

Hoofdstuk 2:

Berekenen van betonsamenstellingen



Berekenen van betonsamenstellingen

A: Inventarisatie van de eisen

B: Keuze van de materialen

C: Ontwerpen van:

1. Traditioneelbeton (**herhaling + aanvullingen**)
2. Zelfverdichtendbeton
3. Aardvochtigebeton

} Geldt voor alle
betontypen,
zie dictaat BBT

Verschillen in ontwerpbenadering zijn consistentie afhankelijk.

Traditioneel beton

Algemeen stappenplan

stap 1. Benodigde gemiddelde druksterkte

$$f_{cm,28} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$$

bij gespecificeerde gemiddelde vroege sterkte

$f_{cm,j}$ is gegeven

stap 2. Rekenwaarde voor normsterkte cement

N_{28} is afhankelijk van gekozen cement (zie tabel)

N_j volgens tabel na j dagen

Traditioneel beton

stap 3. Water-cementfactor vaststellen

Sterkte:

$$f_{cm,j} = 0,8 \times N_j + 25/wcf - 45$$

Duurzaamheid:

milieuklasse(n) met maximaal toelaatbare wcf

in ontwerp laagste wcf - 0,02

Bepaal maatgevende wcf voor ontwerp

Traditioneel beton

stap 4. Bereken toeslagmaterialen mengsel

Gebruik volgende formule bij twee korrelverdelingen

$$P_z = \frac{M_x - G_x}{Z_x - G_x} \times 100 \%$$

$$P_g = 100 - P_z \%$$

stap 5. Controleer ontwerpgebied

Bereken korrelgrootteverdeling met percentages zand en grind en controleer ontwerpgebied

Traditioneel beton

stap 6. Bepaal waterbehoefte

Ontwerpgebied, grootste korrelafmeting en gewenste consistentie zijn bepalend.

stap 7. Bereken cement- of bindmiddelgehalte

$C = W/wcf$ of $B = W/wbf$ met controle

stap 8. Bereken te doseren grondstoffen

Uitleveringsberekening

stap 9. Maak afweegstaat voor mengmeester

Correcties hoeveelheden door vocht en absorptie.

Traditioneel beton

stap 10. Controleberekeningen

Hoeveelheid fijn materiaal $< 0,250$ mm

Chloridegehalte

Alkaligehalte

Invloed van **extra lucht** op sterkte

Luchtgehalte van traditioneel beton tot en met 2% heeft geen invloed op de sterkte.

Bij gebruik van luchtbelvormer neemt luchtgehalte toe.

Elk % boven 2% veroorzaakt sterkteverlies van 5%.

Bij berekenen van gemiddelde sterkte :

$$f_{cm,L} = \frac{f_{cm}}{0,95^{(L-2)}} \quad (\text{met } L > 2)$$

Rekenen met **vroege sterkte**

Voor gewenste gemiddelde sterkte na 1, 2 of 7 dagen rekenen met normsterkte na resp. 1, 2 of 7 dagen volgens opgave van leverancier.

Dus bij een gemiddelde sterkte na 2 dagen van 25 N/mm² en een $N_2 = 18$ N/mm²:

$$f_{cm} = 25 = 0,8 \times 18 + 25/wcf - 45 \text{ ® } wcf = 0,45$$

Rekenen met **cementmengsels**

Bij gebruik van meerdere cementsoorten rechtlijnig interpoleren:

Voorbeeld:

80 % met $N = 46 \text{ N/mm}^2$ en 20% met $N = 63 \text{ N/mm}^2$
mengsel heeft normsterkte van

$$N_{\text{mengsel}} = 0,8 \times 46 + 0,20 \times 63 = 49 \text{ N/mm}^2$$

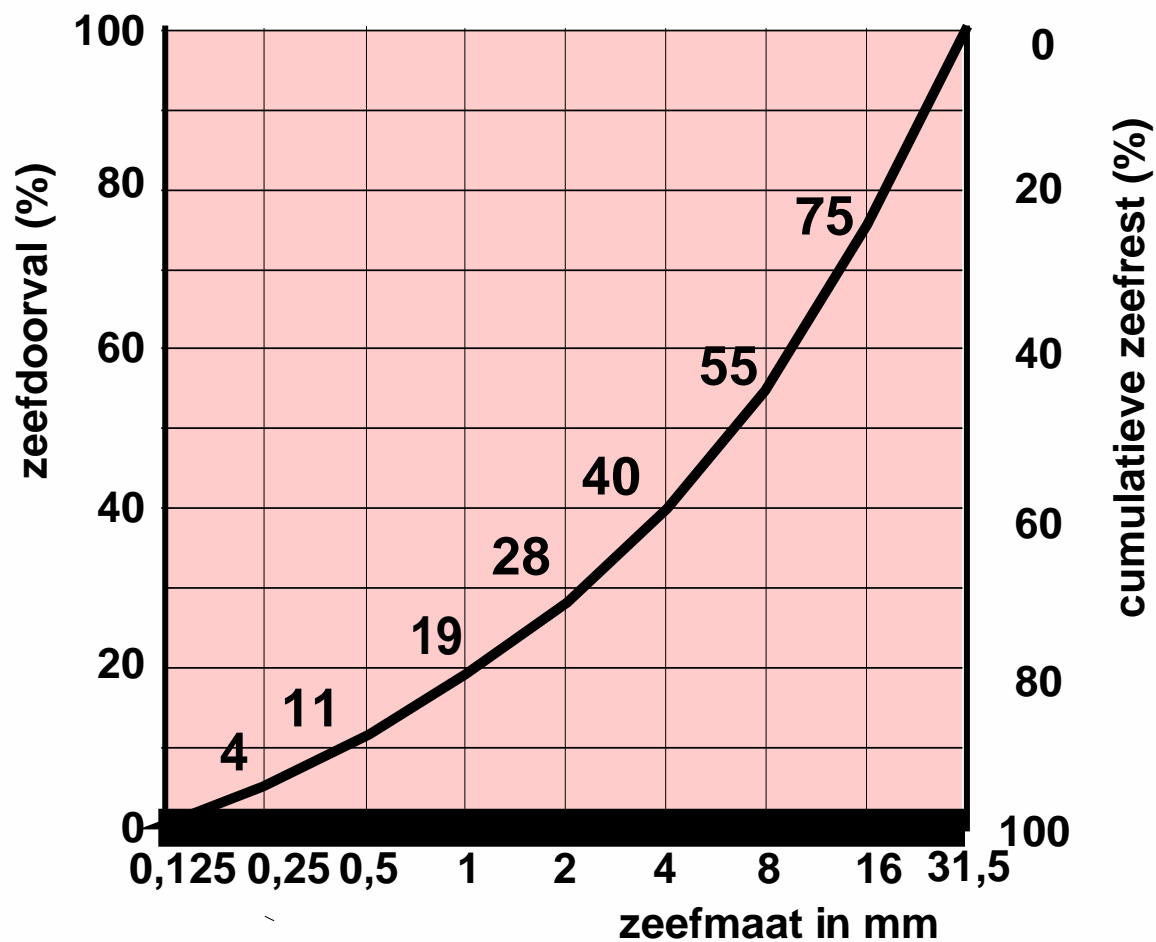
Mengsels van toeslagmaterialen

Grafische methode

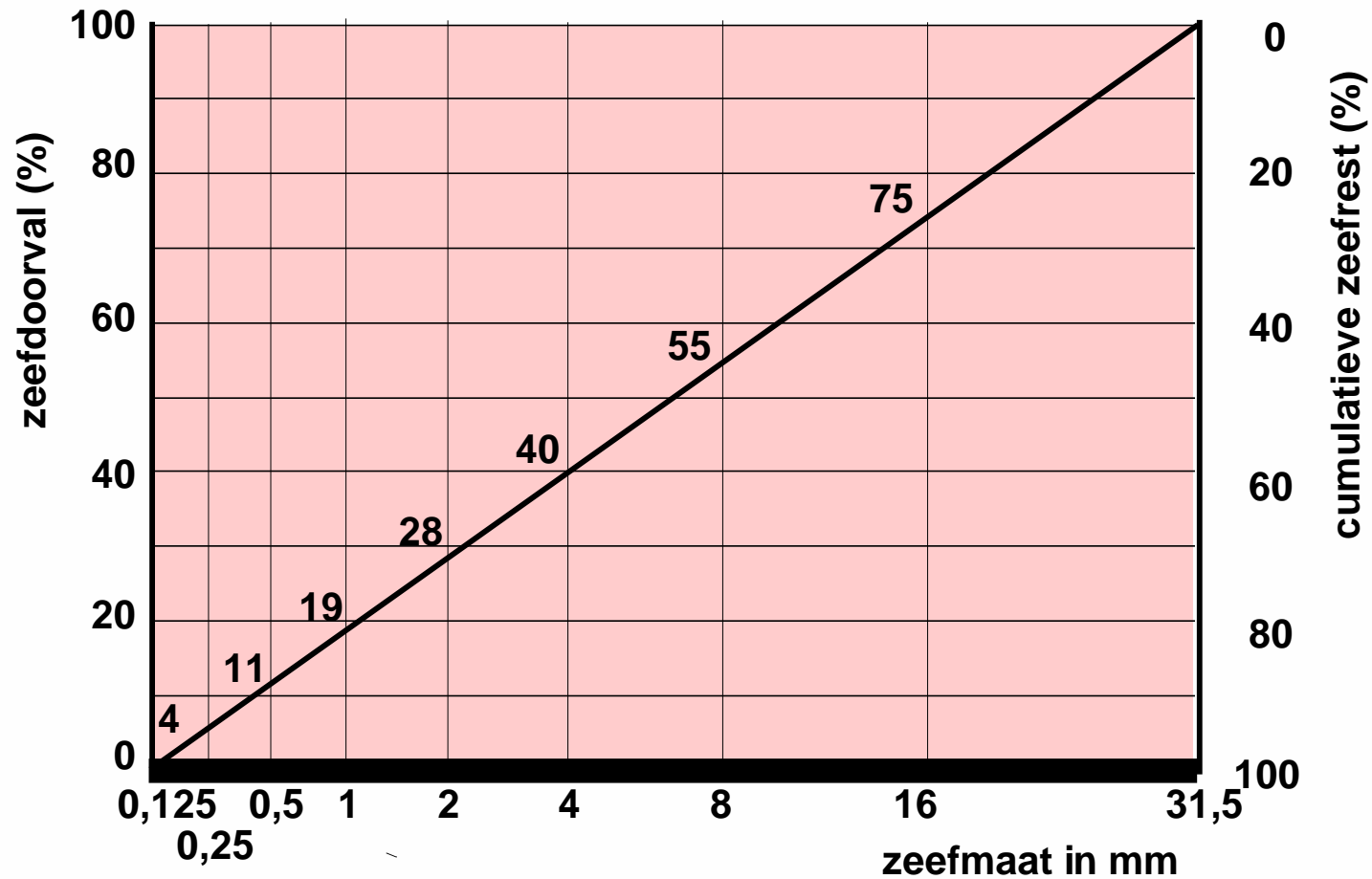
Ideale korrelgrootteverdeling van log-schaal naar rechte lijn.

Van kleinste zeefopening van fijnste korrelgroep (linksonder) naar grootste zeefopening van grofste korrelgroep (rechtsboven).

'Ideale' korrelgrootteverdeling op log-schaal

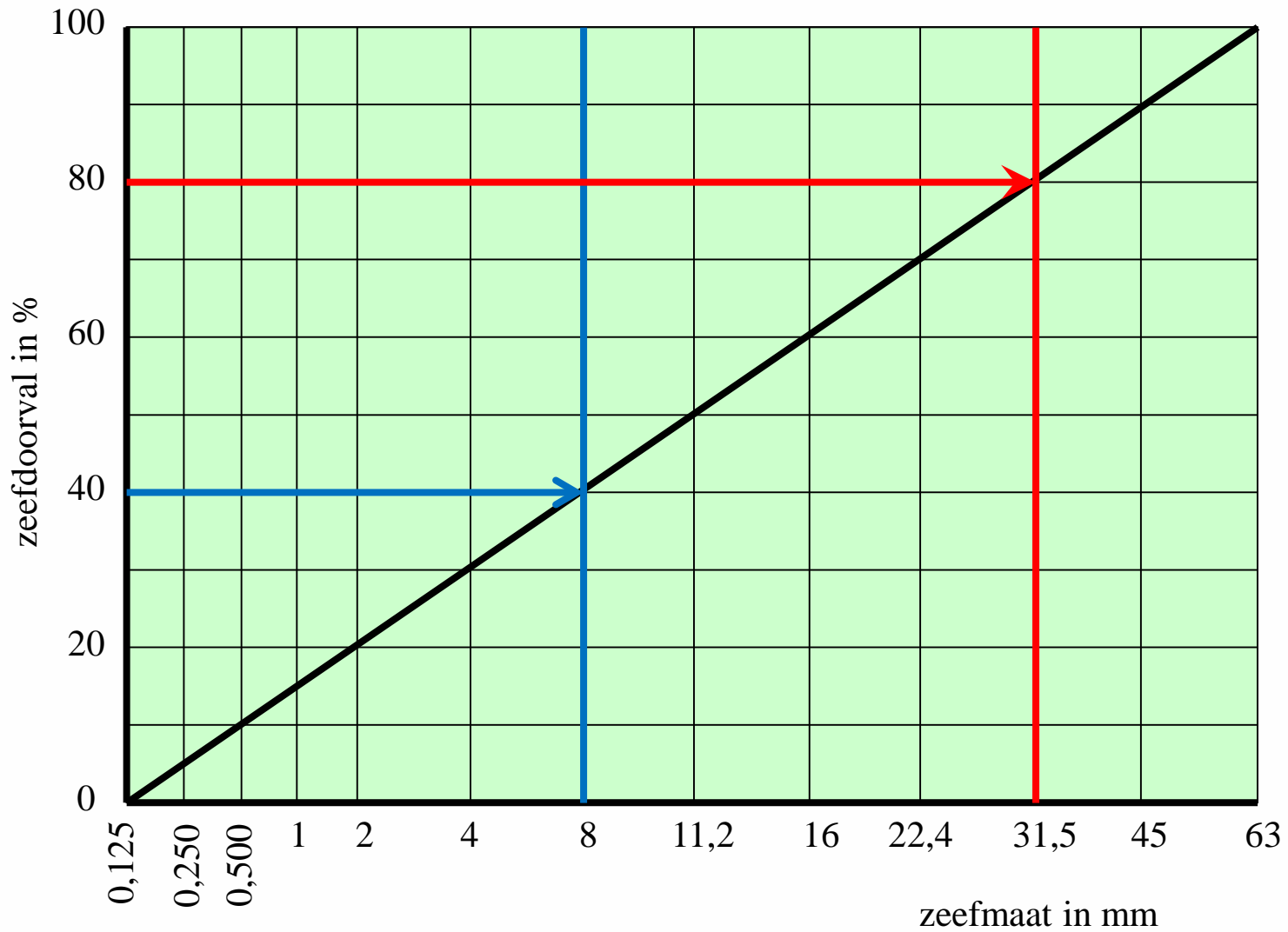


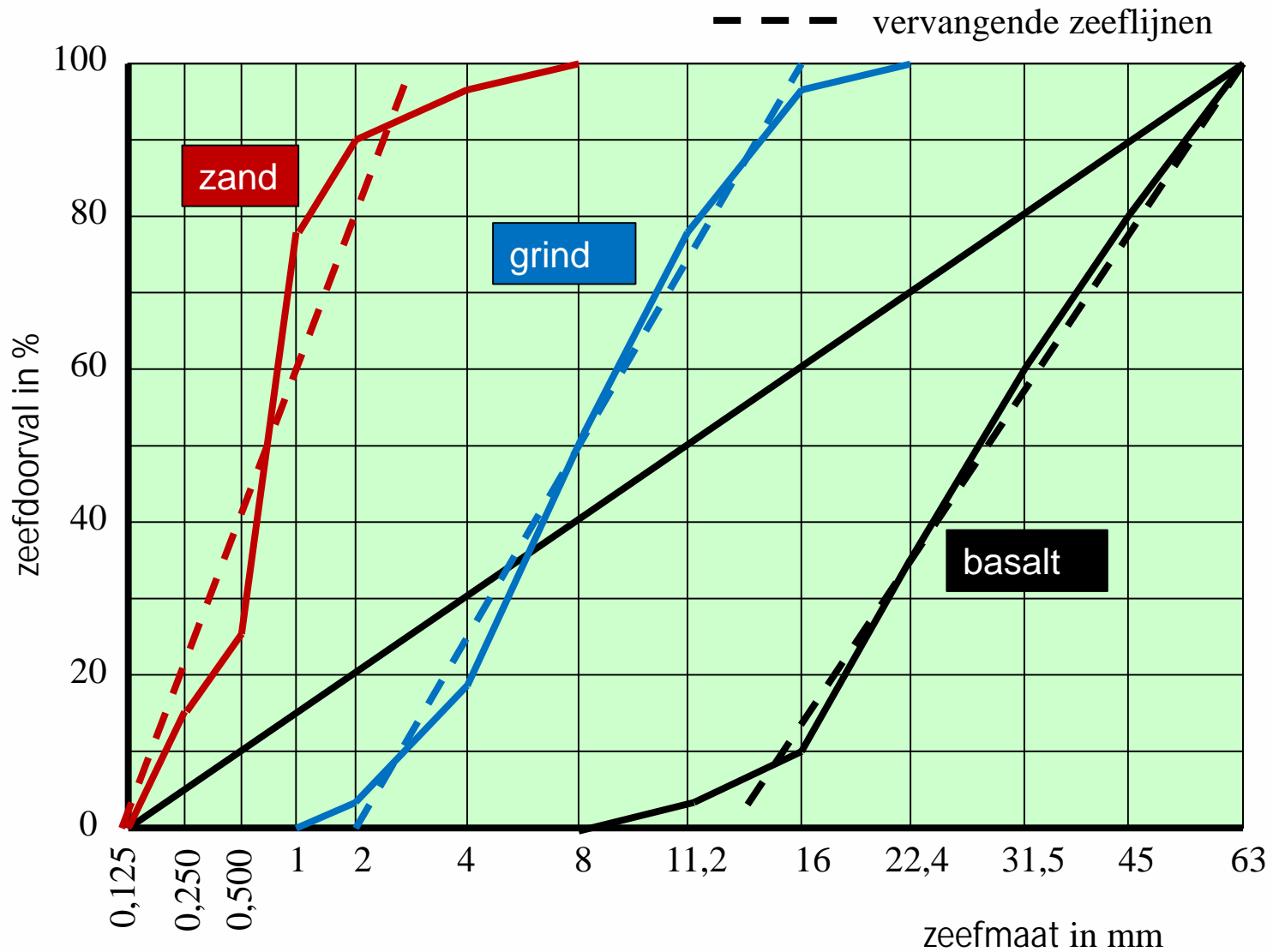
Ideale korrelverdeling als rechte

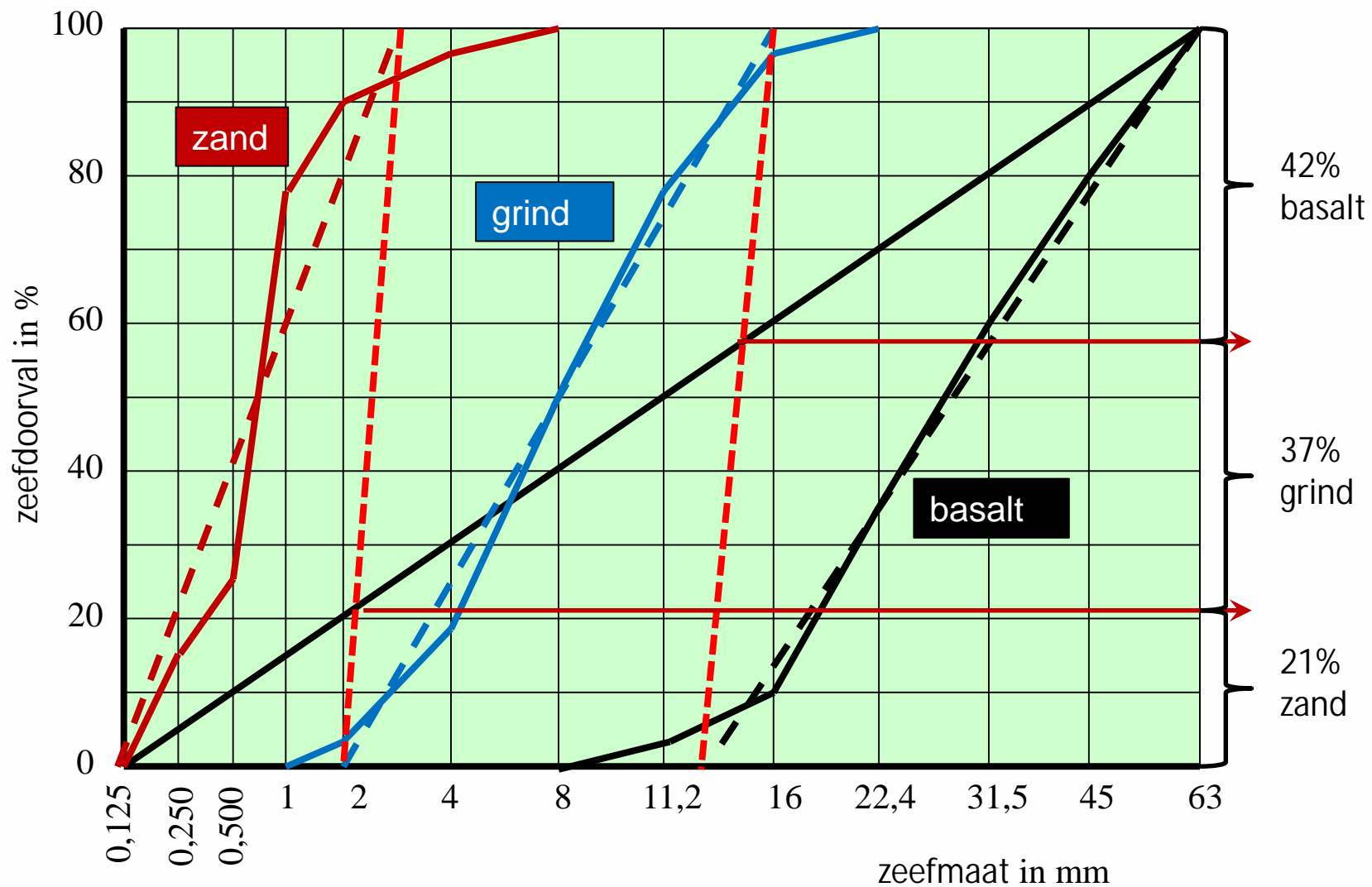


Voorbeeld grafische methode

zeven [mm]	doorval in %			
	zand	grind	basalt	gewenste korrelverdeling
63	100	100	99	100
45	100	100	80	90
31,5	100	100	60	80
22,4	100	100	35	70
16	100	98	10	60
11,2	100	78	2	50
8	100	52	0	40
4	98	19	0	30
2	90	3	0	20
1	78	0	0	15
0,500	25	0	0	10
0,250	15	0	0	5
0,125	0	0	0	0







Waterbehoefte

Waterbehoefte van betonspecie is afhankelijk van:

- korrelverdeling
- korrelvorm
- gebruik van hulpstoffen
- gebruik van vulstoffen
- gebruikte cement
- specietemperatuur
- textuur van de korrels
- mengprocedure en -energie
- enz.

Richtwaarden waterbehoefte voor ontwerpgebied 1

consistentieklasse	D_{max}				
	8	11	16	22	32
C0	155	150	145	140	135
C1, S1, F1	170	165	160	155	150
C2, S2, F2	185	180	175	170	165
C3, S3, F3	200	195	190	185	180

Rekenen met **waterreducerende hulpstoffen**

Gebruik van (super)plastificeerders om:

- verbeteren verwerkbaarheid bij zelfde watergehalte
- verlagen watergehalte bij zelfde verwerkbaarheid

Bij gebruik van meer dan 3 liter superplastificeerder per m³ beton moet watergehalte van hulpstof worden meegeteld bij berekening wcf.

Voorbeeld:

Bij 6,25 liter hulpstof met vaste stofgehalte van 20%
extra water $0,80 \times 6,25 = 5$ liter.

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm

Na storten en verwerken op betonoppervlak waterafscheiding

Voordeel: het voorkomt plastische krimp

Nadeel: bij excessieve (teveel) bleeding last van
uitzakkende grindkorrels,
vorm van ontmenging,
aftekening wapening,
waterlens onder wapening ® holtes na verhardening

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm

Voorkomen van excessieve bleeding:

- zo droog mogelijke specie
- zeer fijn gemalen cement
- vergroten specifiek oppervlak door gebruik van
 - meer cement
 - poederkoolvliegias
 - andere minerale vulstof
- continue korrelgrootteverdeling
- gebruik van versneller, superplastificeerder of luchtbelvormer

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm

Minimum fijn volgens NEN 8005

grootste korrelafmeting D [mm]	minimumhoeveelheid fijn materiaal (< 0,250 mm) per m ³ beton [in m ³]
< 8	in onderling overleg
8	0,140
11	0,130
16	0,125
22	0,120
32	0,115

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm

Luchtgehalte, te rekenen als fijn materiaal volgens NEN 8005

gemeten luchtgehalte van de specie % (V/V)	effectief luchtgehalte per m ³ beton, te rekenen als fijn materiaal [in m ³]
2,0	-
3,0	0,010
4,0	0,020
5,0	0,030
6,0	0,040

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** $< 0,250$ mm

Bij **verpompen** van betonspecie behoefte aan meer fijn materiaal in de specie.

Proefondervindelijk vast te stellen.

Voor beton met $D_{\max} = 32$ mm bekend: **$0,135$ m³** fijn

Ook bij hogere consistenties is specie gevoeliger voor ontmenging.

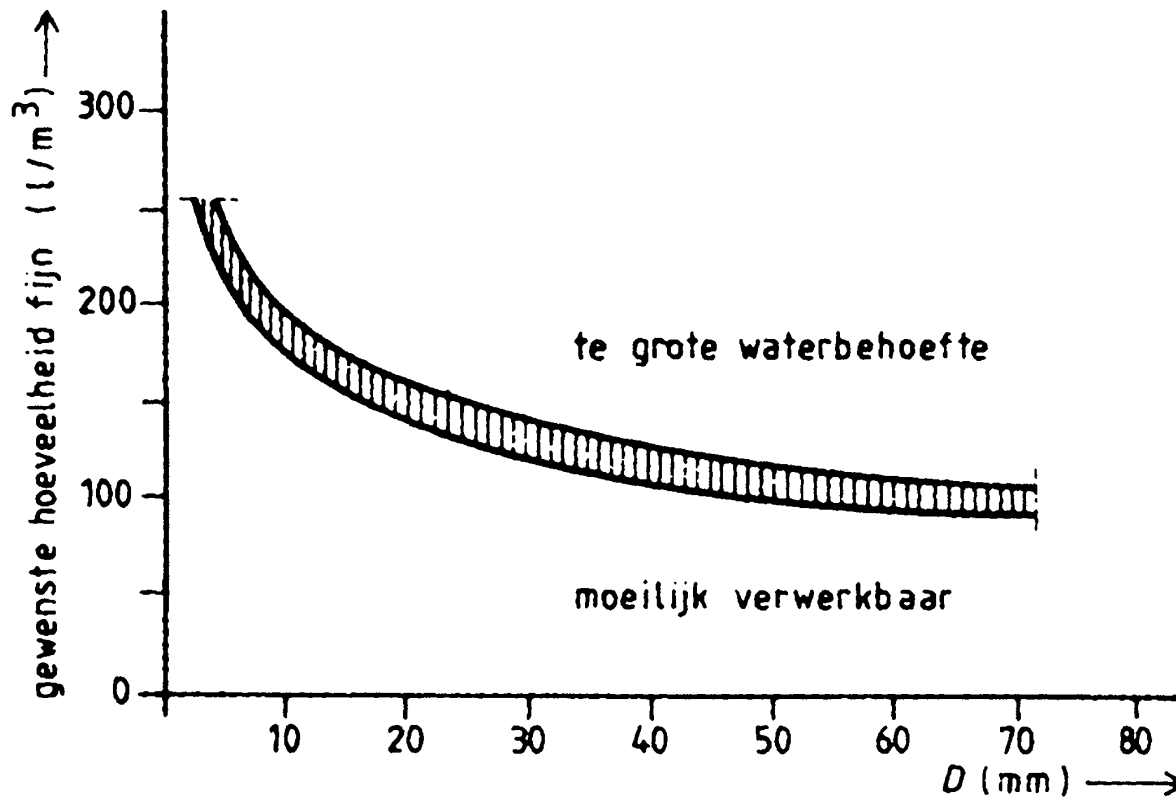
Stabiliteit te verhogen met meer fijn materiaal

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm

Richtlijn voor hoeveelheid fijn materiaal voor specie in consistentieklasse F4

grootste korrel-afmeting D [mm]	aanbevolen hoeveelheid fijn materiaal per m ³ [in m ³]
8	0,165 – 0,180
11	0,150 – 0,165
16	0,135 – 0,150
22	0,135 – 0,145
32	0,130 – 0,140

Minimum hoeveelheid **fijn materiaal** < 0,250 mm



Controle chloridegehalte

Chlorideklasse en max. chloridegehalte volgens NEN-EN 206

aard van de constructie	chloride-klasse	maximaal chloridegehalte in % (m/m)
ongewapend beton	Cl 1,0	1,0
gewapend beton en voorgespannen beton met nagerekt voorspanstaal	Cl 0,40	0,40
voorgespannen beton met voorgerekt voorspanstaal	Cl 0,20	0,20

Chloridegehalte t.o.v. massa bindmiddel

Voorbeeld controle **chloridegehalte**

grondstof	massa kg	chloridegehalte %	chloriden kg
cement	333	0,03	0,100
zand*	784	0,0004	0,003
grind*	1157	0,0004	0,005
aanmaakwater	86	0,011	0,009
		totaal	0,117

* rekenen met droge massa van zand en grind

chloridegehalte: $(0,117 / 333) \times 100 = 0,035\%$

Voorbeeld controle **alkaligehalte**

grondstof	massa kg	alkaligehalte Na-eq in %	alkaliën kg
cement	333	0,6	1,998
zand*	784	0,010	0,078
grind*	1157	0,012	0,139
aanmaakwater	86	0,001	0,001
		totaal	2,216

* rekenen met droge massa van zand en grind

alkaligehalte: 2,216 kg - dit is minder dan 3,0 kg
dus geen ASR-risico

Zelfverdichtend beton

- Fase 1 en 2 zijn zelfde als bij traditioneel beton
- Fase 3 Berekenen samenstelling
 - stap 1: gemiddelde sterkte
 $f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2$
 - stap 2: normsterkte cement
afh. van gekozen cement $\text{® } N_{28}$
 - stap 3: water-cementfactor
sterkte: $f_{cm} = 0,8 N_{28} + 25 / wcf - 45 \text{ ® } wcf$
milieu: $wcf - 0,02$
aangenomen $wcf = 0,53$

Zelfverdichtend beton

Ontwerp ZVB volgens Japanse methode

- hoeveelheid fijn en grof toeslagmateriaal wordt beperkt
- waterbehoefte vooral bepaald door poeder
- hoeveelheid poeder veel hoger dan traditioneel
- opbouw van fijn naar grof
- diverse proeven tijdens ontwerpfase

Zelfverdichtend beton

Vervolg stappenplan ZVB:

- stap 4 Vaststellen waterbehoefte van de poeders
- stap 5 Vaststellen samenstelling mortel
- stap 6 Vaststellen samenstelling betonspecie
- stap 7 Berekening samenstelling
- stap 8 Maak afweegstaat voor mengmeester
- stap 9 Controleberekeningen

Zelfverdichtend beton

- stap 4 Vaststellen waterbehoefte β_p van poeder info van leverancier of zelf te bepalen
 - proeven met 1 liter pasta (cement of vulstof en water)
 - volumeverhouding $\frac{V_w}{V_p}$
 - pasta in kegeltje van 100 mm diameter onder (d_0)
 - na optrekken kegeltje vloeit pasta uit
 - diameter in 2 loodrechte richtingen (d_1 en d_2)
 - proef herhalen (d_3 en d_4)
 - proeven herhalen met andere samenstelling $\frac{V_w}{V_p}$

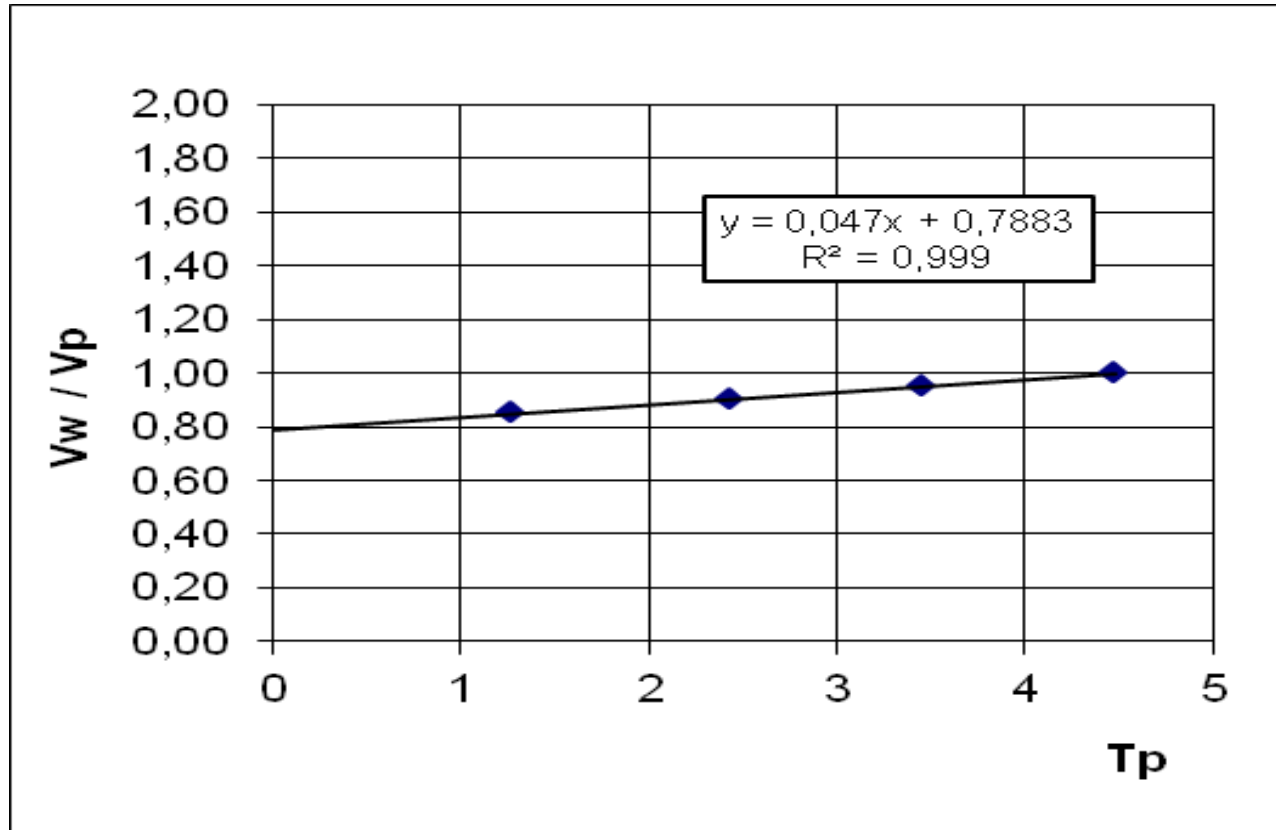
Zelfverdichtend beton

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}$$

$$t_p = \frac{d}{d_0} \left(\frac{V_w}{V_p} \right)^2 - 1$$

volume water liters	volume poeder liters	$\frac{V_w}{V_p}$	d ₁ mm	d ₂ mm	d ₃ mm	d ₄ mm	d mm	t _p
0,459	0,541	0,85	148	150	154	151	151	1,3
0,474	0,526	0,90	179	184	188	190	185	2,4
0,487	0,513	0,95	208	209	214	213	211	3,5
0,500	0,500	1,00	231	232	238	235	234	4,5

Zelfverdichtend beton



$$\beta_p = 0,79$$

β_p is waarde van V_w/V_p , waarbij pasta net niet vloeit

Zelfverdichtend beton

- Overzicht β_p waarden

poeder	bereik β_p
CEM I 32,5	1,00 - 1,10
CEM I 52,5	1,10 - 1,35
Kalksteenmeel	0,70 - 0,90
Vliegas	0,60 - 0,80

Zelfverdichtend beton

- Berekenen β_p bij poedermengsels

$$\beta_{p,combi} = V_c/V_p \times \beta_{p,cement} + V_v/V_p \times \beta_{p,vulstof}$$

Voorbeeld:

75 % cement en 25 % kalksteenmeel:

$$0,75 \times 1,23 + 0,25 \times 0,79 = 1,12$$

per liter poeder is dus 1,12 liter water nodig

Zelfverdichtend beton

- stap 5 Vaststellen samenstelling mortel

Mortel bestaat uit:

- pasta van poeder en water
- fijn toeslagmateriaal
- superplastificeerder
- waterreductie k_p

Zelfverdichtend beton

Percentage fijn toeslagmateriaal

$$\% V_f = \frac{V_f}{V_f + V_{\text{pasta}}} = \frac{V_f}{V_m}$$

In onderzoek in Japan is vastgesteld wat de invloed is van fijn toeslagmateriaal op waterbehoefte

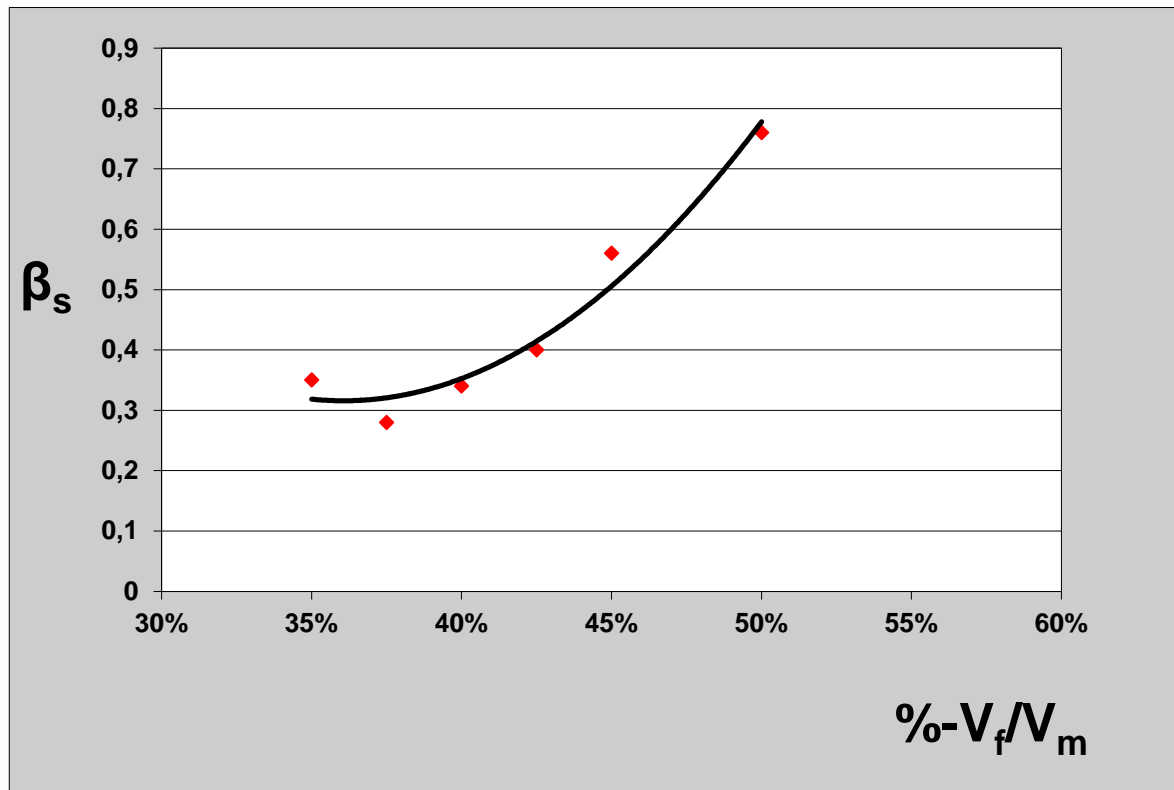
Waterbehoefte mortel: b_m

Waterbehoefte fijn toeslagmateriaal: b_s

Optimaal zandpercentage van ca. 40% (zie figuur)

Zelfverdichtend beton

Relatie tussen volumeaandeel fijn toeslagmateriaal en β_s



tot ca 40 % geen
toename van β_s

bij stijging van fijn
neemt water-
behoefte toe,
terwijl poeder
minder wordt

Zelfverdichtend beton

Percentage hulpstof

Gebruik van superplastificeerder om vloeit te verkrijgen

$$\%M_h = \frac{\text{massa hulpstof}}{\text{massa poeder}} = \frac{M_h}{M_p}$$

Percentage hulpstof is afhankelijk van:

- gebruikte hulpstof
- gebruikte cement
- gebruikte vulstof
- gebruikte fijn toeslagmateriaal
- gewenste verwerkbaarheid
- omgevingstemperatuur

Zelfverdichtend beton

Percentage hulpstof

Door middel van proeven vast te stellen

Bepalen van vloeimaat

Gebruik maken van Haegermann-kegel

(zie pasta proeven)

beoogde vloeimaat beton	richtwaarde vloeimaat mortel
650	250
750	300
850	350

Zelfverdichtend beton

Het begrip k_p

- Door toevoegen van superplastificeerder neemt vloeit, maar daardoor wordt de specie ook minder stabiel.
- Dit vraagt om een reductie van het water: factor k_p
- Factor te bepalen met verschillende proeven met vloeimaat en trechtertijd.

$$\frac{V_w}{V_p} = \kappa_p \times \beta_{p,combi}$$

Zelfverdichtend beton

Bepalen vloeimaat en trechtertijd van mortel



Zelfverdichtend beton

Invloed hulpstof, zand en k_p op vloeimaat en trechtertijd

		vloeimaat	trechtertijd
hulpstof %	hoger	hoger	-
	lager	lager	-
k_p	hoger	-	lager
	lager	-	hoger
zand %	hoger	lager	hoger
	lager	hoger	lager

Zelfverdichtend beton

stap 6. Samenstelling van de betonspecie

Percentage grof toeslagmateriaal

Voorkomen moet worden dat door grof toeslagmateriaal blokkering optreedt: $D_{\max} < 20 \text{ mm}$

Proeven in Japan hebben vastgesteld, dat ca. 50% losgestort grof toeslagmateriaal optimaal resultaat geeft.

Volume losgestort grof: $V_{g,\text{losgestort}}$

$$V_g = V_{g,\text{losgestort}} \times \frac{\rho_b}{\rho_{rd}} \times V_b$$

Zelfverdichtend beton

stap 6. Samenstelling van de betonspecie

Percentage lucht in betonspecie

Gewoonlijk ongeveer 1 tot 2%.

$$V_l = \% V_l \times V_b$$

Zelfverdichtend beton

Voorbeeldberekening

Door middel van proeven vastgesteld:

- sterkte en duurzaamheid $w_{cf} = 0,53$
- cement $b_{p,c} = 1,23$ en kalksteenmeel $b_{p,k} = 0,79$
- zand $\%V_f = 40\%$
- hulpstof $\%M_h = 0,5\%$
- reductie $k_p = 0,80$
- grind $\%V_{g, losgestort} = 50\%$ met $r_b = 1630 \text{ kg/m}^3$
 $r_{rd} = 2650 \text{ kg/m}^3$
- lucht $\%V_l = 2,0\%$
- hulpstof $r_a = 1100 \text{ kg/m}^3$

ZVB voorbeeld

a. **Volume lucht** $\%V_l = 2\%$

$$V_l = 0,02 \times 1,000 = 0,020 \text{ m}^3$$

b. **Volume beton zonder lucht**

$$V_b = 1,000 - 0,020 = 0,980 \text{ m}^3$$

c. **Volume grof toeslagmateriaal** $\%V_{g, \text{losgestort}} = 50\%$

$$V_g = 0,50 \times (1630/2650) \times 0,980 = 0,301 \text{ m}^3$$

d. **Volume mortel**

$$V_m = V_b - V_l - V_g = 1,000 - 0,020 - 0,301 = 0,679 \text{ m}^3$$

ZVB voorbeeld

e. **Volume fijn toeslagmateriaal** $\%V_f = 40\%$

$$V_f = 0,40 \times 0,679 = 0,272 \text{ m}^3$$

f. **Volume pasta**

$$V_{\text{pasta}} = V_m - V_f = 0,679 - 0,272 = 0,407 \text{ m}^3$$

g. **Percentage cement**

$$\%V_c = \frac{\kappa_p \times \beta_{p,\text{vulstof}}}{wcf \times \rho_{a,c} + \kappa_p \times \beta_{p,\text{vulstof}} - \kappa_p \times \beta_{p,\text{cement}}}$$

$$\%V_c = 0,80 \times 0,79 / (0,53 \times 3,15 + 0,80 \times 0,79 - 0,80 \times 1,23) =$$

0,48 dus 48% cement

ZVB voorbeeld

h. **Percentage vulstof**

$$\%V_v = 100 - 48 = 52\%$$

i. **Waterbehoefte van de poeders**

$$b_{p,combi} = 0,48 \times 1,23 + 0,52 \times 0,79 = 1,00$$

j. **Water-poederverhouding**

$$V_w/V_p = k_p \times 1,00 = 0,80$$

k. **Volume poeder**

$$V_p = 0,407 / (1 + 0,80) = 0,226 \text{ m}^3$$

$$V_p = \frac{V_{pasta}}{1 + \frac{V_w}{V_p}}$$

ZVB voorbeeld

l. **Volume cement**

$$V_c = 0,48 \times 0,226 = 0,108 \text{ m}^3$$

m. **Volume vulstof**

$$V_v = 0,52 \times 0,226 = 0,118 \text{ m}^3$$

n. **Massa hulpstof** $\%M_h = 0,5\%$

$$M_h = 0,005 \times (0,108 \times 3150 + 0,118 \times 2700) = 3,3 \text{ kg}$$

o. **Volume hulpstof**

$$V_h = 3,3 / 1100 = 0,003 \text{ m}^3$$

p. **Volume water** $0,407 - 0,108 - 0,118 - 0,003 = 0,178 \text{ m}^3$

ZVB voorbeeld

grondstof		volume m ³	volumieke massa kg/m ³	massa kg	vocht		mengsel meng- meester
					%	kg	
cement	CEM I 52,5	0,108	3150	340			340
kalkst.meel		0,118	2700	319			319
water	w/c = 0,53	0,178	1000	178		- 55	132
lucht	2 %	0,020				+ 9	
hulpstof	plast	0,003		3,3			3
subtot.		0,427		840			794
toeslag		0,573		droog			nat kg
zand		0,272	2650	721	4,5	32	753
grind		0,301	2650	798	2,9	23	821
totaal		1,000		2359		55	2368
absorptie							
zand				721	0,4	3	
grind				798	0,8	6	

Aardvochtig beton voor geperste producten

Ontwerpen betonsamenstelling voor
betonproducten die:

1. direct na verdichten worden ontkist
2. een onvolledige vulling hebben



Betonstenen direct na
verdichten ontkist:
'groene sterkte'

Aardvochtig beton voor geperste producten

1. Producten die direct na verdichten worden ontkist
Invloed van **groene sterkte** = door **cohesie** tussen watermoleculen en **adhesie** tussen watermoleculen en vast oppervlak.

Voorwaarden voor groene sterkte:

- goede korrelgrootteverdeling
- voldoende fijn materiaal
- juiste hoeveelheid water
- gebruik van veel verdichtingsenergie

Als traditioneel beton in consistentieklasse C0 en C1

Aardvochtig beton voor geperste producten

2. Producten met onvolledige vulling

Beton met meer dan 2% holleruimte

Afwijkend stappenplan voor berekenen:

stap 1. berekenen hoeveelheden toeslagmateriaal

stap 2. berekenen hoeveelheden poeder

stap 3. berekenen hoeveelheid water

stap 4. berekenen sterkte

stap 5. uitleveringsberekening

stap 6. correctie op basis van gemeten volumieke massa

stap 7. controleberekeningen

Aardvochtig beton voor geperste producten

A. Inventarisatie eisen

NEN-EN 206 is niet van toepassing

Afzonderlijke productnormen voor:

- NEN-EN 1338 voor betonstraatstenen
- NEN-EN 1339 voor betontegels

Controle aan gereede product:

- voor druksterkte meestal geen eisen
- wel voor splijttreksterkte of buigtreksterkte
- prestatie-eisen m.b.t slijtvastheid en vorstbestandheid
- uiterlijk

Aardvochtig beton voor geperste producten

B. Keuze van de materialen

Afhankelijk van gestelde eisen

- toeslagmateriaal met hoge slijtvastheid
- kleur van product
- meestal kleine D_{\max} , zoals:
 - zand 0/2 of zand 0/4 met grind 2/8 voor stenen
 - of grind 4/12 voor tegels en banden
- ook gebruik van graniet 2/8 of kalksteen 2/7

Aardvochtig beton voor geperste producten

C. Berekenen betonsamenstelling

Geen empirische formules beschikbaar

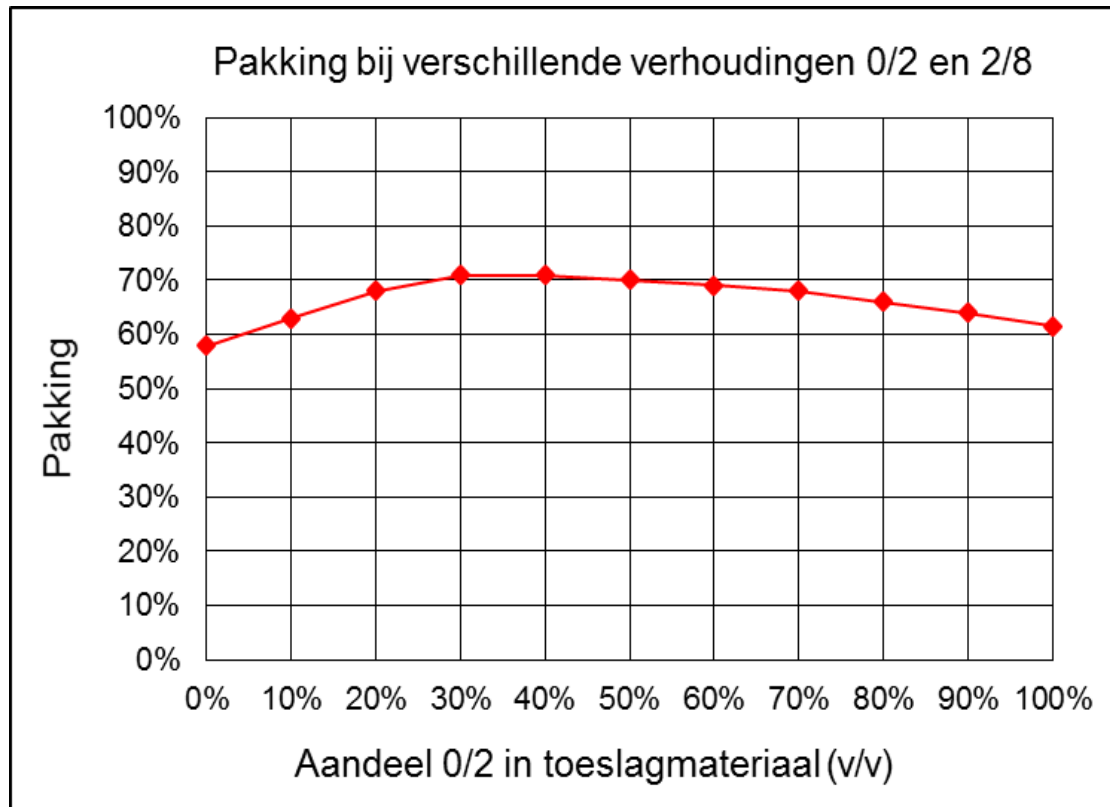
Stappenplan is systematiek om proefondervindelijk tot een geschikt mengsel te komen.

stap 1. Berekenen hoeveelheden toeslagmateriaal

Zo hoog mogelijke pakking van mengsel van fijn en grof toeslagmateriaal

Aardvochtig beton voor geperste producten

Pakking mengsels zand 0/2 en grind 2/8



Hoogste pakking
71% bij:
30% zand en 70%
grind
en ook bij:
40% zand en 60%
grind

Aardvochtig beton voor geperste producten

Voorbeeld:

Gekozen voor 50% zand 0/2 en 50% grind 2/8.

De pakking van dit mengsel is 70%.

- volume toeslagmateriaal: $0,70 \times 1,000 = 0,700 \text{ m}^3$
- volume zand: $0,50 \times 0,700 = 0,350 \text{ m}^3$
- massa zand $0,350 \times 2650 = 928 \text{ kg}$
- volume grind: $0,50 \times 0,700 = 0,350 \text{ m}^3$
- massa grind: $0,350 \times 2650 = 928 \text{ kg}$

Aardvochtig beton voor geperste producten

stap 2: Berekenen hoeveelheden poeder

Hoeveelheid poeder t.o.v. hoeveelheid toeslagmateriaal is meestal tussen 1 : 6 en 1 : 8.

Voorbeeld:

Gekozen voor een verhouding 1 : 7.

Dus bij 0,700 m³ toeslagmateriaal toevoegen $0,700 / 7 = 0,100$ m³ poeder. Voor groene sterkte is cement niet persé nodig. Gekozen voor CEM I 42,5 R.

massa cement: $0,100 \times 3150 = 315$ kg

Aardvochtig beton voor geperste producten

stap 3: Berekenen hoeveelheid water

De hoeveelheid water is erg kritisch bij aardvochtig beton. Voor de meeste productiemachines ligt de wcf tussen 0,32 en 0,40.

Voorbeeld:

$$wcf = 0,34.$$

$$V_{\text{water}} / V_{\text{poeder}} = 0,34 \times 3,15 = 1,07.$$

$$\text{Water: } 1,07 \times 0,100 = 0,107 \text{ m}^3$$

Aardvochtig beton voor geperste producten

stap 4: Berekenen van de sterkte

Voorbeeld met samenstelling:

	kg	m ³
grind 2/8	928	0,350
zand 0/2	928	0,350
CEM I 42,5 R	315	0,100
water	107	0,107
totaal	2278	0,907

Holle ruimte bedraagt: $1,000 - 0,907 = 0,093$ m³

Dit komt overeen met 9,3% holle ruimte

Aardvochtig beton voor geperste producten

Te verwachten sterkte kan worden berekend:

normsterkte cement $N = 58 \text{ N/mm}^2$

$w_{cf} = 0,34$

f_{cm} (zonder lucht) $= 0,8 \times 58 + 25 / 0,34 - 45 = 75 \text{ N/mm}^2$

de holle ruimten zonder voor sterkte verlies van

$0,95^{(L-2)} = 0,95^{7,3}$

f_{cm} (met lucht) $= 75 \times 0,95^{7,3} = 52 \text{ N/mm}^2$

Aardvochtig beton voor geperste producten

- Verhogen van de sterkte kan niet door verlagen van wcf; dan is er onvoldoende water aanwezig.
- Verlagen van de hoeveelheid water leidt tot meer holle ruimte; dus verlies aan sterkte.
- Oplossing: voeg meer cement en water toe in zelfde wcf: verhogen van volume cement t.o.v. toeslagmateriaal.
- Dus van 1 : 7 naar 1 : 6.

Aardvochtig beton voor geperste producten

Cement : toeslagmateriaal 1 : 6

volume cement $0,700 / 6 = 0,117 \text{ m}^3$

massa cement $0,117 \times 3150 = 369 \text{ kg}$

water: $0,34 \times 369 = 126 \text{ kg}$ dit is $0,126 \text{ m}^3$


	kg	m ³
grind 2/8	928	0,350
zand 0/2	928	0,350
CEM I 42,5 R	369	0,117
water	126	0,126
totaal	2351	0,943

holle ruimte: 5,7%

sterkte $f_{cm} = 75 \times 0,95^{3,7} = 62 \text{ N/mm}^2$

stap 5: uitleve- ringsbe- rekening

grondstof		volume	volumieke massa	massa	water		mengsel meng- meester
		[m ³]	[kg/m ³]	[kg]	[%]	[kg]	[kg]
cement	CEM I 42,5 R	0,100	3150	315			315
water	w/c = 0,34	0,107	1000	107		- 62 +12	57
subtotaal		0,207					
toeslag		0,700		<i>droog</i>			<i>nat</i>
zand 0/2	50 %	0,350	2650	928	4,5	42	970
grind 2/8	50 %	0,350	2650	928	2,2	20	948
subtotaal		0,907		2278		62	2290
holle ruimte (geschat)	9,3%	0.093					
totaal		1,000					2290
absorptiewater:				(* = totaal vochtgehalte, incl. absorptiewater)			
zand				928	0,3	3	
grind				928	1,0	9	
Totaal						12	



stap 6: Correctie op basis van volumieke massa na verdichten
Gemeten volumieke massa kan afwijken van berekende waarde i.v.m. diverse aannamen.

In dit geval is berekende volumieke massa 2290 kg/m^3 en de gemeten volumieke massa 2320 kg/m^3

- cement: $2320 / 2290 \times 0,100 = 0,101 \text{ m}^3$
- water: $2320 / 2290 \times 0,107 = 0,108 \text{ m}^3$
- zand: $2320 / 2290 \times 0,350 = 0,355 \text{ m}^3$
- grind: $2320 / 2290 \times 0,350 = 0,355 \text{ m}^3$

grondstof		volume	volumieke massa	massa	water		mengsel meng- meester
		[m ³]	[kg/m ³]	[kg]	[%]	[kg]	[kg]
cement	CEM I 42,5 R	0,101	3150	318			318
water	w/c = 0,34	0,108	1000	108		- 63 +12	57
subtotaal		0,209					
toeslag		0,710		<i>droog</i>			<i>nat</i>
zand 0/2	50 %	0,355	2650	941	4,5	42	983
grind 2/8	50 %	0,355	2650	941	2,2	21	962
subtotaal		0,919		2308		63	2320
holle ruimte	8,1%	0.081					
totaal		1,000					2320
absorptiewater:				(* = totaal vochtgehalte, incl. absorptiewater)			
zand				941	0,3	3	
grind				941	1,0	9	
Totaal						12	