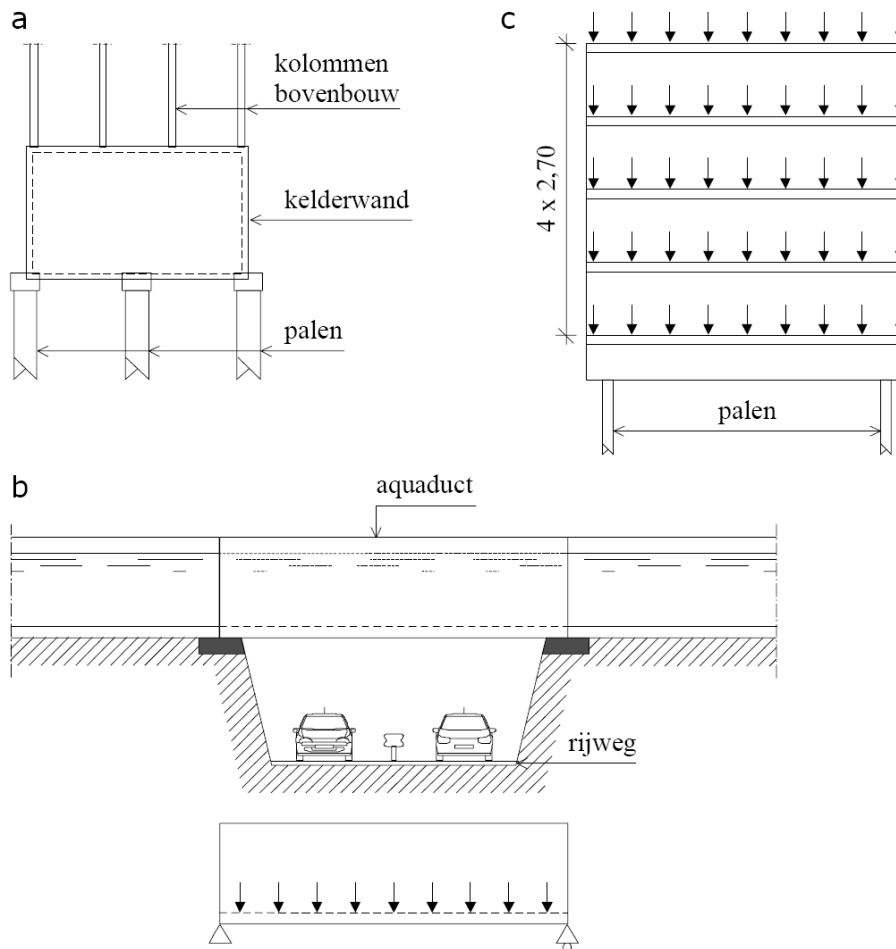
$$\tau_d = V_d/b_d$$

Bij gedrongen liggers stelt de VBC: **d = h**

Wandliggers

- Hoofdzakelijk verticaal in zijn vlak belast.
- Over zijn gehele lengte plaatselijk ondersteund vlak constructiedeel
- Theoretische overspanning klein t.o.v. de hoogte.
- Is een gedrongen ligger
- Rekenen op horizontale trek- en drukkrachten
- Constructiehoogte (h) en dus de inwendige hefboomsarm van belang.
- Buigstijve elementen

WANDLIGGERS:



- a. Kelderwand onder flatgebouw
b. Wand van een aquaduct
c. Bouwmuur in een flatgebouw



Schatten afmetingen

Dikte wand:

- Geluidsisolatie -> gestelde eisen aan de massa van de wand.
- Waterdichtheid

Dikte wand varieert meestal tussen de 200 en 300 mm.

Hoogte wand afhankelijk van de bouwkundige randvoorwaarde.

Rekenvoorbeeld #1

Gegeven:

Een betonwand in een flatgebouw wordt belast door een kolom.

Bovenkolom: 250 x 600 mm²

Ondersteunde kolommen: 250 x 400 mm²

Tussenliggende wand = wandligger

Wandligger: b x h = 250 x 4000 mm²

Theoretische overspanning wandligger = 3000 mm

Beton B45

Staalsoort FeB 500

Milieuklasse 2, controleerbaar

Lusverankering = Ø6

Betondekking = 25 mm

Belasting $F_d = 1200$ kN, $F_{rep} = 900$ kN

Gevraagd;

Benodigde wapening

Berekening:

$F_d = 1200$ kN

$R_a = R_b = 0,5 \times 1200 = 600$ kN

$V_a = V_b = V_d = 600$ kN

$M_{veld} = \frac{1}{4} \times 1200 \times 3 = 900$ kNm

$L/h = 3000 / 4000 = 0.75 < 2$: gedrongen ligger.



Minimum wapening (over de volledige hoogte van de gehele doorsnede)

Minimum-wapeningspercentage ($\overline{\omega}_{0 \min}$)

Bij onvoldoende wapening zal het betonstaal niet in staat zijn de trekkracht van het beton over te nemen en zal het staal breken. Een plotselinge toename van de belasting brengt dus het gevaar van een spontane breuk (brosse breuk) in het wapeningstaal met zich mee.

	B 15	B 25	B 35	B 45	B 55	B 65
FeB 220	0,26	0,34	0,41	0,48	0,56	0,63
FeB 400	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35
FeB 500	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27

$$A_{smin} = 0.21 * 0.25 * 4 * 104 = 2100 \text{ mm}^2$$

$$z = 0.2 L + 0.4h = 0.2 * 3 + 0.4 * 4 = 2.2 \text{ m} > 0.6L = 0.6 * 3 = 1.8 \text{ m}$$

$$A_{smin} = M_d / f_s * z = 900 * 10^6 / 435 * 1800 = 1150 \text{ mm}^2$$

(Het minimaal percentage bij wanden is over het algemeen veel groter dan rekenkundig benodigd, maak dan gebruik van de tweede voorwaarde)

Benodigde trekwapening:

$$A_{smin} = 1.25 * (M_d / f_s * z)$$

$$A_s = 1.25 * (900 * 10^6 / 435 * 1800) = 1437 \text{ mm}^2$$

We kiezen 8 Ø16, $A_s = 1608 \text{ mm}^2$

Controle scheurwijdte

Berekenen staalspanning

$$\sigma_s = M_{rep} / M_d * A_{sber} / A_{saanw} * f_s$$

$$\text{Verhouding } M_{rep} / M_d = F_{rep} / F_d = 900 / 1200 = 0.75$$

$$\sigma_s = 0.75 * ((1437 / 1.25) / (1608 * 435)) = 233 \text{ N/mm}^2$$

Toetsing scheurwijdte

De gekozen kenmiddellijn \emptyset_{km} van de hoofdtrekwapening moet kleiner of gelijk zijn aan de voorgeschreven waarde.

Maximale toelaatbare kenmiddellijn \emptyset_{km} voor geribd betonstaal.

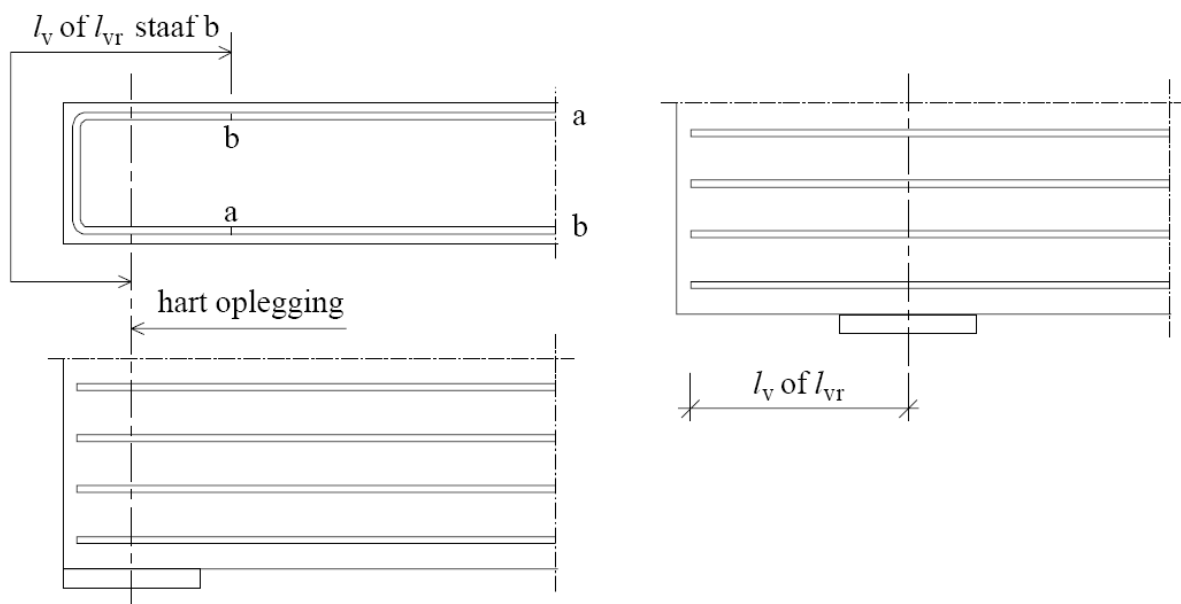
milieu- klasse	staalspanning σ_s (N/mm ²)							
	100	125	150	200	250	300	350	400
1	50	40	33	25	20	17	14	12
2	37	30	25	19	15	13	11	9
3 t.m.5	25	20	17	13	10	8	7	6

$19 - (4/50 * 33) = 16,4 \rightarrow \emptyset_{km} = 16.4 \rightarrow$ gekozen wapening voldoet.

Controle verankeringslengte

Doordat de bezwijkscheur bij puntvormige ondersteuning zich juist op of naast de oplegging ontwikkelt, zal de verankeringslengte van de trekwapening moeten worden bepaald vanaf de laatste scheur, dus vanuit het hart van de oplegging. In de praktijk wordt de verankeringslengte van de trekwapening daarom vanuit het hart van de paal berekend.

VERANKERING BUIGTREKWAPENING WANDLIGGER:

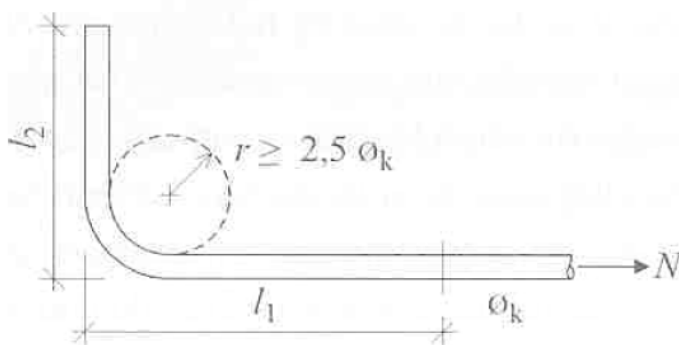


Tabel basisverankeringslengte

sterkteklasse	geribd staal				glad staal	
	FeB 500		FeB 400		FeB 220	
	$c/\varnothing_k = 1$	$c/\varnothing_k = 4$	$c/\varnothing_k = 1$	$c/\varnothing_k = 4$	$c/\varnothing_k = 1$	$c/\varnothing_k = 4$
B 15	52 \varnothing_k	35 \varnothing_k	42 \varnothing_k	28 \varnothing_k	46 \varnothing_k	31 \varnothing_k
B 25	40 \varnothing_k	27 \varnothing_k	32 \varnothing_k	22 \varnothing_k	36 \varnothing_k	24 \varnothing_k
B 35	34 \varnothing_k	23 \varnothing_k	27 \varnothing_k	18 \varnothing_k	30 \varnothing_k	20 \varnothing_k
B 45	30 \varnothing_k	20 \varnothing_k	24 \varnothing_k	16 \varnothing_k	27 \varnothing_k	18 \varnothing_k
B 55	27 \varnothing_k	18 \varnothing_k	22 \varnothing_k	15 \varnothing_k	24 \varnothing_k	16 \varnothing_k
B 65	25 \varnothing_k	17 \varnothing_k	20 \varnothing_k	13 \varnothing_k	22 \varnothing_k	15 \varnothing_k

Betondekking = 25 + 6 = 31 mm

31/16 = 1,94 -> uit tabel: 27 * 16 = 432 mm ($y = -0.3x + 10 \rightarrow y = 1.94$ en $x = 27$)



$$l_v = l_1 + l_2$$

$L2/432 = 0.9 \rightarrow L2 = 389$ mm, $L1 = 43$ mm

$L1$ aanwezig = 200 (hart oplegging) – 31 = 169 mm

169 > 43 -> ruim voldoende

Als beëindiging van de staven wordt gekozen voor een lusverankering, als alternatief kan gebruik gemaakt worden van haarspelden waaraan de buigtrekwapening wordt gelast.

De trekkracht moet door de bocht worden geleid, in de bocht ontstaan dan drukkrachten.
 Hoe groter de middellijn van de trekstang hoe groter de drukkrachten.
 Hierbij ontstaat het gevaar voor het splijten van beton in de bocht.
 Bij staven groter of gelijk dan 16 mm worden er dan ook beperkingen gesteld aan verankering achter de ombuiging en aan de buigstraal.

Bij een toegepaste buigstraal gelegen tussen de $2.5O_k$ en $5O_k$ geldt de verhouding:

$$l_z/l_v \leq f_b'/30$$

Tabel maximale verhouding l_z/l_v voor staven $O_k \geq 16$ mm

sterkteklasse	f'_b	l_z/l_v
B 15	9	0,30
B 25	15	0,50
B 35	21	0,70
B 45	27	0,90
B 55	33	1,00
B 65	39	1,00

Bepaling van de schuifspanning

$V_d = 600$ kN, $b = 250$ mm, $d = h = 4000$ mm, $c = 25$ mm

$$\tau_d = V_d / bd = 600 * 10^3 / 250 * 4000 = 0.6 \text{ N/mm}^2$$

Tabel τ_1

sterkteklasse	$0,4f_b$
B 15	0,36
B 25	0,46
B 35	0,56
B 45	0,66
B 55	0,76
B 65	0,86

$$\tau_1 = 0.66 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_1 < \tau_d \rightarrow 0.6 < 0.66 \rightarrow$ er hoeft geen dwarskrachtwapening te worden toegepast.

Detailering wapening:

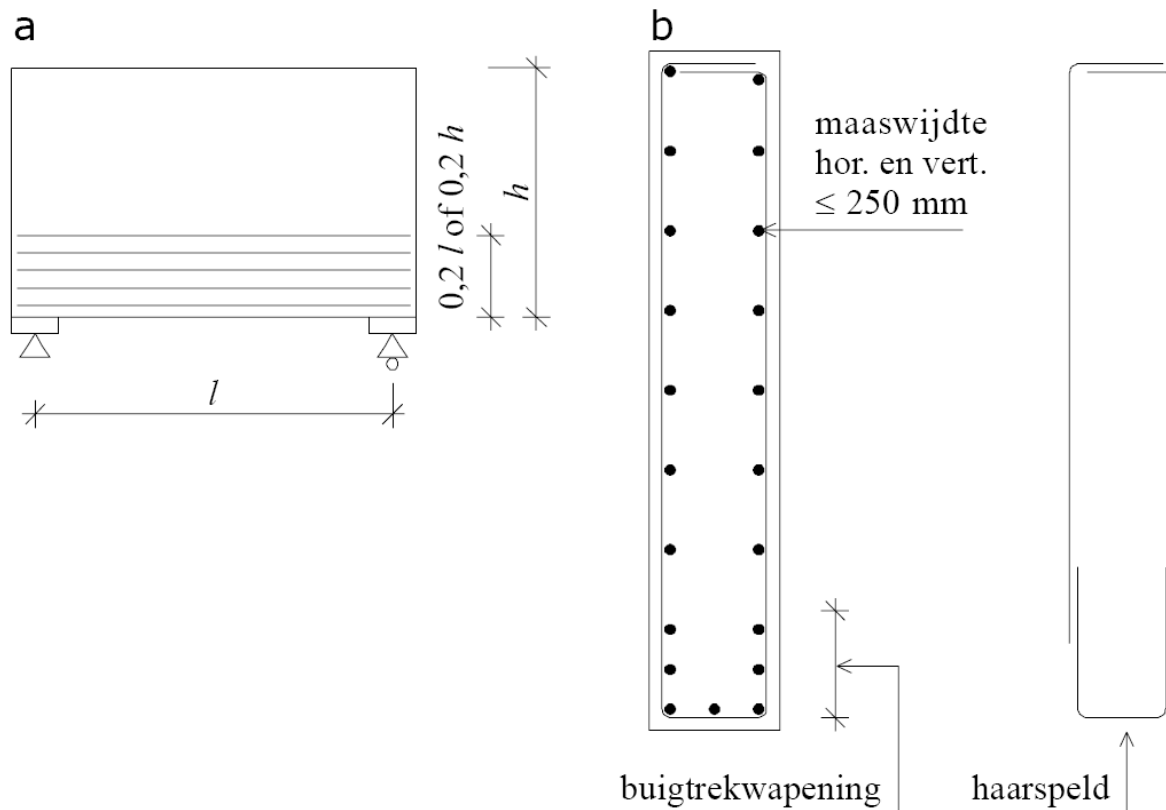
Vanwege de hoogte van de wandligger is de hoogte van de trekzone ook groot.

De VBC stelt daarom dat de hoogte van de trekwapening over een zekere hoogte moet worden verspreid, namelijk de kleinste waarde van:

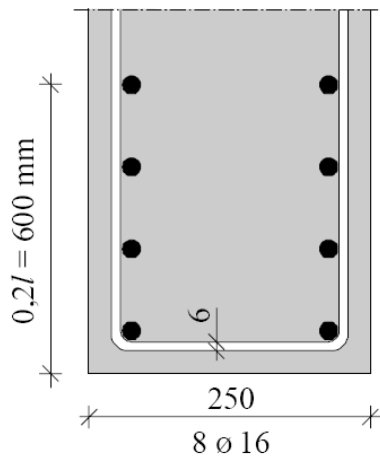
0.2L of 0.2h.

Indien de wapeningspercentage niet groter is dan 0.15% mag de veldwapening worden geconcentreerd in de onderzijde van de ligger (betrokken op de wanddoorsnede met een hoogte z).

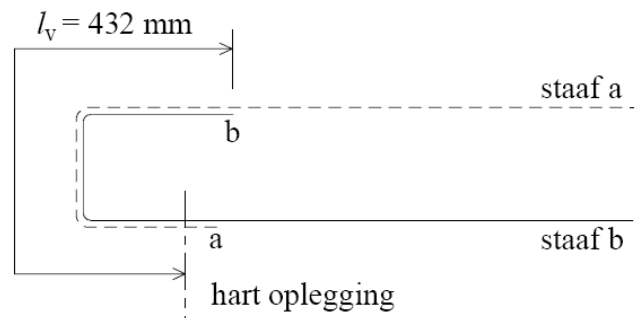
Boven de trekwapening moet aan beide zijden een wapeningsnet aanwezig zijn, met een maaswijdte (hor. en vert.) tenhoogste 250 m mag bedragen.



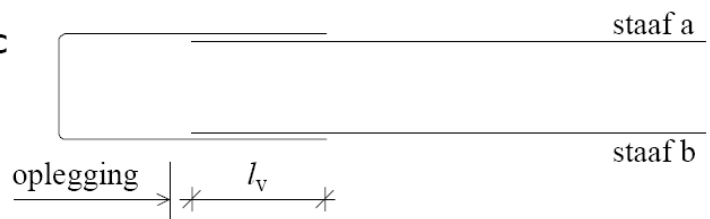
a



b



c





Krachtenverdeling met 2^e orde, de e_c -methode

⇒ **e_c -METHODE**

ALS NIET WORDT VOLDAAN AAN DE VOORWAARDEN VAN λ_h ,
MOET WEL HET TWEDE-ORDE EFFECT IN REKENING WORDEN
GEBRACHT.

HOE ????

- 'Rekentruc' → e_c -methode
 - maak een eerste-orde berekening
 - verwerk het 2^e- orde effect middels een 'toeslagexcentriciteit'

De beginexcentriciteit e_0 wordt vergroot met een toeslagexcentriciteit e_c :

$$e_t = e_0 + e_c$$



De waarde van e_c is afhankelijk van:

- de aard van de belasting → de grootte van het moment en de normaalkracht die uit de eerste-orde berekening volgen.
 - de randvoorwaarden → de mate van inklemming ter plaatse van de aansluiting met de resterende constructie
 - de lengte van de kolom
 - de vorm van de doorsnede
 - de materiaaleigenschappen van beton en staal
 - de hoeveelheid en de plaats van de wapening
-
- Het verwerken van al deze parameters in één formule leidt tot zeer complexe formulering.
 - Ten koste van enige nauwkeurigheid zijn de formules van de e_c -methode afhankelijk gesteld van de eerste vier voorwaarden.
 - De toeslagexcentriciteit is dus onafhankelijk gesteld van het wapeningspercentage en de sterkteklasse.
 - Toepassing van de formules leidt tot veilige waarden.

⇒ dit leidt weliswaar tot een zwaardere constructie dan nodig, maar het voordeel is bij deze rekenmethode dat de wapening niet vooraf bekend hoeft te zijn.

Voorwaarde:

- De wapening en de doorsnede mag over de lengte van het constructiedeel niet variëren.
- $e_t = (e_0 + e_c)\xi \leq e_0$

e_t = de excentriciteit in de eindtoestand: $e_t \geq 0,10 \cdot h$

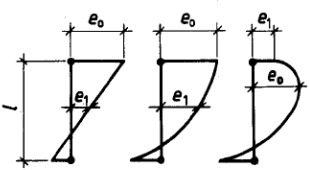
e_0 = de grootste eerste-orde beginexcentriciteit:

$$e_0 = M_d / N'_d \geq l/300 \leq 10 \text{ mm.}$$

e_c = de toeslagexcentriciteit

L = theoretisch ongesteunde lengte van constructiedeel

ξ = de factor die de invloed van de kop- en voetinklemming in rekening brengt

belastingsschema's	ξ	e_c
	$\xi = 0,5 \left(1 + \frac{e_1}{e_0} \right) \leq 0,75$	als $e_0 < 0,5h$: $e_c = 3[1,5h + e_0(4\psi - 3)] \left(\frac{ql_c}{100h} \right)^2$ als $e_0 \geq 0,5h$: $e_c = 6h\psi \left(\frac{ql_c}{100h} \right)^2$

ψ = factor die de vorm van de doorsnede in rekening brengt:

rechthoekige doorsnede: $\psi = 1,0$

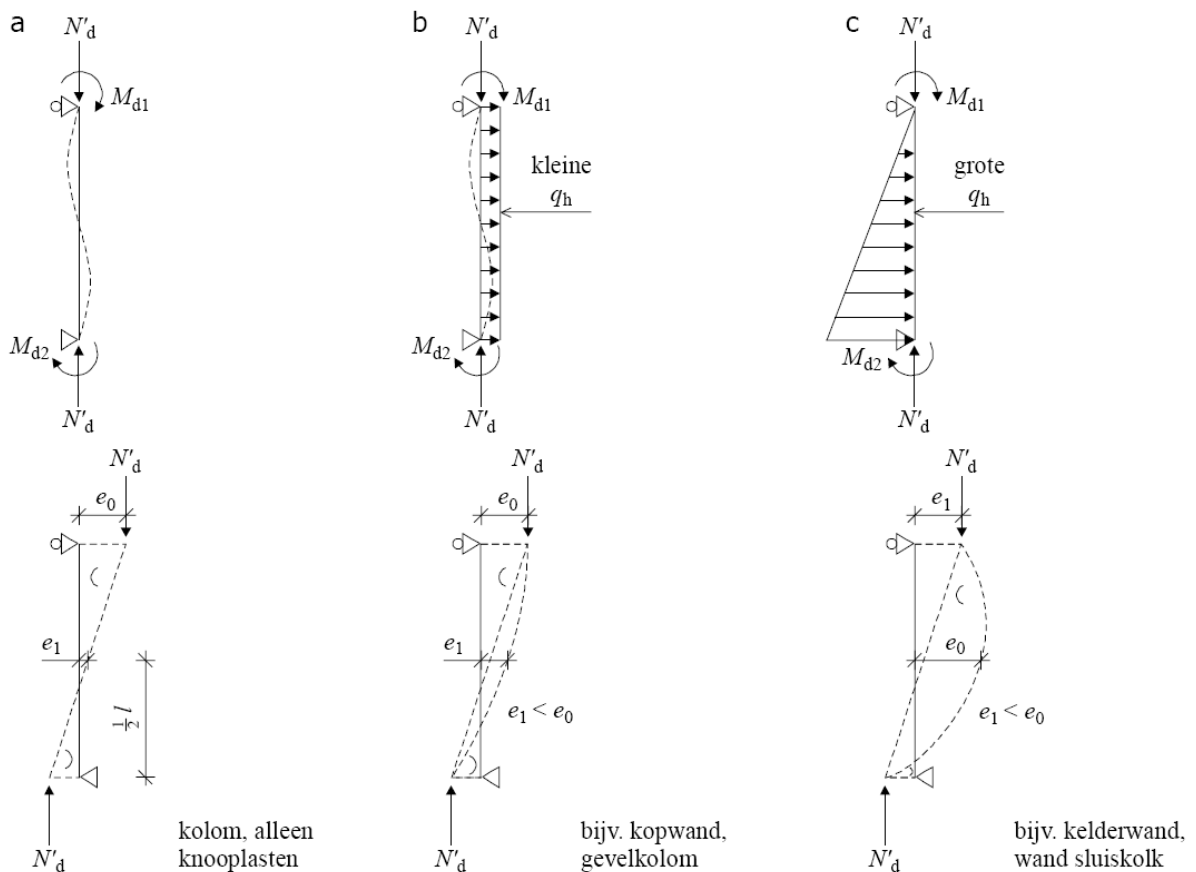
circelvormige doorsnede: $\psi = 1,31$

ρ = reductiefactor voor de kniklengte van wanden
2-,3- of 4-zijdig gesteund

VERKLARING VAN DE BELASTINGSCHEMA'S

De belastingschema's gelden achtereenvolgens voor:

- tussenkolom (-wand)
- kolom (wand) met een kleine horizontale belasting
- wand met een grote horizontale belasting



IN DE FACTOR ξ IS DE INVLOED VAN DE RANDVOORWAARDEN DE AARD VAN DE BELASTING VERREKEND.

pendel

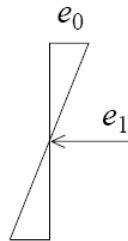


$$e_1 = e_0 = 0$$

$$\xi = 0,5(1 + \frac{e_1}{e_0}) \leq 0,75$$

$$\xi = 0,5(1 + \frac{e_0}{e_0}) = 1$$

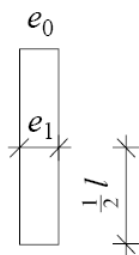
'ideale' gevelkolom



$$e_1 = 0$$

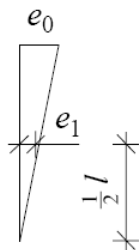
$$\xi = 0,5(1 + \frac{0}{e_0}) = 0,5 \rightarrow 0,75$$

(ook voor monoliete middenkolom)



$$e_0 = e_1$$

$$\xi = 0,5(1 + \frac{e_0}{e_0}) = 1$$



$$e_1 = \frac{1}{2} e_0$$

$$\xi = 0,5(1 + \frac{\frac{1}{2} e_0}{e_0}) = 0,75$$

Gegeven:

$$N'_d = 1000 \text{ kN}$$

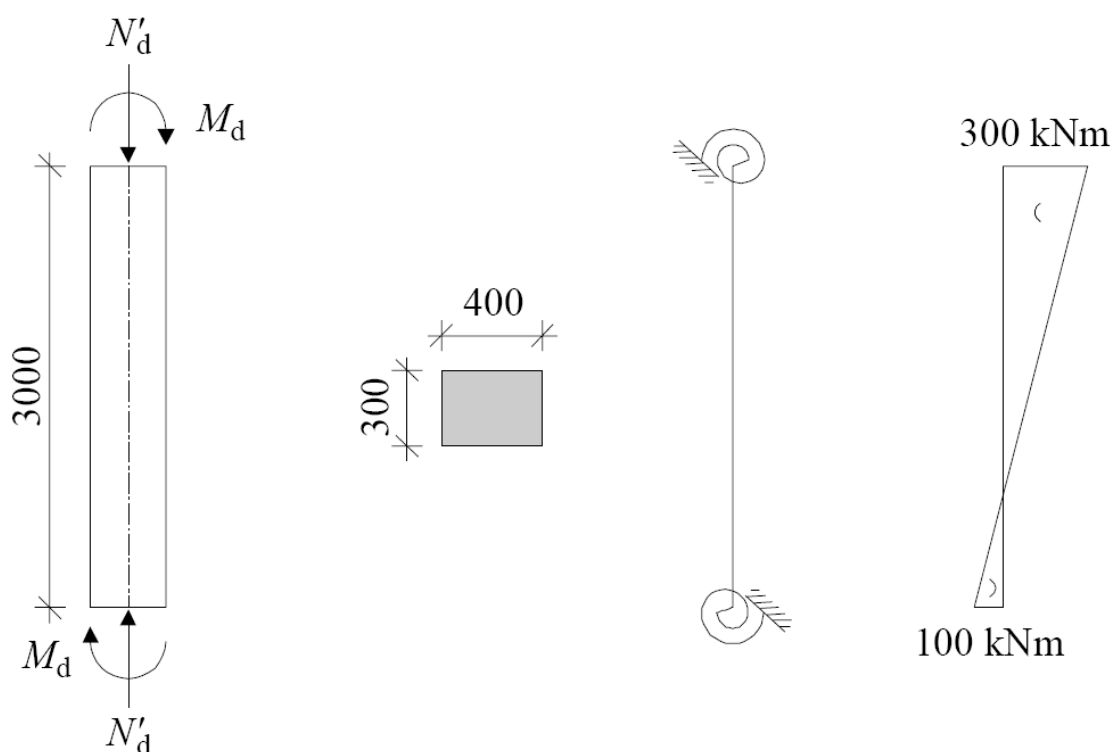
$$M_{d;\text{boven}} = 300 \text{ kNm}$$

$$M_{d;\text{onder}} = 100 \text{ kNm}$$

Beton B25

Staal FeB 500

Betondekking $c = 30 \text{ mm}$.





- In feite moet ook loodrecht op de buigingsrichting gecontroleerd worden

- De wapening ligt bij tweezijdig wapenen niet in die richting, terwijl de kolom in die richting vaak veel slanker is.

- Omdat loodrecht op de buigingsrichting geen wapening aanwezig is, kan de kolom t.p.v. de aansluitingen (kop en voet) geen momenten opnemen. Dus de kolom uitrekenen als een pendelstaaf $\rightarrow \ell_{\text{knik}} = \ell_{\text{systeem}} = 3000 \text{ mm}$.

Vervolgens gaan we kijken of er een tweede-orde berekening gemaakt moet worden.

$$\alpha_n = \frac{N'_d}{A_b f'_b} = 0,56; \alpha_n > 0,5.$$

Bij $\alpha_n = 0,56$ is $\lambda_h = 9,4$.

De aanwezige slankheid is: $\lambda_h = \frac{l_c}{h} = \frac{1,0 \cdot 3000}{300} = 10,0 > 9,4$.

Dit betekent dat nu wel een tweede-orde berekening moet worden gemaakt.

$$e_0 = \frac{M_d}{N'_d}; \text{ daar er in deze buigingsrichting geen moment werkt, geldt: } e_0 = 0 \text{ mm.}$$



$$e_{0 \min} \geq \frac{l}{300} = \frac{3000}{300} = 10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm, zodat } e_0 = 10 \text{ mm moet worden aangehouden.}$$

Vervolgens bepalen we met behulp van de e_c -methode de tweede-orde krachtsverdeling.
 $e_0 = 10 \text{ mm} < 0,5 h$, zodat geldt:

$$e_c = 3 [1,5 h + e_0 (4\psi - 3)] \cdot \left(\frac{\rho l_c}{100 h} \right)^2$$

waarin:

$$h = 300 \text{ mm};$$

$$e_0 = 10 \text{ mm};$$

$$\psi = 1,0 \text{ (rechthoekige doorsnede);}$$

$$\rho = 1,0 \text{ (tweezijdig gesteund);}$$

$$l_c = 3000 \text{ mm.}$$

$$e_c = 3 [1,5 \cdot 300 + 10 (4 - 3)] \cdot \left(\frac{3000}{100 \cdot 300} \right)^2 = 13,8 \text{ mm.}$$

Vervolgens bepalen we de excentriciteit in eindtoestand uit:

$$e_t = (e_0 + e_c) \xi \leq e_0$$

waarin:

$$e_0 = 10 \text{ mm};$$

$$e_c = 13,8 \text{ mm};$$

$$\xi = 1,0.$$

$$e_t = (10 + 13,8) 1,0 = 23,8 \text{ mm} > e_0 = 10 \text{ mm.}$$

Ook nu moeten we de ondergrenswaarde van e_t toetsen:

$$e_t \geq 0,10 h = 0,10 \cdot 300 = 30 \text{ mm.}$$

Conclusie: $e_t = 30 \text{ mm.}$

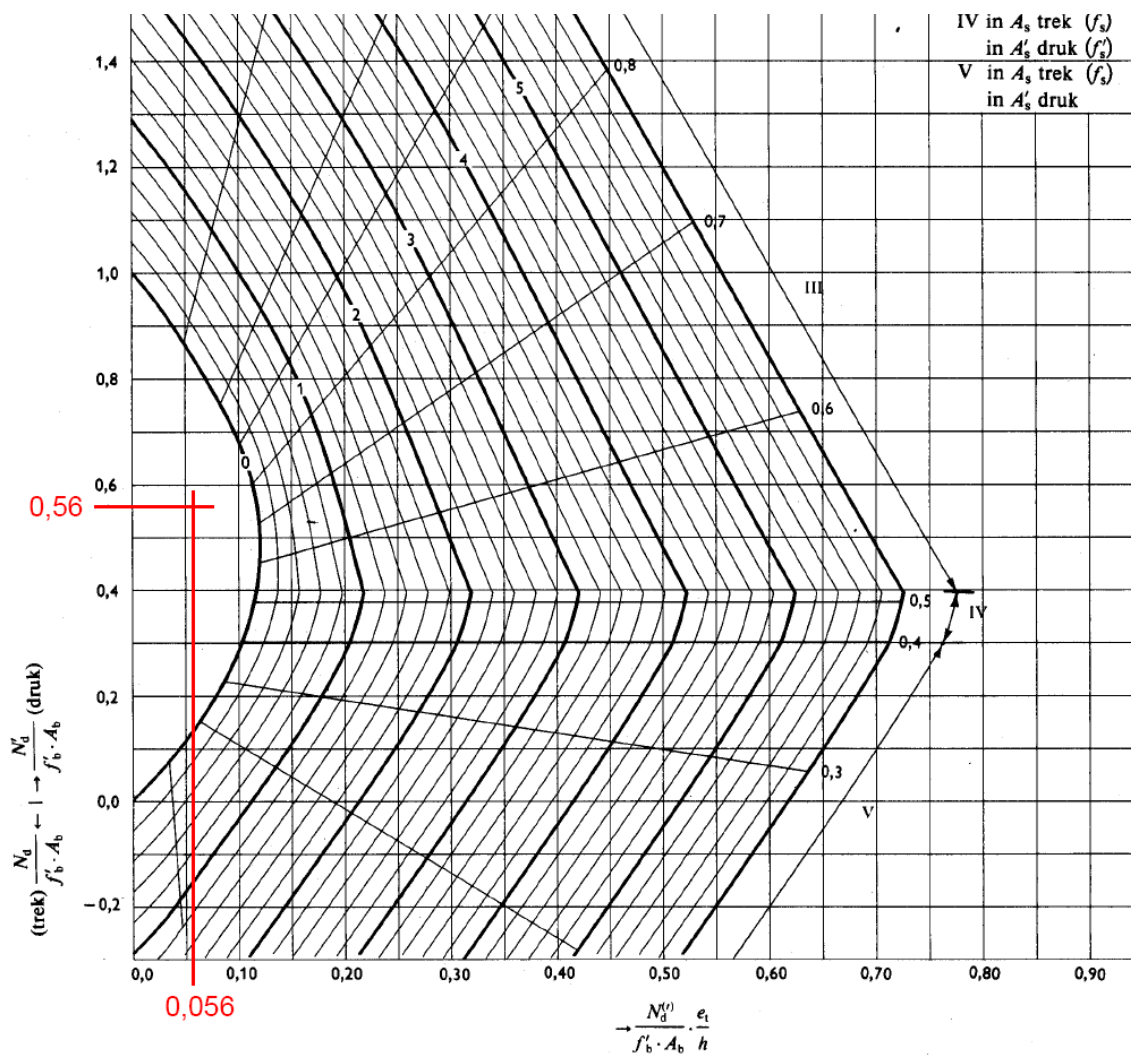
We berekenen de factoren: $\frac{a}{h}$, $\frac{N'_d}{f'_b A_b}$ en $\frac{N'_d}{f'_b A_b} \cdot \frac{e_t}{h}$.

$$a = 50 \text{ mm.}$$

$$a/h = 50/300 = 0,166 \text{ neem tabel } a/h = 0,15.$$

$$\frac{N'_d}{f'_b A_b} = \frac{1000 \cdot 10^3}{15 \cdot 300 \cdot 400} = 0,56.$$

$$\frac{N'_d}{f'_b A_b} \cdot \frac{e_t}{h} = 0,56 \cdot \frac{30}{300} = 0,056.$$

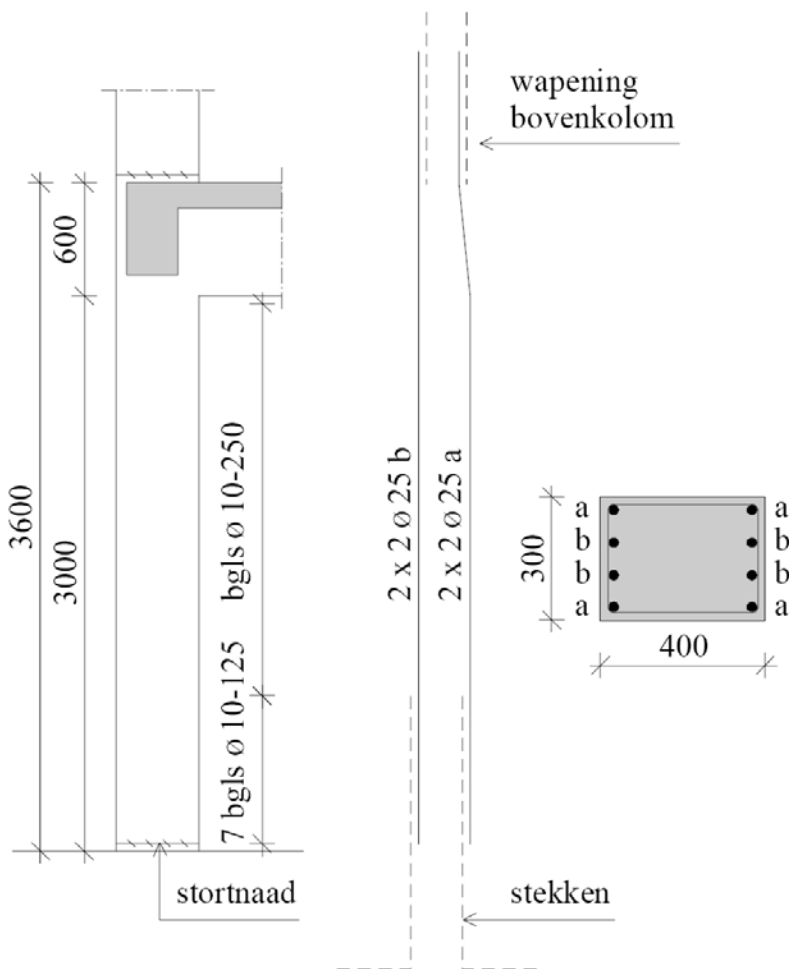


Afgelezen wordt $\omega_0 t = 0\%$

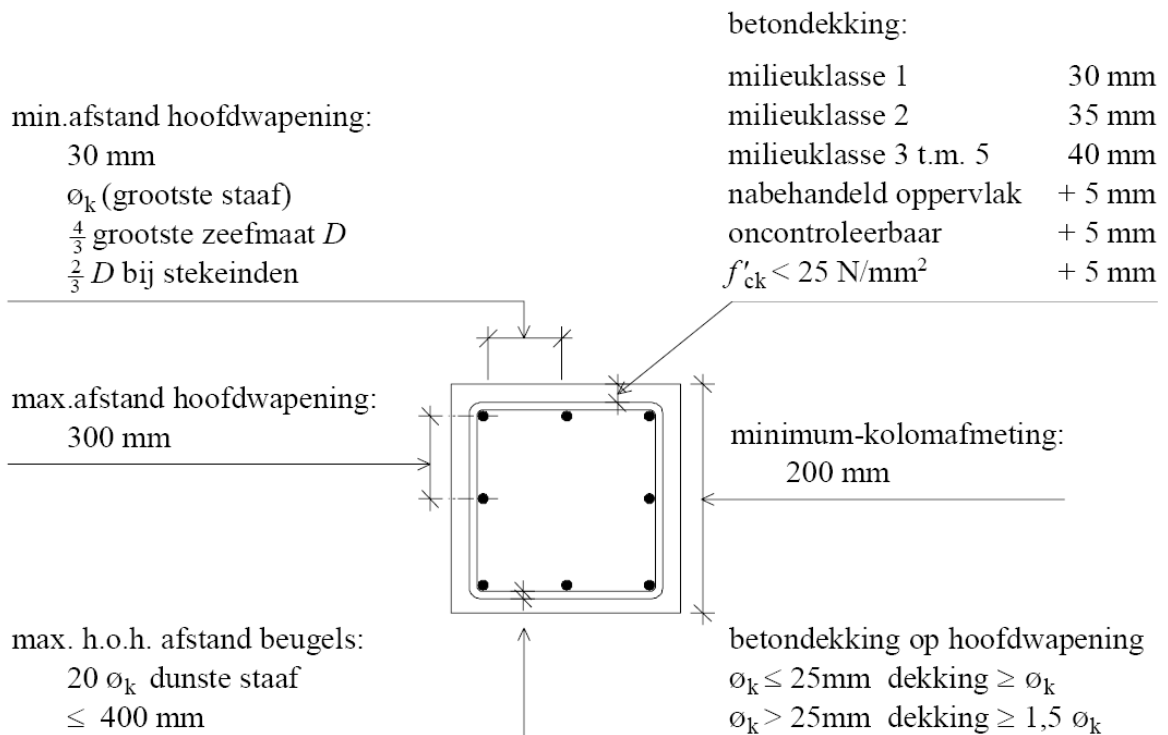
Conclusie:

Loodrecht op de buigingsrichting is dus geen extra wapening nodig.

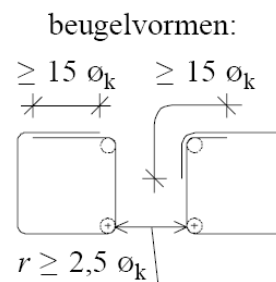
WAPENING KOLOM:



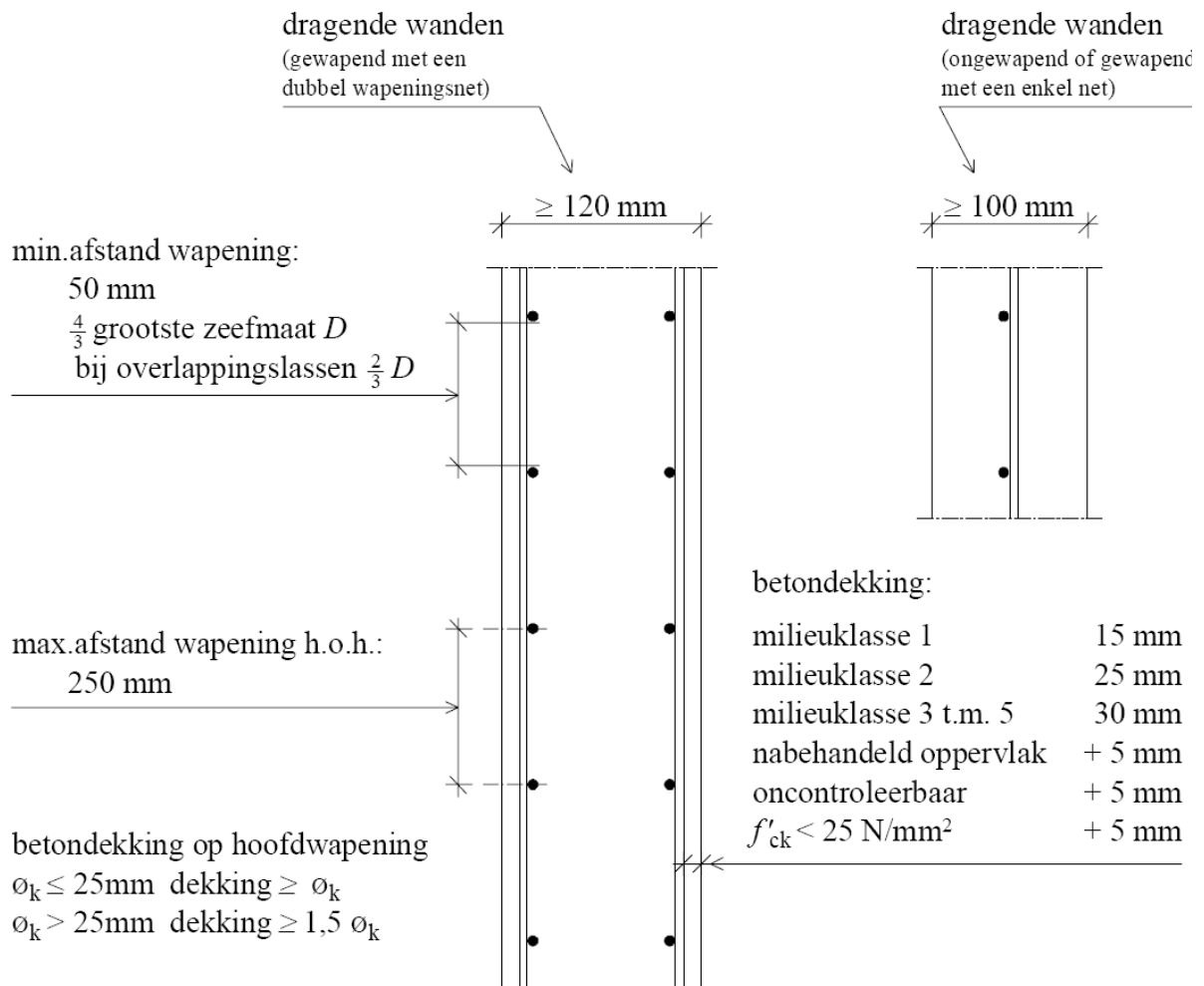
EISEN AAN DE KOLOMWAPENING VOLGENS DE VBC



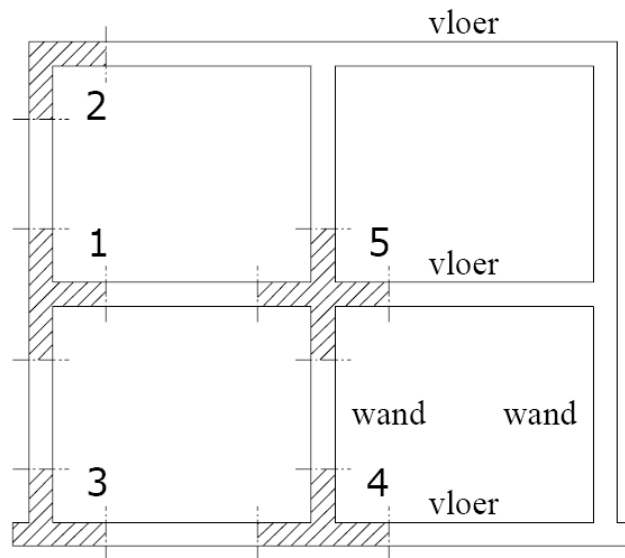
	minimum ϕ_k in mm	
	FeB 500 staven	FeB 500 wapeningsnetten
hoofdwapening	10	8
beugels	5	5



EISEN AAN DE WANDWAPENING VOLGENS DE VBC



WAPENINGSDETAILS VOOR WAND- EN VLOERAANSLUITINGEN



wand - vloer aansluitingen

