



Basiskennis Betontechnologie (BBT)

Hoofdstuk 3

De korrels

- **Toeslagmateriaal**

- Cement

- Vulstof

- Type I – Niet reactief

- Type II – Reactief



Toeslagmateriaal

Korrelvormig materiaal te gebruiken in de bouw

Indeling naar ontstaanswijze:

- 1. Natuurlijk** - rivierzand, riviergrind, kalksteen
- 2. Kunstmatig** - lichtgewicht, slibkorrels, slakken
- 3. Gerecycled** - betongranulaat, menggranulaat

Teruggewonnen – uit betonspecie /
verhard beton



1- Natuurlijk - Winning zand en grind bij Cuijk



1- Natuurlijk - Zuiger + verwerkingsinstallatie

Zuigen tot 45 meter diepte

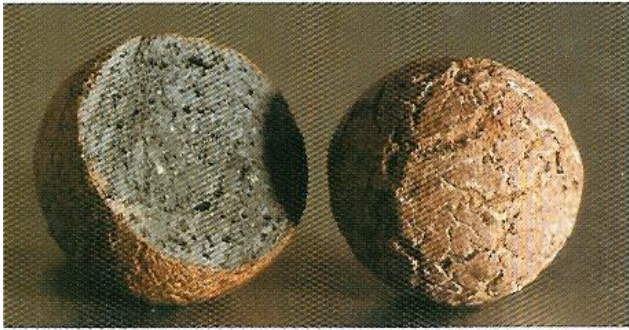
Verwerken zand & grind op water of op de wal



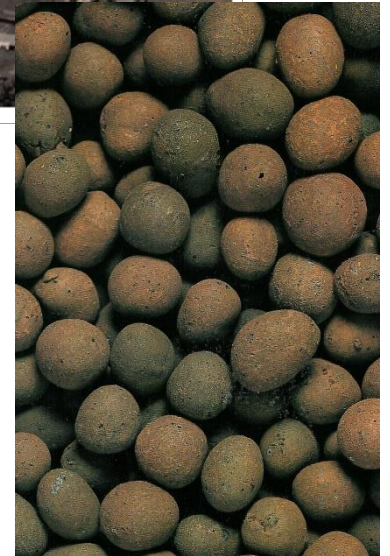
1- Natuurlijk - Kalksteengroeve (in België)



2 – Kunstmatig - Productie Liapor



Liapor-Werk
Pautzfeld



Materiaal: Klei, leem, vliegas

Productie: Mengen, pelletiseren, verhitten

Resultaat: Poreus bolletje

Merken: Liapor, Argex, Exclay

3 - Gerecycled toeslagmateriaal



3- Indeling gerecycled toeslagmateriaal

| Categorie | Bestanddeel | Subcategorieën | | | |
|-------------------|--|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Hoofdbestanddelen | | Minimaal aanwezig (% m/m) | | | |
| Rc | Betongranulaat | Rc ₉₀ | Rc ₈₀ | Rc ₇₀ | Rc ₅₀ |
| Rcu | Betongranulaat + ongebonden toeslagmateriaal | Rcu ₉₅ | Rcu ₉₀ | Rcu ₇₀ | Rcu ₅₀ |
| Verontreinigingen | | Maximaal aanwezig (% m/m) | | | |
| Rb | Metselwerk | Rb ₁₀₋ | Rb ₃₀₋ | Rb ₅₀₋ | |
| Ra | Bitumineus materiaal | Ra ₁₋ | Ra ₅₋ | Ra ₁₀₋ | |
| XRg | Slib, metalen, hout, plastic, rubber, gips, glas | XRg _{0,5-} | XRg ₁₋ | XRg ₂₋ | |
| Fl | Zwevende bestanddelen | Maximaal aanwezig (cm ³ /kg) | | | |
| | | Fl _{0,2-} | Fl ₂₋ | Fl ₅₋ | |



Overzicht eigenschappen (tabel 3.2)

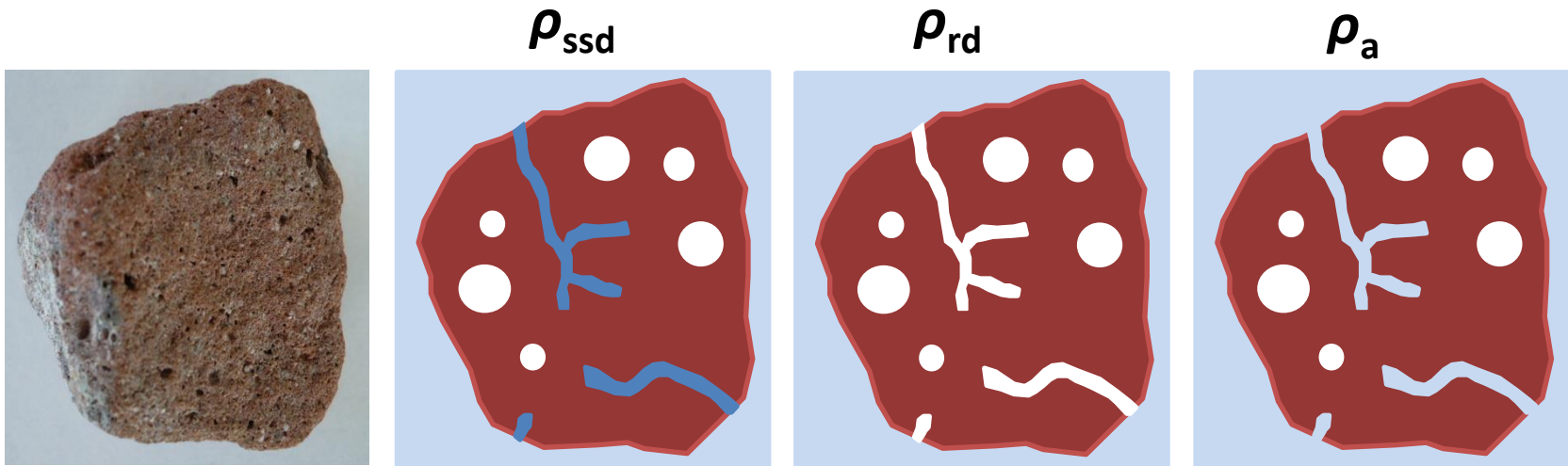
Tabel 3.2 geeft overzicht eigenschappen toeslagmateriaal

1. **Fysische** eigenschappen (korrels)
2. **Geometrische** eigenschappen (korrels)
3. **Verontreinigingen** (ongewenste bestanddelen)
4. **Overig** (watergehalte en deeltjesdichtheid losgestort)

Worden behandeld in relatie tot beton / betonspecie, behalve

- Deeltjesdichtheid
- Korrelgrootteverdeling

Deeltjesdichtheid, onderscheid ρ_{ssd} ρ_{rd} ρ_a

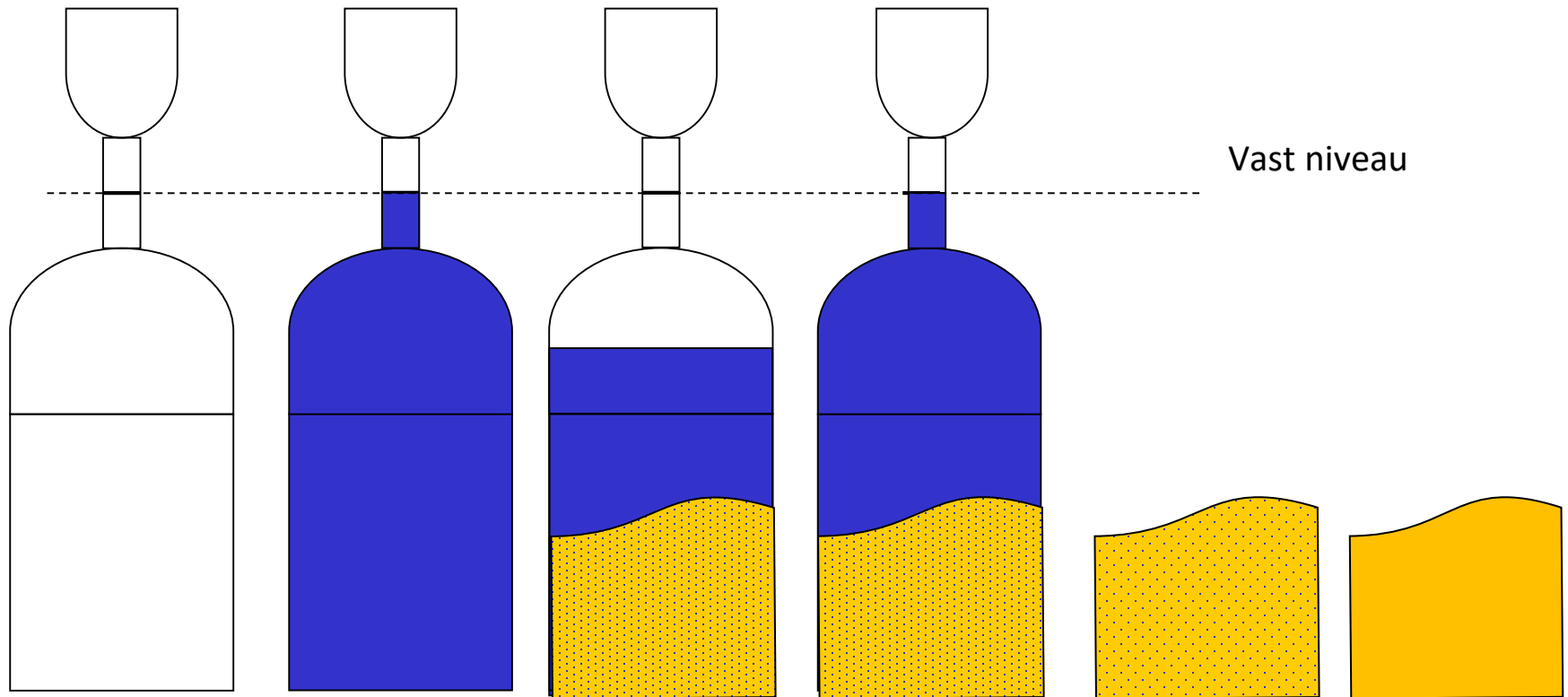


ρ_{ssd} = massa van ssd monster / volume ssd monster

ρ_{rd} = massa van droog monster / volume ssd monster

ρ_a = massa van droog monster / volume exclusief poriën

Deeltjesdichtheid – pyknometer



Lege
Pyknometer

Vullen met
water
= Volume

Nat monster
+ water

Na 24 uur
aanvullen
met water

Drogen tot
oppervlakte
droog

Drogen tot
volledig
droog

M3

M2

M1

M4



Indeling op basis deeltjesdichtheid

Op basis van ρ_{rd} wordt een onderscheid gemaakt in:

- licht toeslagmateriaal: $\rho_{rd} \leq 2000 \text{ kg/m}^3$
- normaal toeslagmateriaal: $\rho_{rd} > 2000 \text{ kg/m}^3$ en $< 3000 \text{ kg/m}^3$
- zwaar toeslagmateriaal: $\rho_{rd} \geq 3000 \text{ kg/m}^3$



Argex,
 $\rho_{rd} = \pm 1100 \text{ kg/m}^3$



Grind 4/16,
 $\rho_{rd} = \pm 2600 \text{ kg/m}^3$



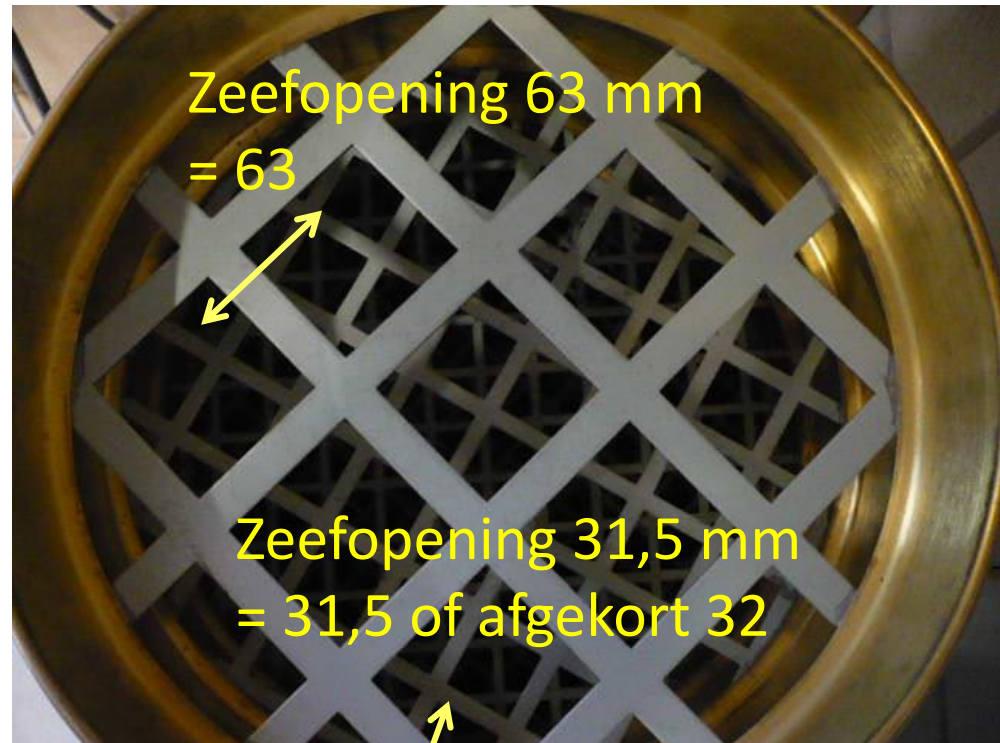
Magnetiet ,
 $\rho_{rd} = \pm 4800 \text{ kg/m}^3$

Korrelgrootteverdeling

- Zeven
- Korrelgroepen
- Zeefanalyse
- Korrelgrootte verdeling (grafiek)

Zeven / zeefopeningen

| Basis | Set 1 | Set 2 | Fijn |
|--------------|--|--------------|-------|
| 63 | 45 | 40 | 0,500 |
| 31,5 (32) | 22,4 (22) | 20 | 0,250 |
| 16 | 11,2 (11) | 14 | 0,125 |
| 8 | 5,6 (5) | 12,5 (12) | 0,063 |
| 4 | 2,8 | 6,3 (6) | |
| 2 | 1,4 | 3,15 (3) | |
| 1 | Rood: alleen controlezeef (32) = verkorte notatie | | |
| 0 | | | |



Korrelgroepen G_c

Producent produceert korrelgroepen



| | | | | |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| korrelgroep | 2/8 | 4/16 | 4/22 | 4/32 |
| categorie | $G_c85/20$ | $G_c90/15$ | $G_c90/15$ | $G_c90/15$ |
| zeefopening | | | | |
| 63 | | | | 100 |
| 45 | | | 100 | 98-100 |
| 31,5 | | 100 | 98-100 | 90-99 |
| 22,4 | | 98-100 | 90-99 | |
| 16 | 100 | 90-99 | | 25-70 |
| 11,2 | 98-100 | | 25-70 | |
| 8 | 85-99 | 25-70 | | |
| 5,6 | | | | |
| 4 | 25-70 | 0-15 | 0-15 | 0-15 |
| 2 | 0-20 | 0-5 | 0-5 | 0-5 |
| 1 | 0-5 | | | |

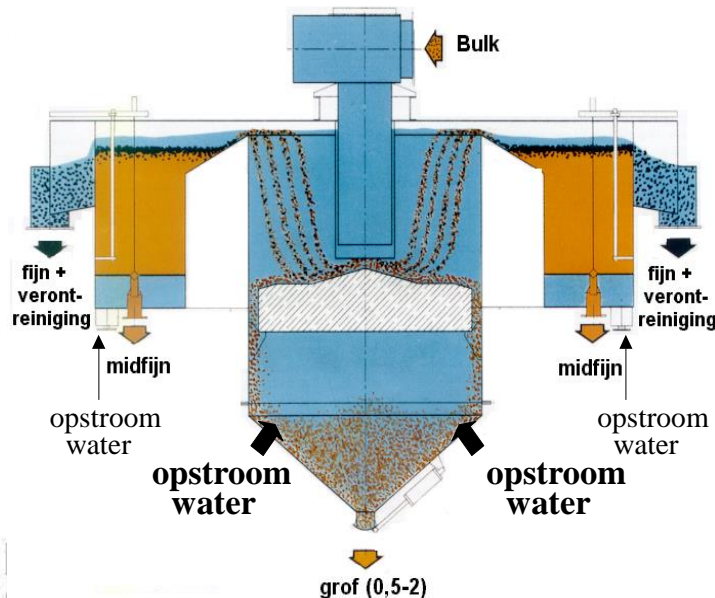
Korrelgroepen G_F



Korrelgroepen fijn:
0/1 0/2 0/4

Vaak een combinatie van 4
deelstromen:

- Bulk 2/5 of 2/8
- Grof 0,500 / 2
- Midfijn 0,250 / 0,500
- Fijn 0,125 / 0,250



Bulk eerst afgezeefd,
fractie 0/2 door de
klasseerinstallatie

Korrelgroep G_A en G_{NG}

G_A : praktisch altijd gebroken materialen

D = afhankelijk van instelling breker.

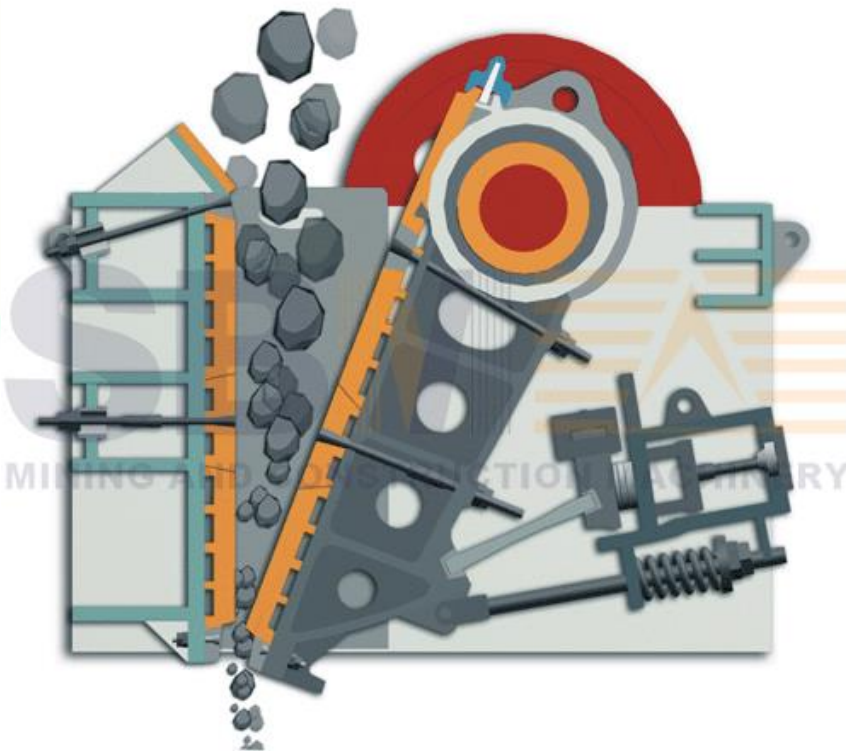
$d = 0$.

Voorbeeld:

0/12 0/16 0/20 0/32

Vaak veel brekerstof < 0,063 mm

G_{NG} : materiaal dat van nature zo voorkomt in Scandinavie (0/8)



Zeefanalyse



Massa per
zeef

Luchtstraalzeven



Korrelgrootteverdeling

| Massa droge monster voor wassen | | $M_1 = 248$ gram | |
|--|-----------------------------------|--|---|
| Massa droge monster na wassen: | | $M_2 = 244$ gram | |
| Massa zeer fijn materiaal verwijderd bij het wassen: $(M_1 - M_2) =$ | | 4 gram | |
| Zeefopening | Massa op zeef (R_i) [g] | Percentage op de zeef ($100 \times R_i / M_1$) [% m/m] | (Cumulatieve) doorval $100 - \Sigma (100 \times R_i / M_1)$ [% m/m] |
| 8 | | | |
| 4 | | | |
| 2 | | | |
| 1 | | | |
| 0,500 | | | |
| 0,250 | | | |
| 0,125 | | | |
| 0,063 | | | |
| Pan | | | |
| Percentage zeer fijn < 0,063 | | $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1}$ | |

Korrelgrootteverdeling

| Massa droge monster voor wassen | | $M_1 = 248$ gram | |
|--|-----------------------------------|--|---|
| Massa droge monster na wassen: | | $M_2 = 244$ gram | |
| Massa zeer fijn materiaal verwijderd bij het wassen: | | $(M_1 - M_2) = 4$ gram | |
| Zeefopening | Massa op zeef (R_i) [g] | Percentage op de zeef ($100 \times R_i / M_1$) [% m/m] | (Cumulatieve) doorval $100 - \Sigma (100 \times R_i / M_1)$ [% m/m] |
| 8 | 0 | | |
| 4 | 5 | | |
| 2 | 30 | | |
| 1 | 40 | | |
| 0,500 | 45 | | |
| 0,250 | 70 | | |
| 0,125 | 45 | | |
| 0,063 | 9 | | |
| Pan | 0 | | |
| Percentage zeer fijn < 0,063 | | $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1}$ | |

Korrelgrootteverdeling

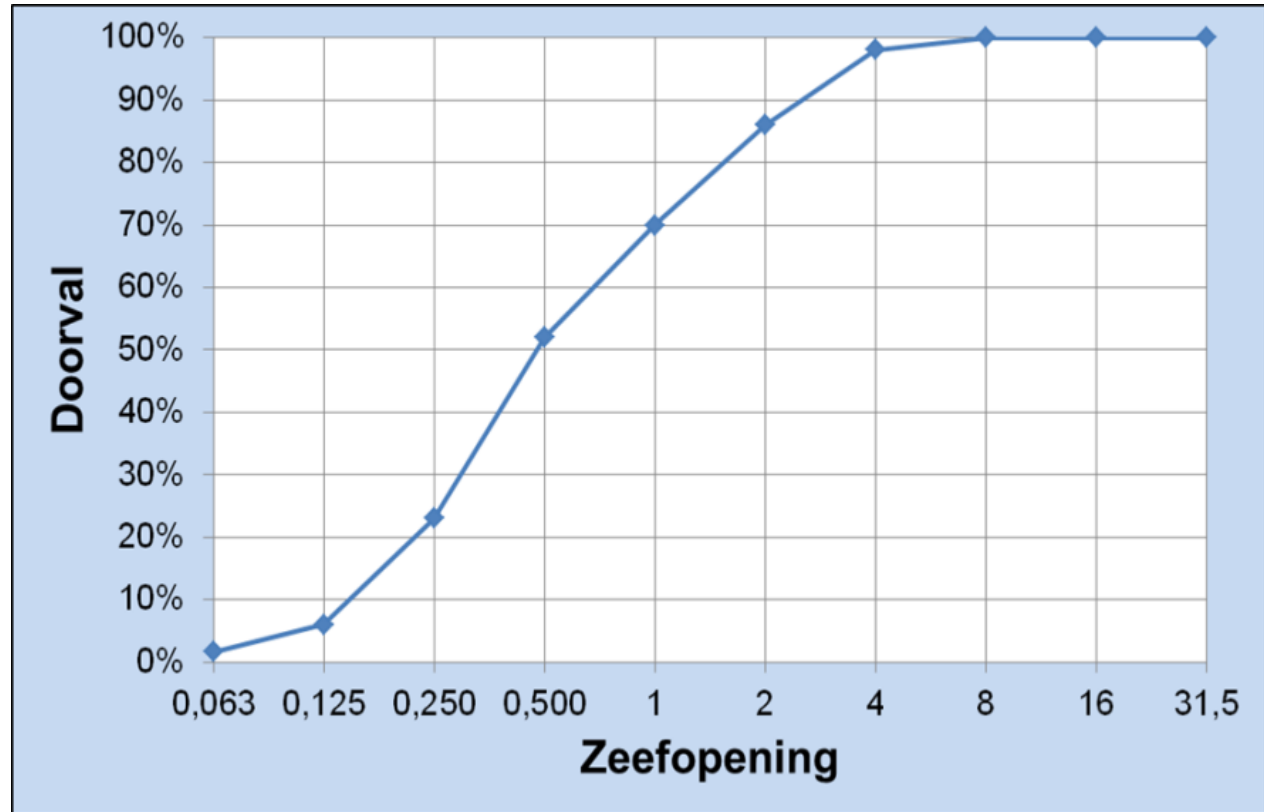
| Massa droge monster voor wassen | | $M_1 = 248$ gram | |
|--|-----------------------------------|--|---|
| Massa droge monster na wassen: | | $M_2 = 244$ gram | |
| Massa zeer fijn materiaal verwijderd bij het wassen: | | $(M_1 - M_2) = 4$ gram | |
| Zeefopening | Massa op zeef (R_i) [g] | Percentage op de zeef ($100 \times R_i / M_1$) [% m/m] | (Cumulatieve) doorval $100 - \Sigma (100 \times R_i / M_1)$ [% m/m] |
| 8 | 0 | $(0/248) * 100 \% = 0 \%$ | |
| 4 | 5 | $(5/248) * 100 \% = 2 \%$ | |
| 2 | 30 | $(30/248) * 100 \% = 12 \%$ | |
| 1 | 40 | 16 | |
| 0,500 | 45 | 18 | |
| 0,250 | 70 | 28 | |
| 0,125 | 45 | 18 | |
| 0,063 | 9 | 4 | |
| Pan | 0 | | |
| Percentage zeer fijn < 0,063 | | $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1}$ | |

Korrelgrootteverdeling

| Massa droge monster voor wassen | | $M_1 = 248$ gram | |
|--|-----------------------------------|--|---|
| Massa droge monster na wassen: | | $M_2 = 244$ gram | |
| Massa zeer fijn materiaal verwijderd bij het wassen: | | $(M_1 - M_2) = 4$ gram | |
| Zeefopening | Massa op zeef (R_i) [g] | Percentage op de zeef ($100 \times R_i / M_1$) [% m/m] | Doorval $100 - \Sigma (100 \times R_i / M_1)$ [% m/m] |
| 8 | 0 | 0 | $100 - 0 = 100$ |
| 4 | 5 | 2 | $100 - 2 = 98$ |
| 2 | 30 | 12 | $98 - 12 = 86$ |
| 1 | 40 | 16 | $86 - 16 = 70$ |
| 0,500 | 45 | 18 | 52 |
| 0,250 | 70 | 28 | 24 |
| 0,125 | 45 | 18 | 6 |
| 0,063 | 9 | 4 | |
| Pan | 0 | | |
| Percentage zeer fijn < 0,063 | | $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1}$ | $((4+0) / 248) * 100 = 1,6 \%$ |

Grafische weergave

| Zeefopening | Doorval |
|-------------|---------|
| 31,5 | 100% |
| 16 | 100% |
| 8 | 100% |
| 4 | 98% |
| 2 | 86% |
| 1 | 70% |
| 0,500 | 52% |
| 0,250 | 23% |
| 0,125 | 6% |
| 0,063 | 1,6% |



Invloed op betoneigenschappen

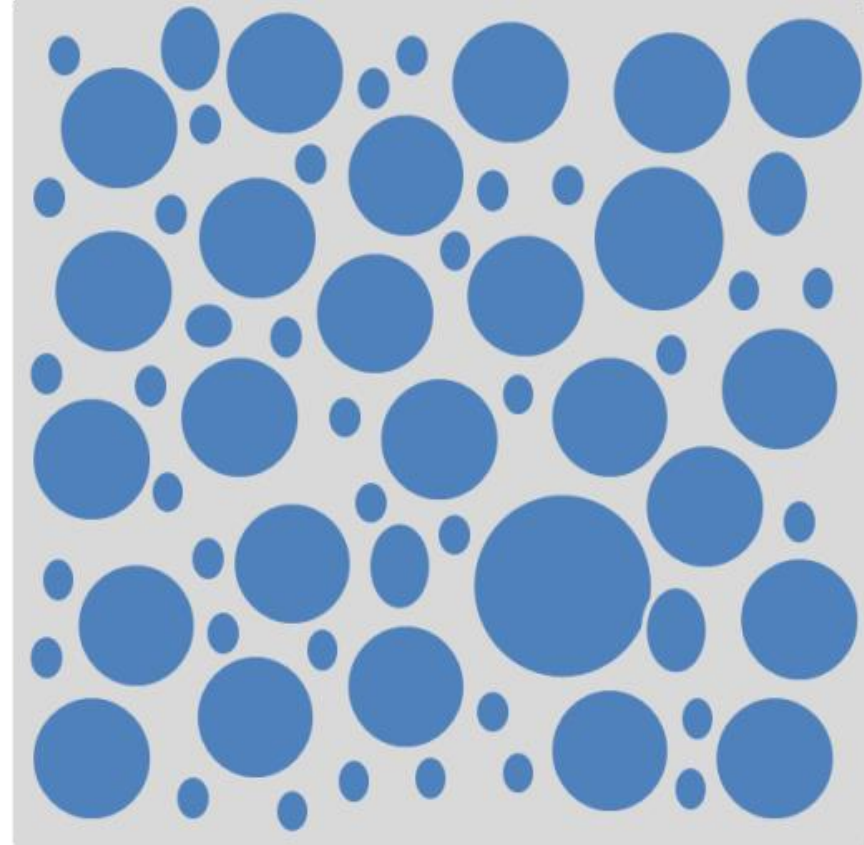
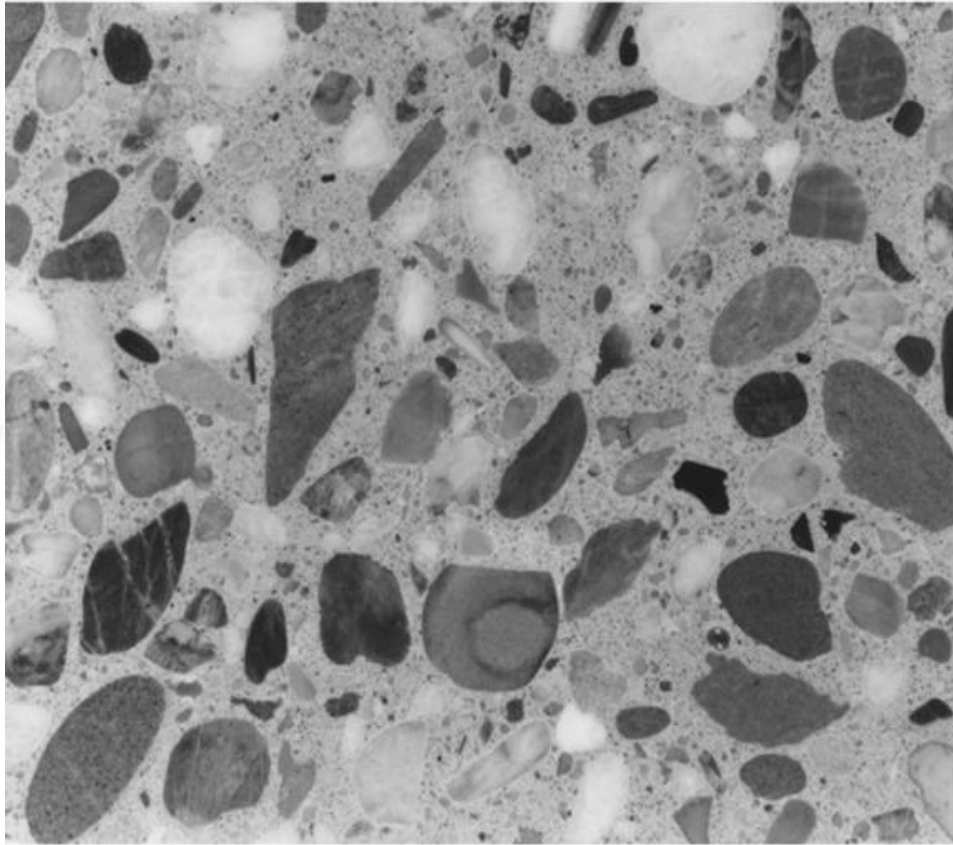
Samenstelling van beton:

1. Korrelskelet
2. Cementsteen
3. Holle ruimte

Invloed op:

1. Volumieke massa
2. Druksterkte
3. Duurzaamheid
4. Uiterlijk

Structuur beton





Volumieke massa

Massa korrelskelet

+

Massa cementsteen

-

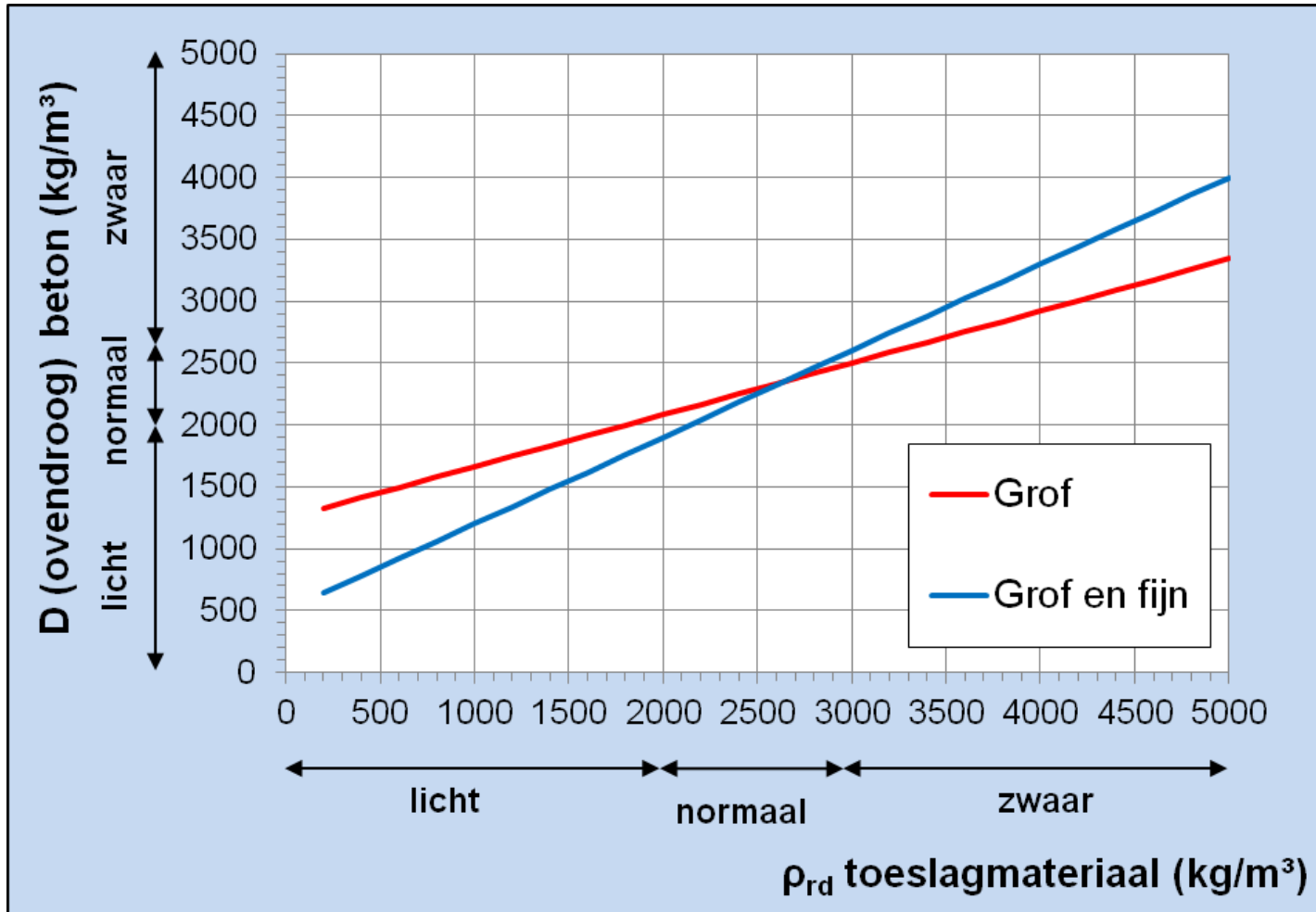
Holle ruimte

=

Volumieke massa van beton



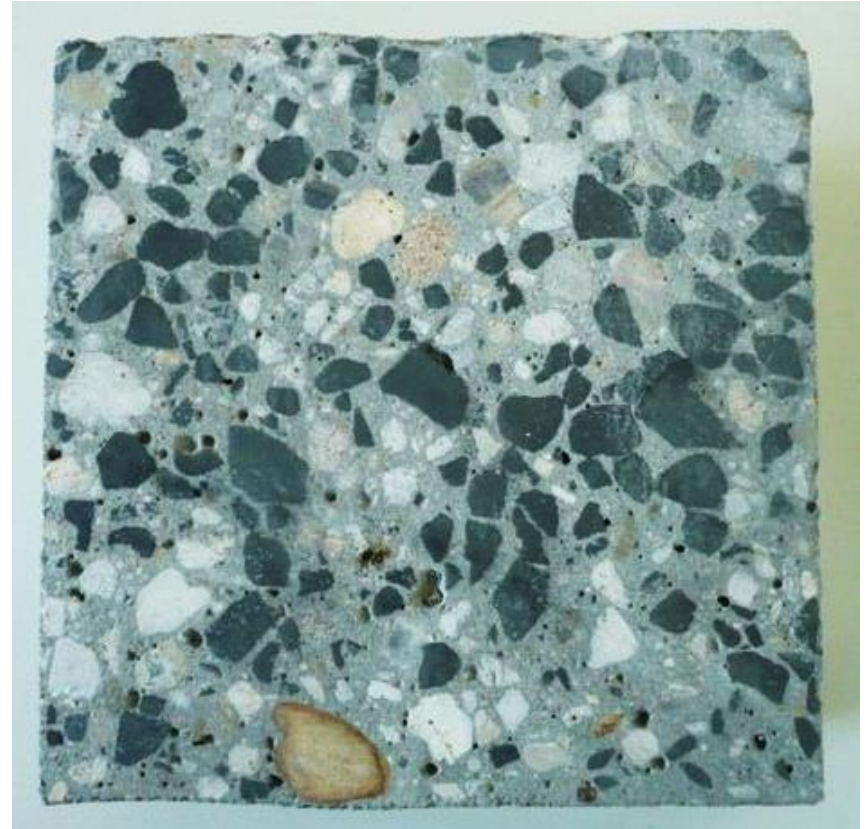
Volumieke massa



Doorsnede licht-/zwaarbeton



100% grof puimsteen

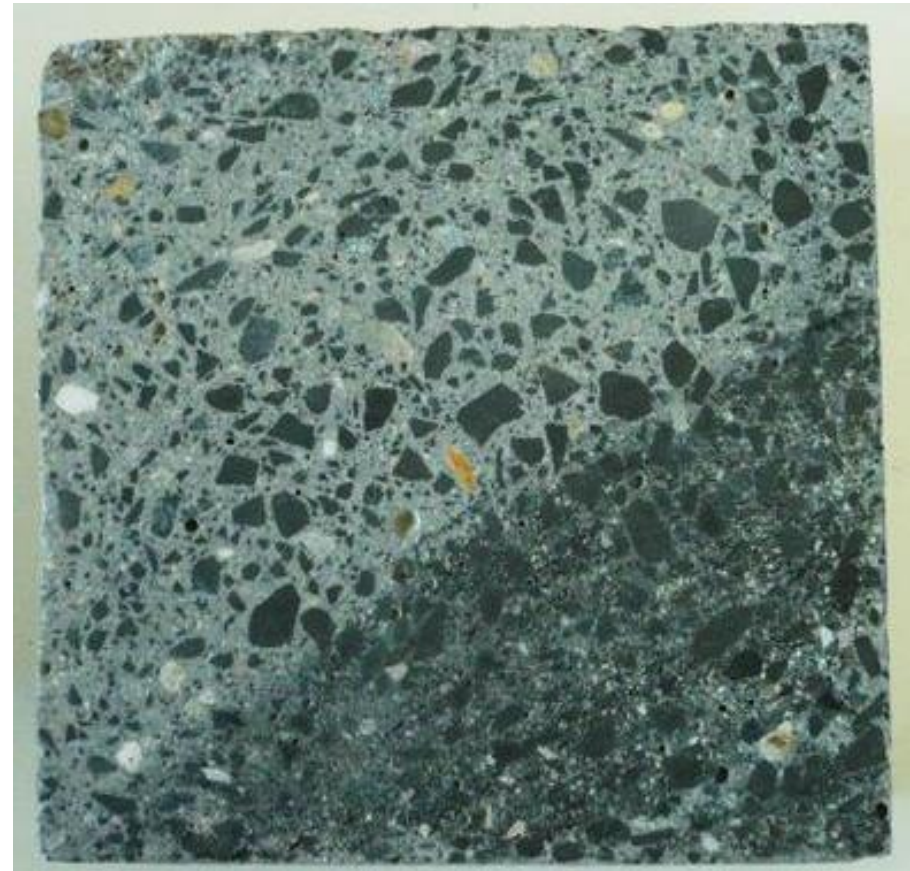


50% Magnetiet / 50% Grind

Doornede lichtbeton / zwaarbeton (2)



Fijn + grof licht
toeslagmateriaal



Fijn + grof zwaar
toeslagmateriaal

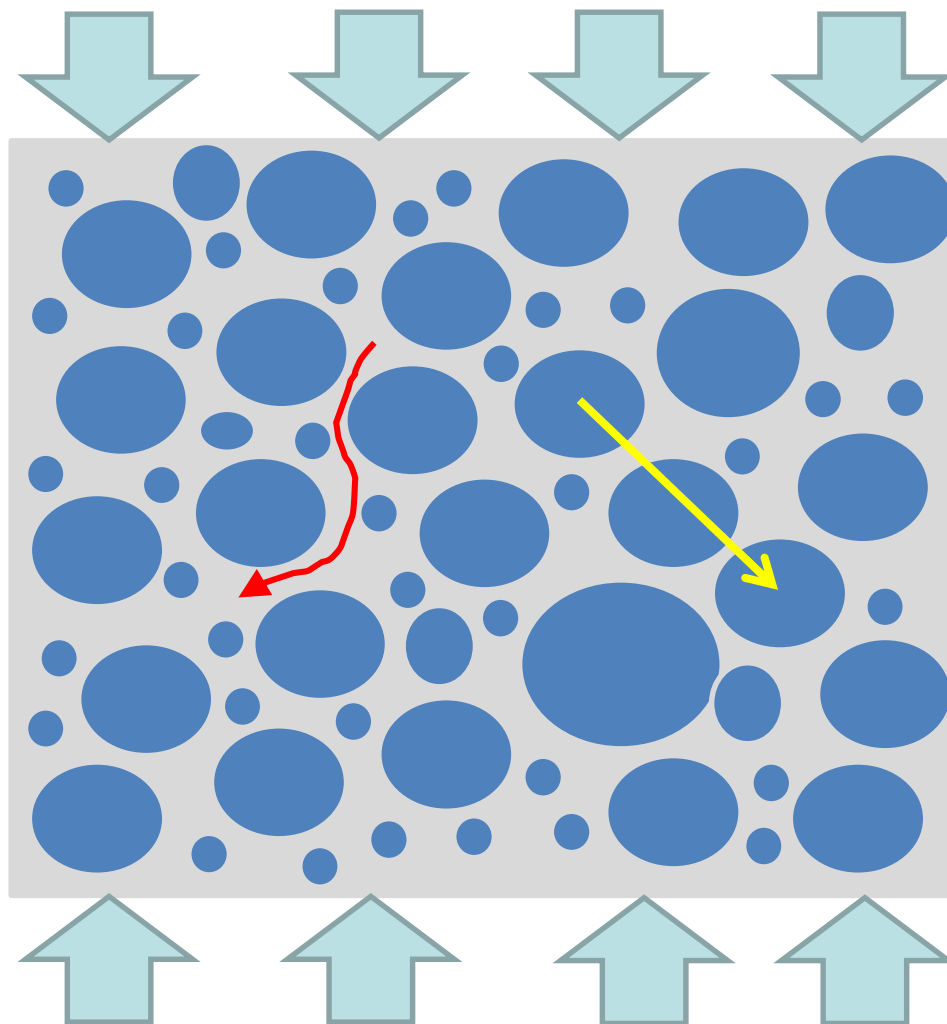
Beton zonder fijn



Druksterkte

Kracht zoekt weg van minste weerstand:

- Door cementsteen
- Door korrels



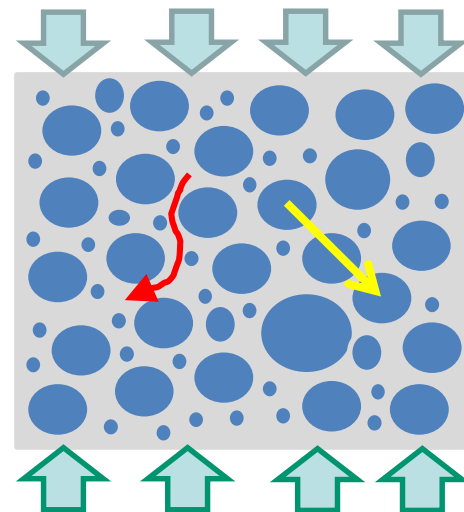
Druksterkte

Druksterkte van beton afhankelijk van:

1. De aanhechting van de cementsteen aan de korrel
2. De sterkte van de cementsteen
3. De sterkte van de korrel

Holle ruimte:

1% lucht extra geeft 5 % daling in druksterkte



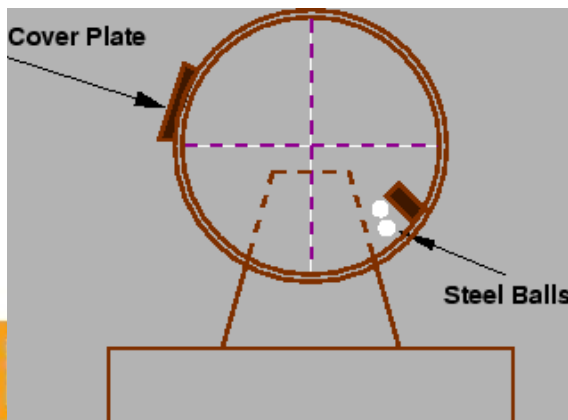
Verbrijzelingswaarde - LA



Los Angeles-proef

| | |
|---------------|------------------|
| Riviergrind | LA ₃₀ |
| Menggranulaat | LA ₅₀ |

Een lagere LA-waarde is een sterkere korrel.



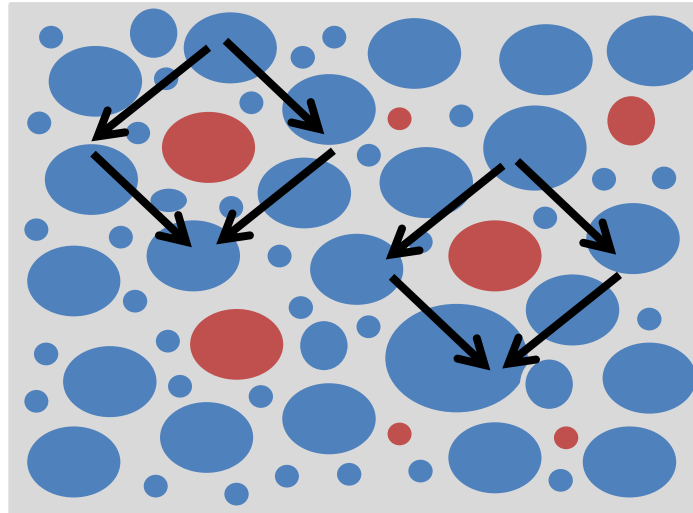
Voor licht toeslagmateriaal wordt de verbrijzelingsproef gebruikt

Verbrijzelingsproef – licht toeslagmateriaal



| Materiaal | ρ_{rd} | Korrelsterkte (N/mm ²) |
|------------|-------------|------------------------------------|
| Liapor 3,5 | 670 | > 1,1 |
| Liapor 4,5 | 840 | > 1,9 |
| Liapor 6,5 | 1190 | > 6,5 |
| Liapor 8 | 1500 | > 11,0 |
| Liapor 9,5 | 1700 | > 17,0 |

Combinatie sterke en zwakke korrels

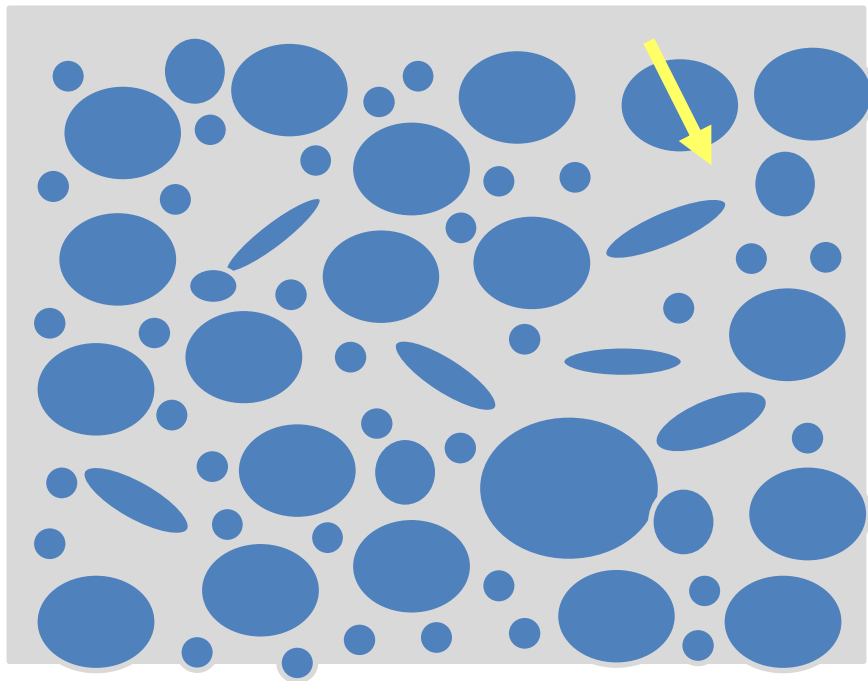


Vervangingspercentage grof toeslagmateriaal

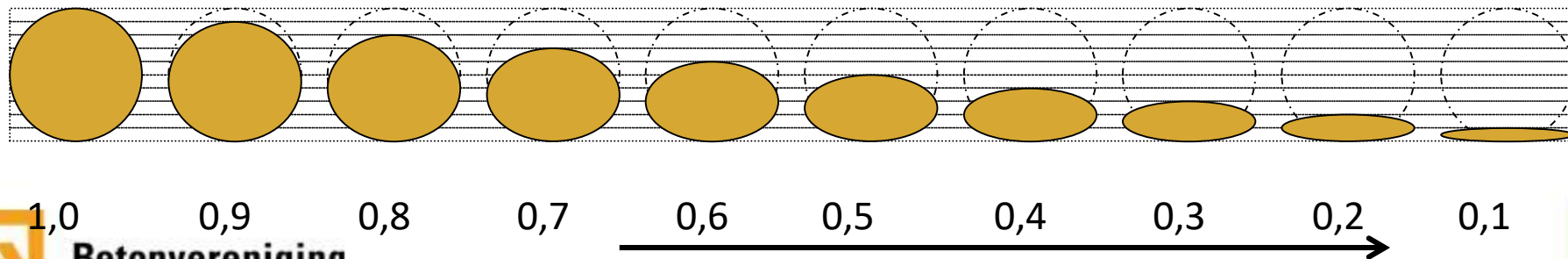
Tabel 3.7

| Type gerecycled materiaal | Milieuklasse | |
|--|--------------|--------|
| | XO | Overig |
| Betonggranulaat type A1 met $\rho_{rd} \geq 2200 \text{ kg/m}^3$ | 50% | 30% |
| Betonggranulaat type A2 met $\rho_{rd} \geq 2000 \text{ kg/m}^3$ | | 20% |
| Menggranulaat type B met $\rho_{rd} \geq 2000 \text{ kg/m}^3$ | | 20% |

Invloed platte stukken op druksterkte van beton



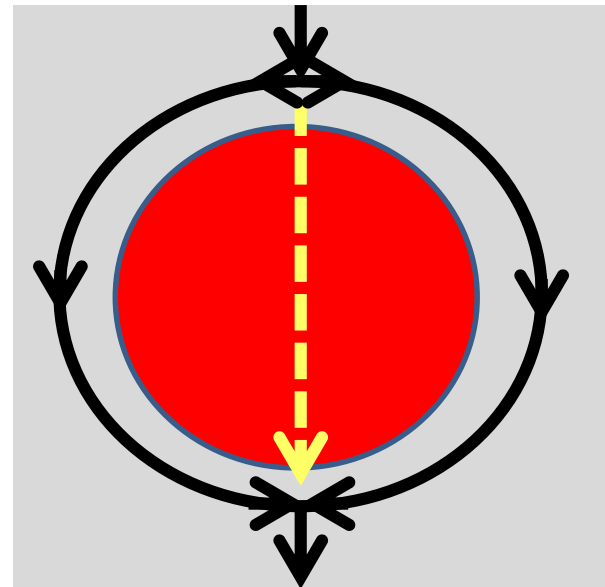
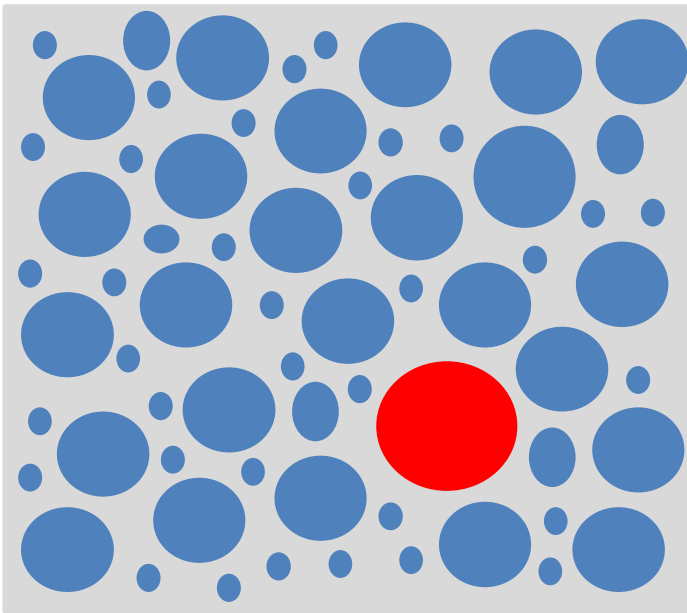
Vlakheid – platte stukken



Invloed D_{max} op de druksterkte

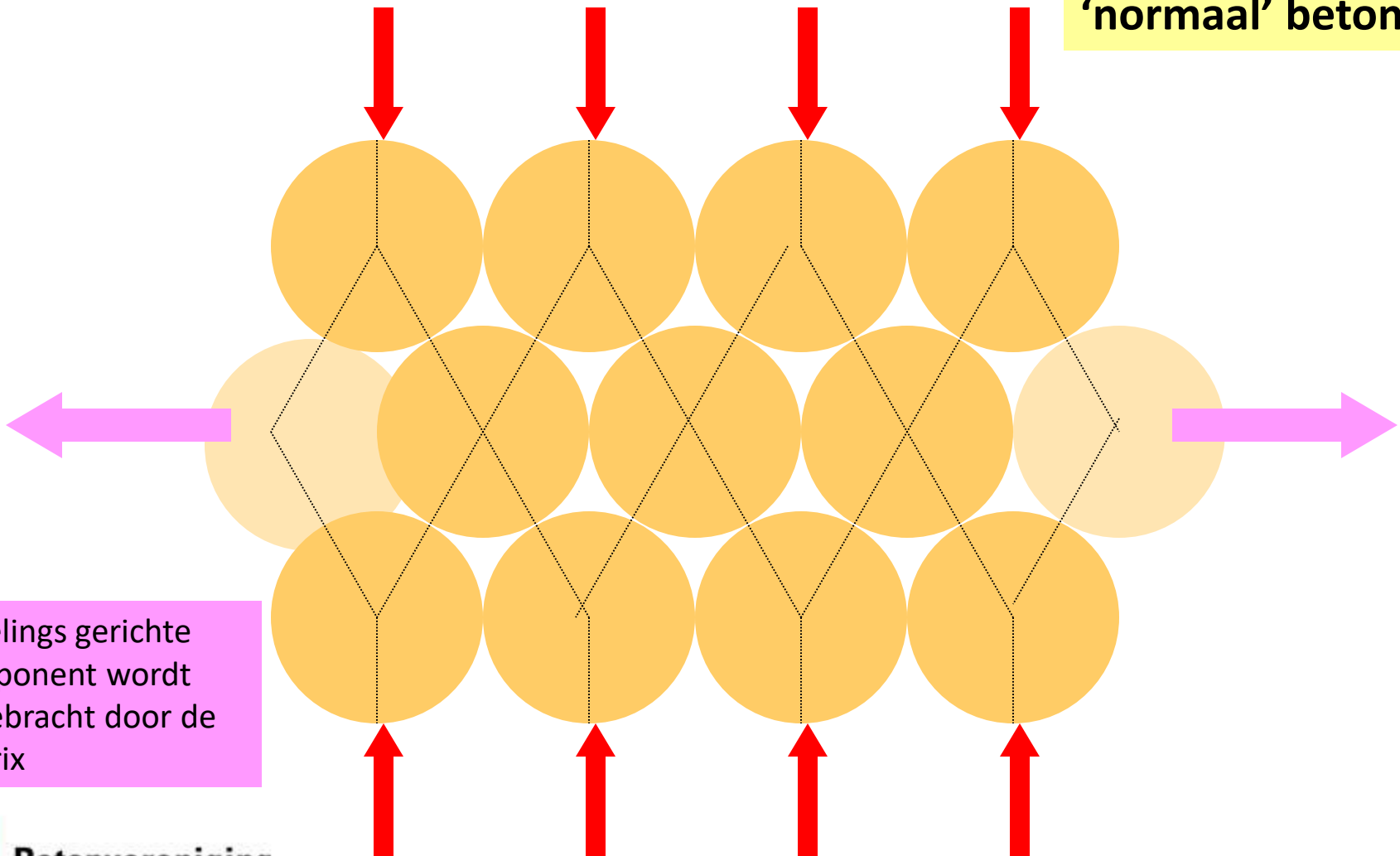
Voor grootste korrel geldt:

weg door korrel is relatief
het kleinst ten opzichte van
de weg om de korrel



Geschematiseerde krachtsoverdracht in beton

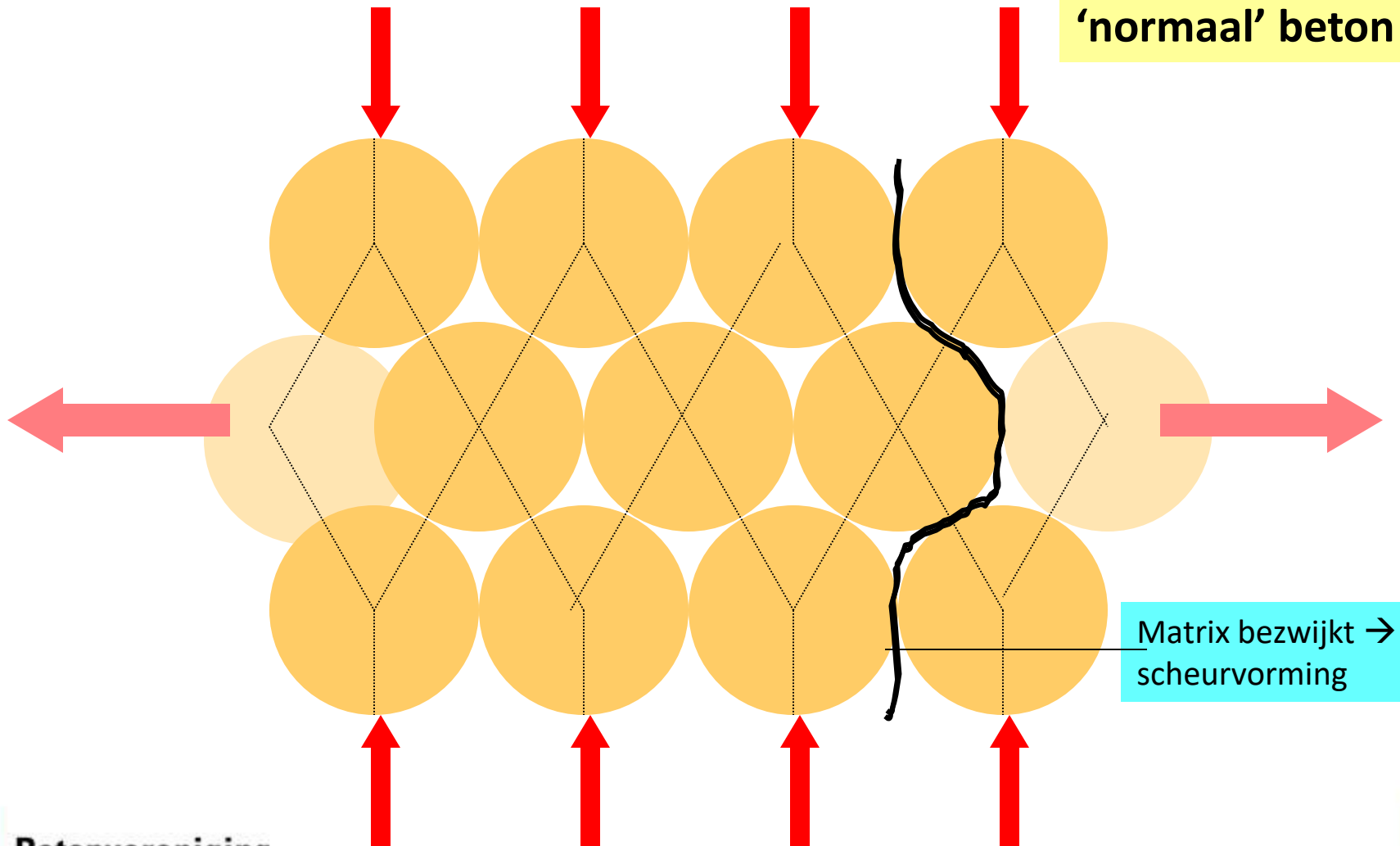
'normaal' beton



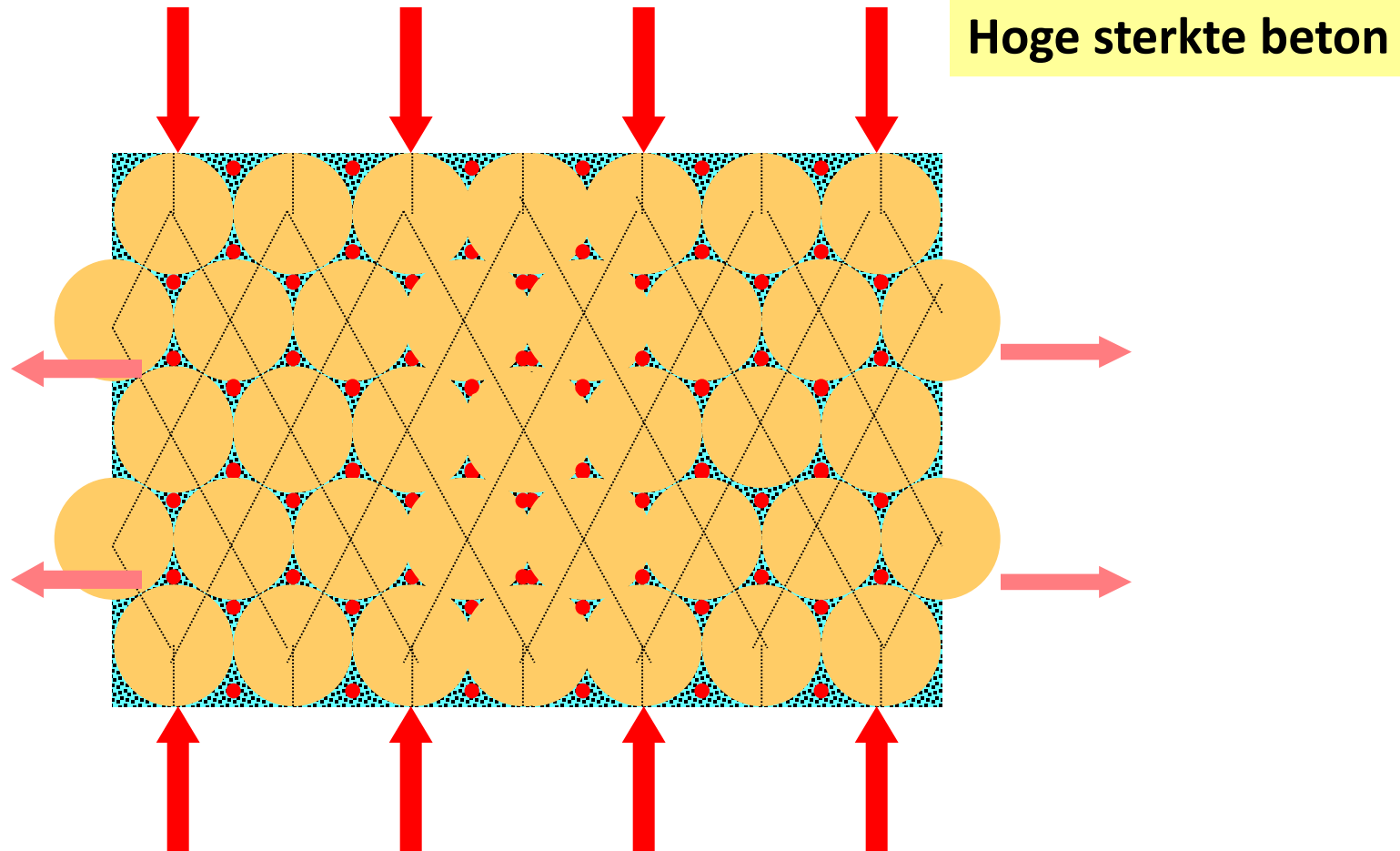
Zijdelings gerichte component wordt opgebracht door de matrix

Geschematiseerde krachtsoverdracht in beton

'normaal' beton

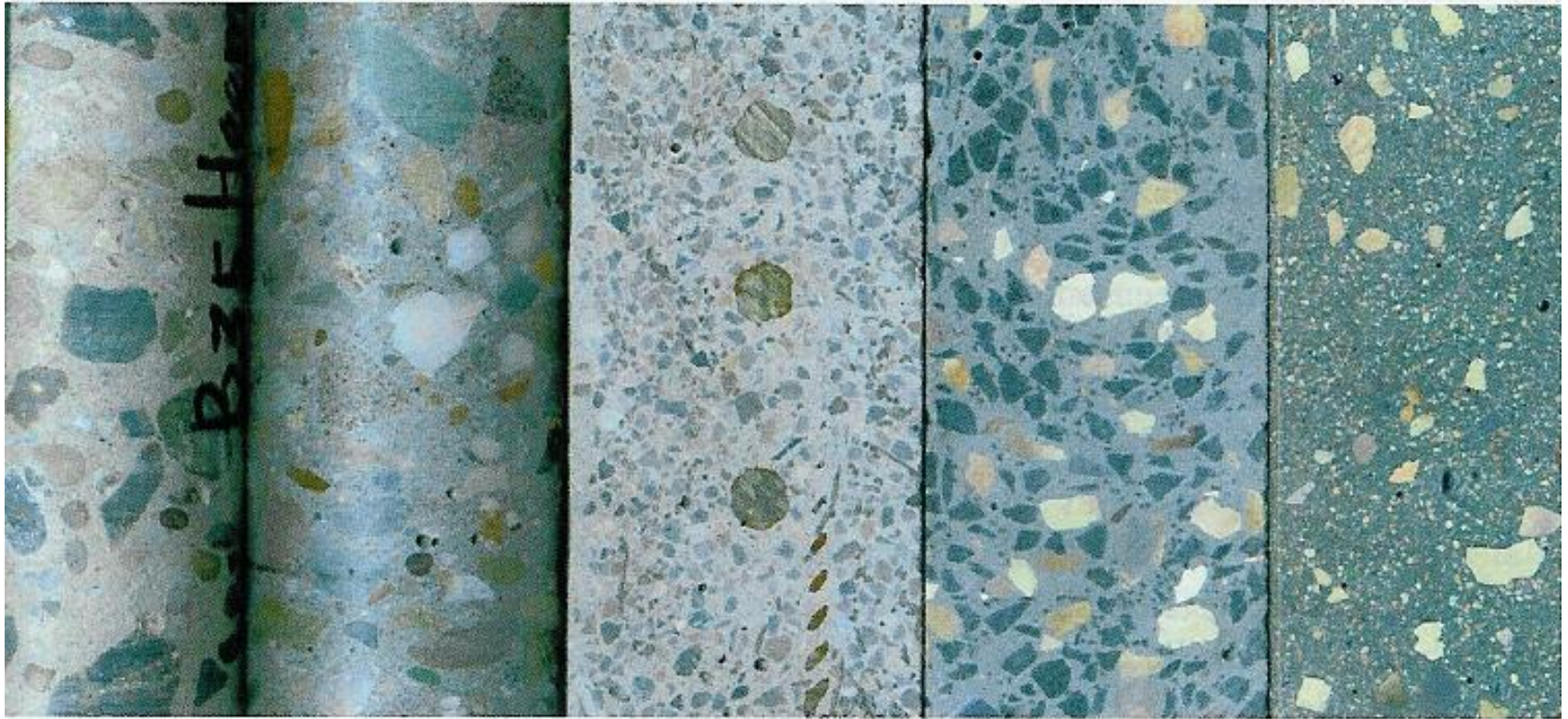


Geschematiseerde krachtsoverdracht in beton



Verlaging van spanningsconcentraties door kleinere korrel

Ontwikkeling naar Zeer Hogesterktebeton



C35

C85

C130

C200

C200



Aanhechting - druksterkte

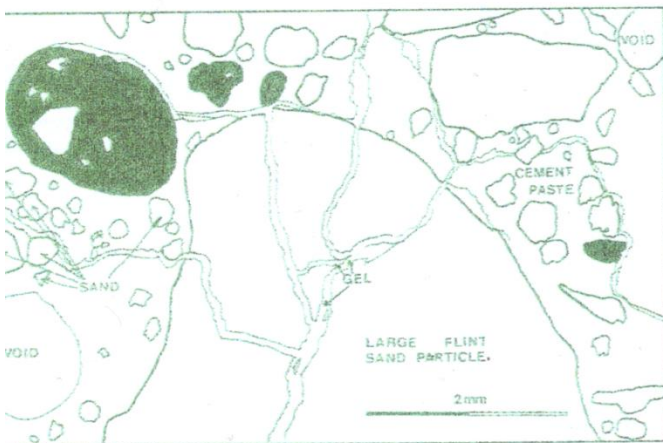
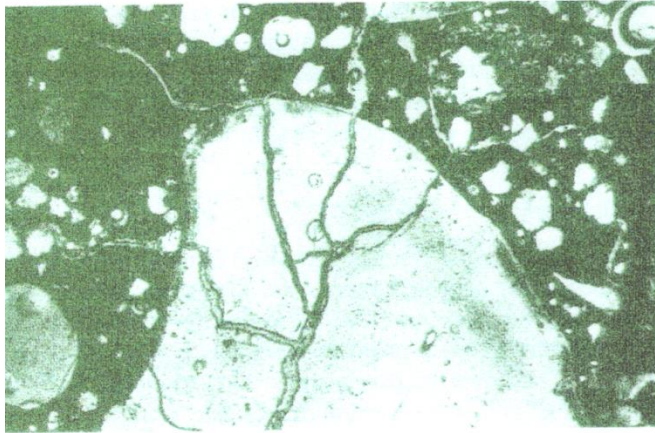


Aanhechting – slib - druksterkte



Zeer fijn materiaal < 0,063 mm.

Duurzaamheid - ASR



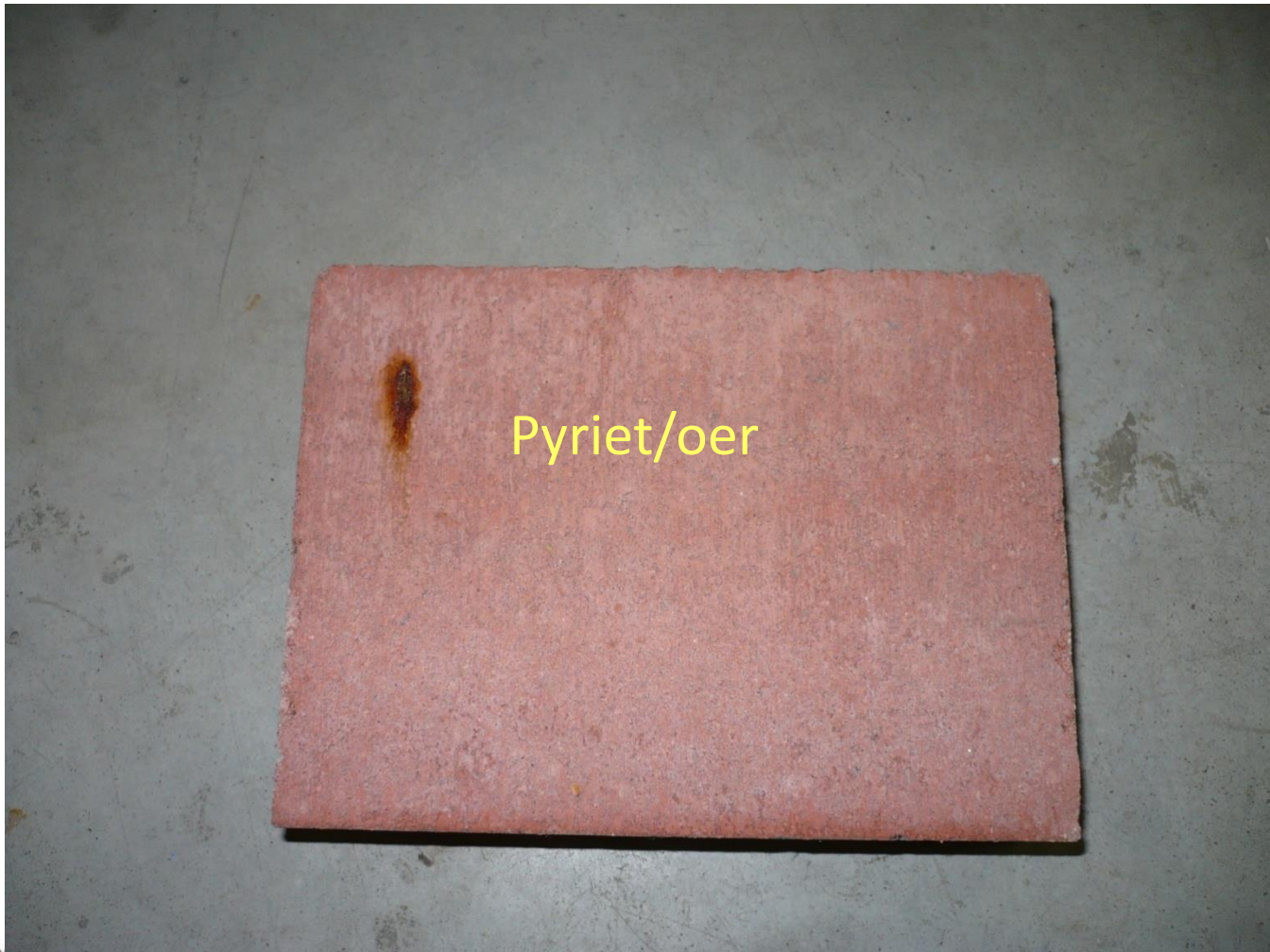
section photomicrograph and corresponding drawing showing an alkali-silica reaction (ASR) gel associated with a flint coarse sand particle in a concrete in the UK. (Figure of Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK.)



Duurzaamheid - Pyriet



Uiterlijk van beton



Nat/droog – wisselingen – zwellen/krimpen

968 Concrete aggregates

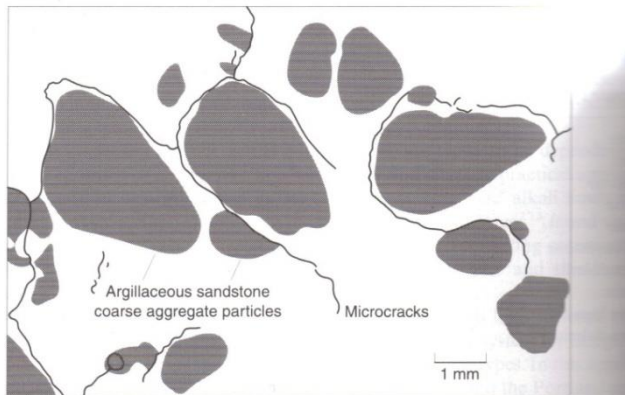


Fig. 16.25 Drawing taken from a ground section of concrete containing shrinkable coarse aggregate illustrating a typical microcrack development, magnification $\times 14$ (from Ref. 279).

16.6 Influence of aggregate on concrete properties 969

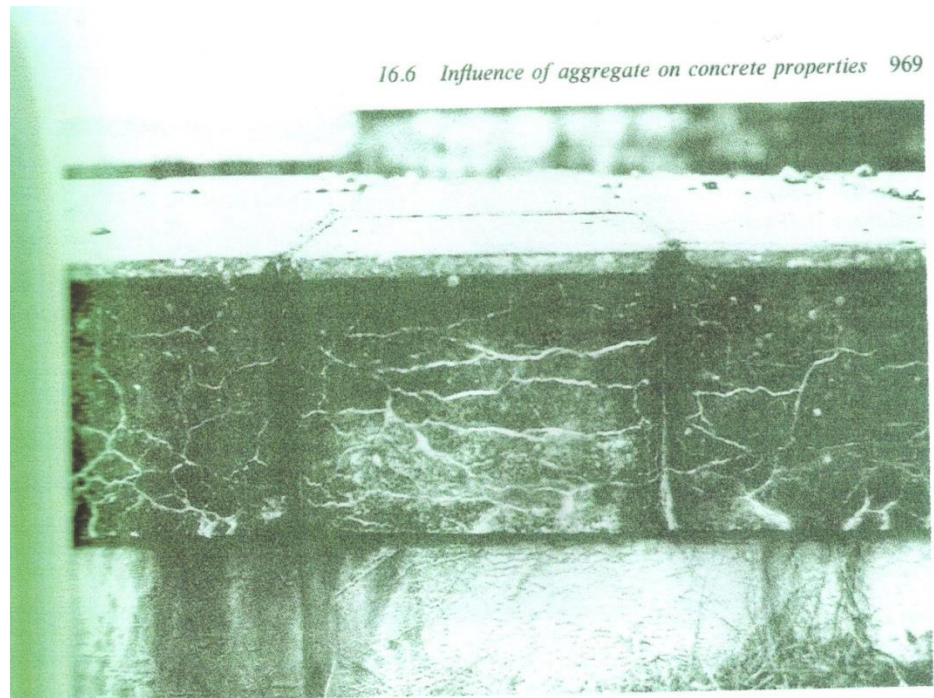
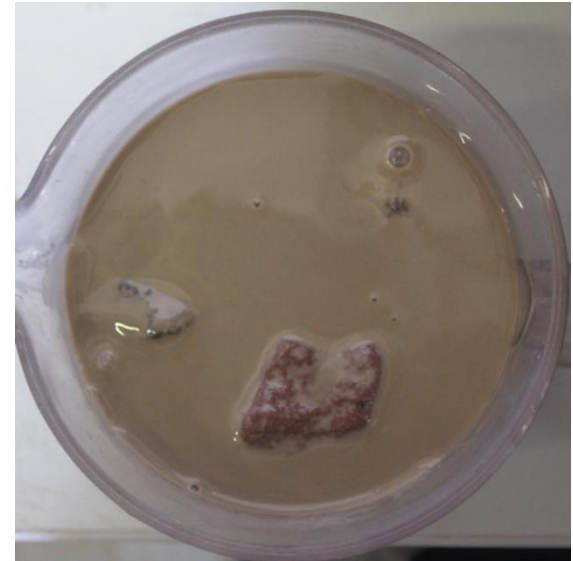


Fig. 16.26 Cracking of concretes caused by shrinkable aggregates. Further deterioration would occur as the result of freeze-thaw action facilitated by the shrinkage cracking. In the view shown, the shrinkage cracks are highlighted by white deposits of calcium carbonate, which have resulted from leaching of the cement paste by water percolating through the crack system. (Photograph courtesy of D. Palmer, retired, British Cement Association.)

Duurzaamheid - Vorst/dooi-wisselingen



Poreuze korrel



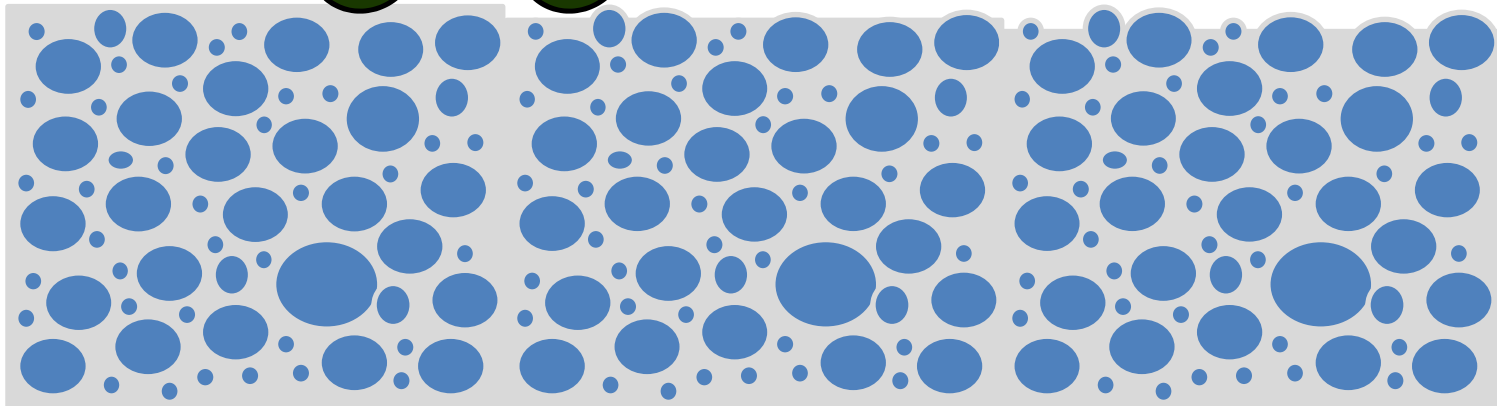
Duurzaamheid - Slijtage



Hout = zacht



Polijsten

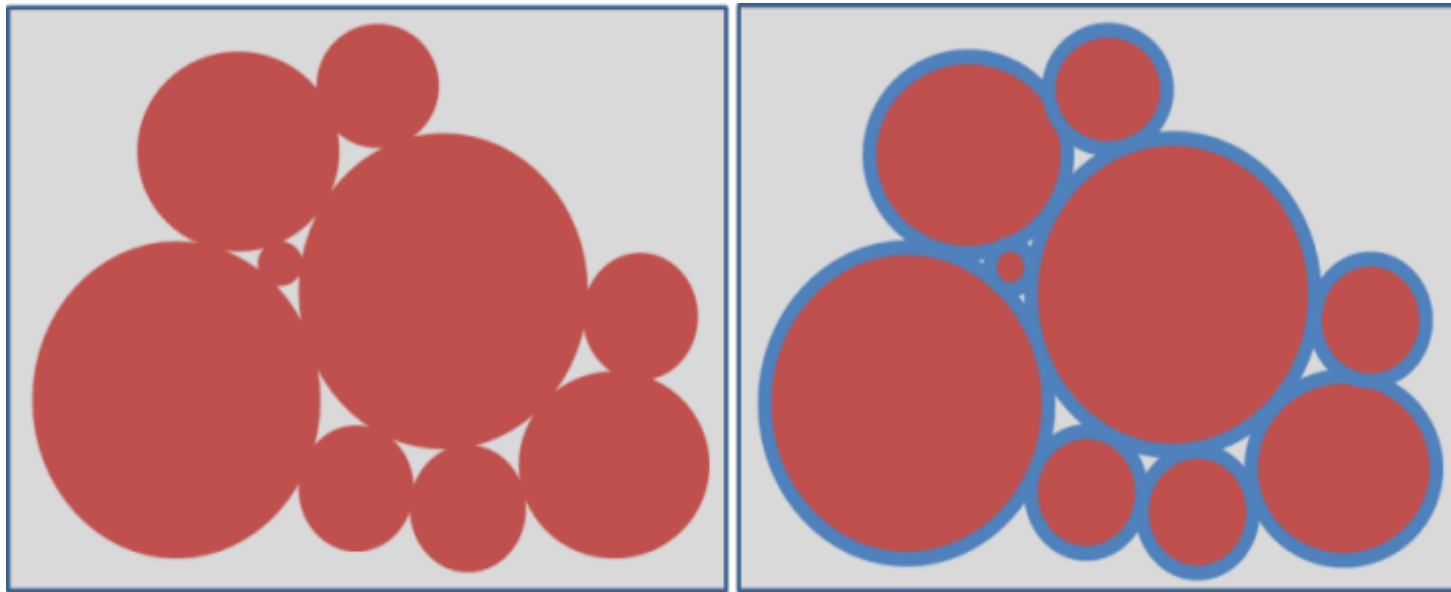


Waterbehoefte van beton

Waterbehoefte is de hoeveelheid water voor een bepaalde consistentie




- Rol van water
- Invloed van de korrelgrootteverdeling op de waterbehoefte
- Invloed van zeef fijn materiaal
- Korrelvorm

Een rol van water



Verschaffen van bewegingsvrijheid aan de korrels

Waterbehoefte voor benodigde consistentie

| Consistentieklassen | | | | | | |
|---------------------|---|--------------------|--|------------------|---|------------------|
| Rood = NEN 8005 | Verdichtingsmaat C NEN-EN 12350-4 | | Zetmaat S NEN-EN 12350-2 | | Schudmaat F NEN-EN 12350-5 | |
| |  | |  | |  | |
| Aanduiding | Sym | [-] | Sym | [mm] | Sym | [mm] |
| Droog | C0 | $\geq 1,46$ | | | | |
| Aardvochtig | C1 | 1,45 - 1,26 | S1 | 10 - 40 | F1 | ≤ 340 |
| Half plastisch | C2 | 1,25 - 1,11 | S2 | 50 - 90 | F2 | 350 - 410 |
| Plastisch | C3 | 1,10 - 1,04 | S3 | 100 - 150 | F3 | 420 - 480 |
| Zeer plastisch | | | S4 | 160 - 210 | F4 | 490 - 550 |
| Vloeibaar | | | S5 | ≥ 220 | F5 | 560 - 620 |
| Zeer vloeibaar | | | | | F6 | ≥ 630 |

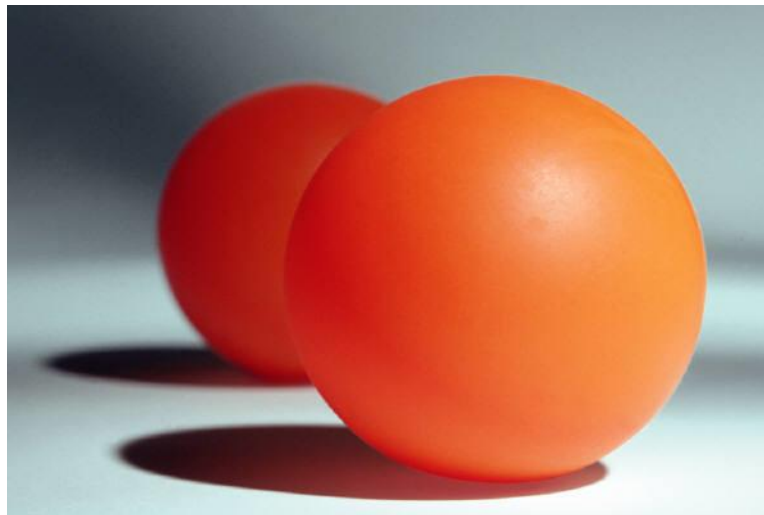


Oppervlak per volume

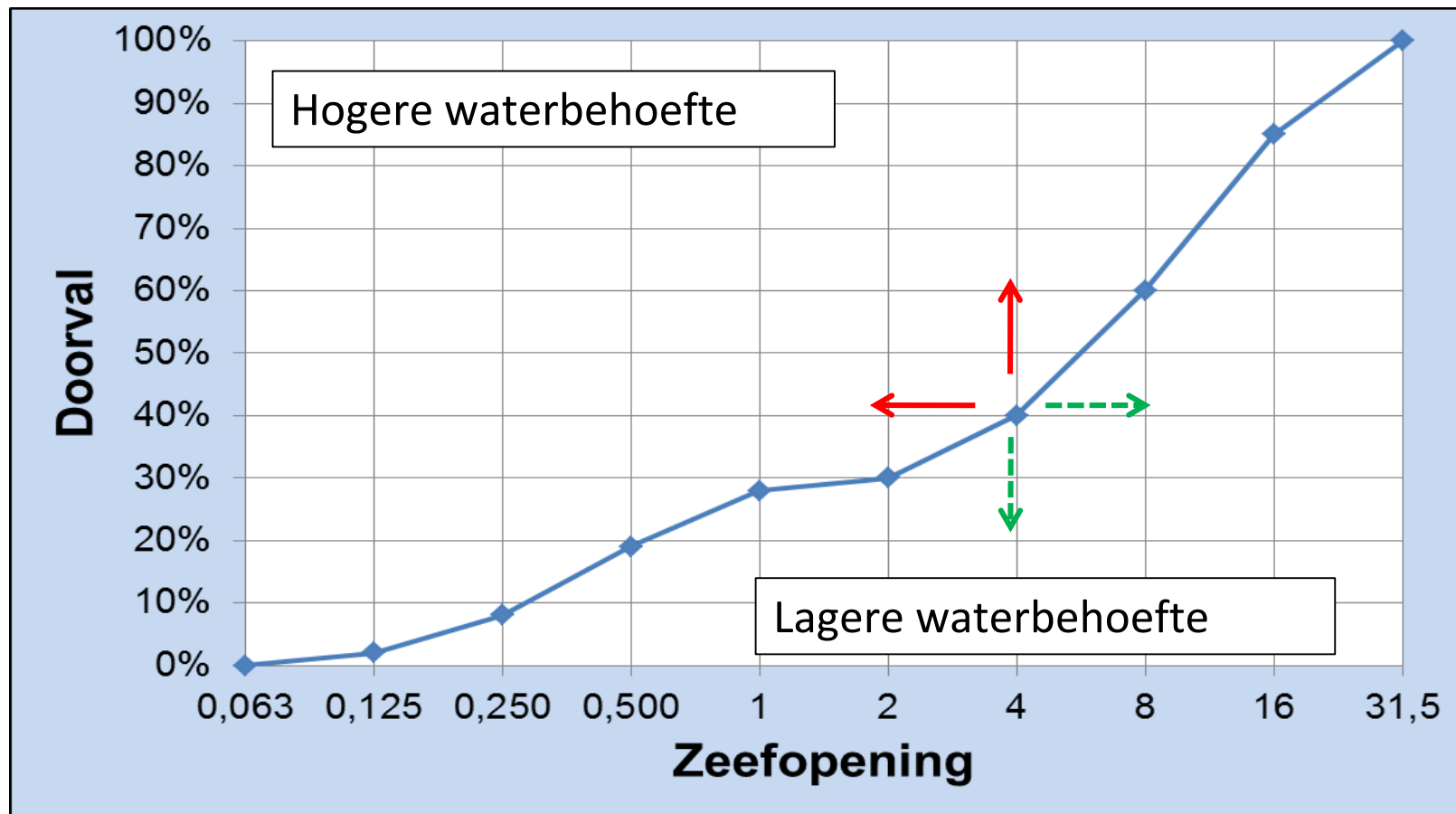
Oppervlak per volume van een **bol**:

$$\frac{\text{oppervlak}}{\text{volume}} = \frac{\pi \times d^2}{\frac{1}{6} \times \pi \times d^3} = \frac{6}{d}$$

Volgt uit
korrelgrootteverdeling



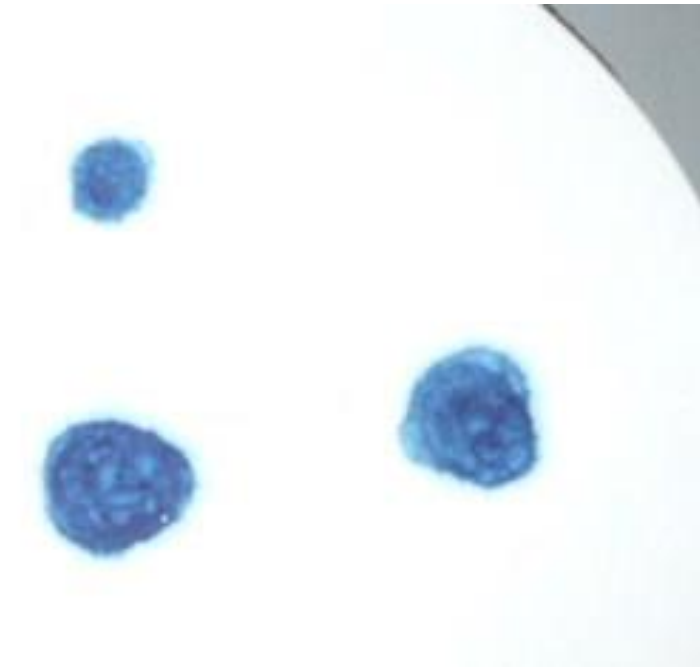
Korrelgrootteverdeling en waterbehoefte



Kwaliteit van het zeer fijn $< 0,063$ en waterbehoefte

1. Zandequivalent (*SE*)

2. Methyleenblauwwaarde (*MB*)



Korrelvorm en waterbehoefte



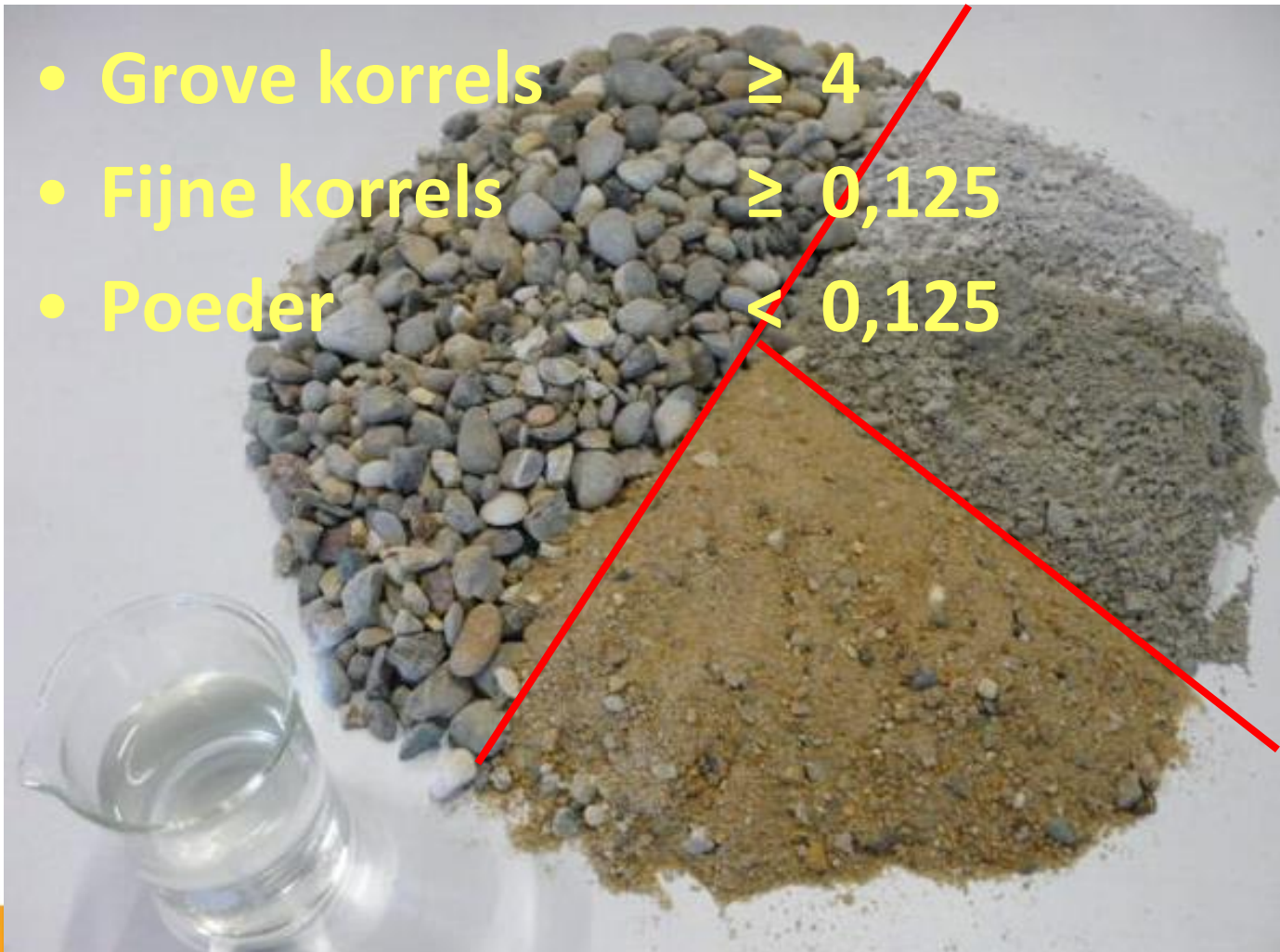
Relatief rond grind



Gebroken kalksteen

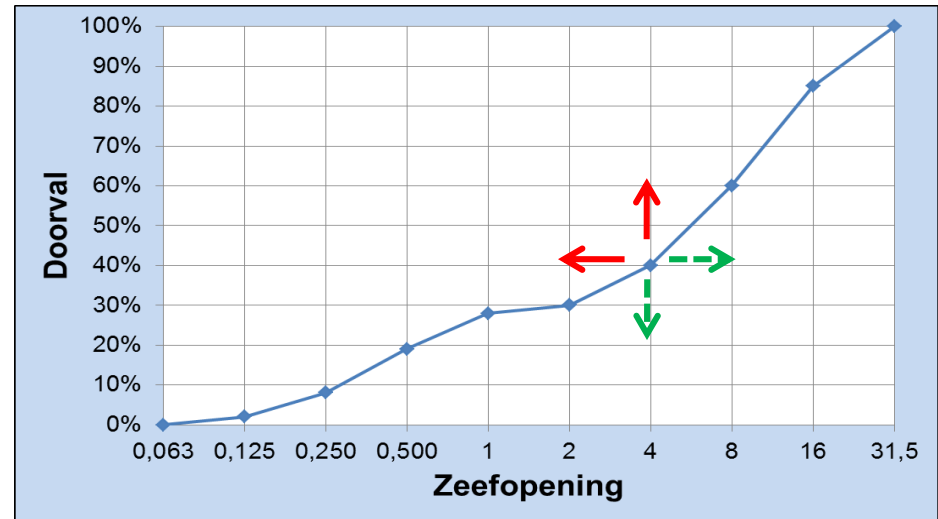
Indeling korrels

- Grove korrels ≥ 4
- Fijne korrels $\geq 0,125$
- Poeder $< 0,125$



Optimale pakking

Minimale
waterbehoefte,



maar wel dichte structuur!

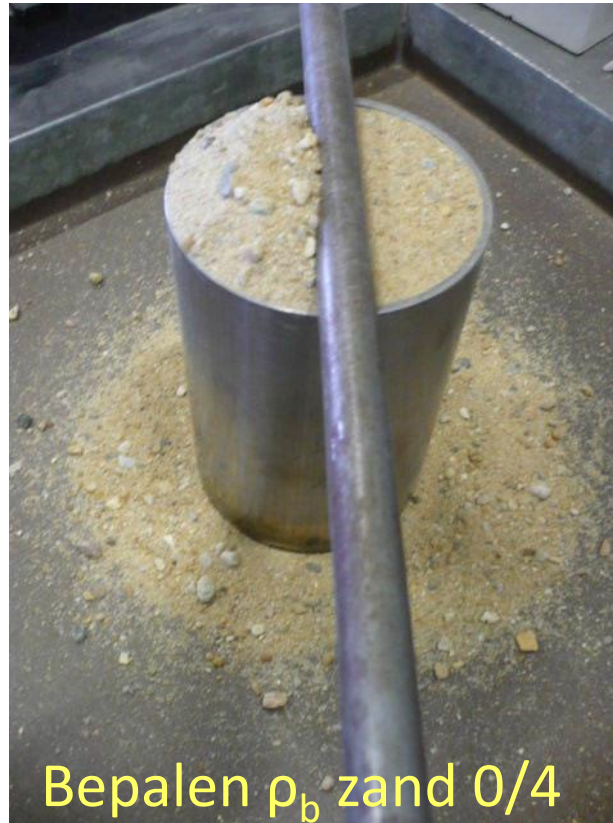


Gehalte aan holle ruimten

$$v = \frac{\rho_{rd} - \rho_b}{\rho_{rd}} \times 100\% \quad [\%]$$

Minste holle ruimten ?

Algemeen:
Hoe groter
verschil tussen
d en D, des te
minder holle
ruimten!



Bepalen ρ_b zand 0/4



Bepalen ρ_b grind 4/16

Holle ruimte percentage

Fijn zand

- $\rho_b = 1500 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{rd} = 2650 \text{ kg/m}^3$

- Hoe groot is het holle ruimte percentage ?

Holle ruimte percentage

Fijn zand

- $\rho_b = 1500 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{rd} = 2650 \text{ kg/m}^3$

$$v = \left(\frac{2650 - 1500}{2650} \right) \times 100\% = 43\%$$

Holle ruimte percentage

Cement

- $\rho_b = 1100 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{rd} = 3150 \text{ kg/m}^3$

- Hoe groot is het holle ruimte percentage (groter of kleiner dan dat van zand)?

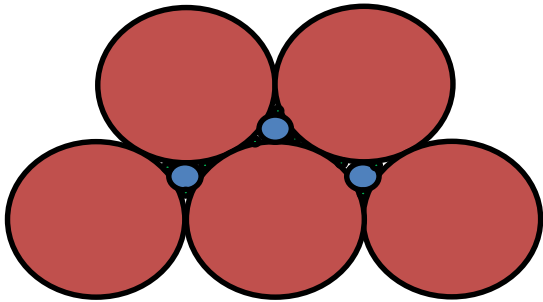
Holle ruimte percentage

Cement

- $\rho_b = 1100 \text{ kg/m}^3$
- $\rho_{rd} = 3150 \text{ kg/m}^3$

$$\left(\frac{3150 - 1100}{3150} \right) \times 100\% = 65\%$$

Dichtste korrelstapeling



Gegeven: fractie 16/32, fractie 2/4 en fractie 0,250/0,500. Voor alle fracties geldt dat

$$\rho_b = 1500 \text{ kg/m}^3 \text{ en } \rho_{rd} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

1 m³ = 1000 liter en kan dus 1500 kg van de fractie 16/32 bevatten

Overgebleven holle ruimte: $(2650-1500)/2650 \times 100\% = 43,4\%$
= 0,434 m³.

In deze ruimten past $0,434 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ kg/ m}^3 = 651 \text{ kg}$ van de fractie 2/4

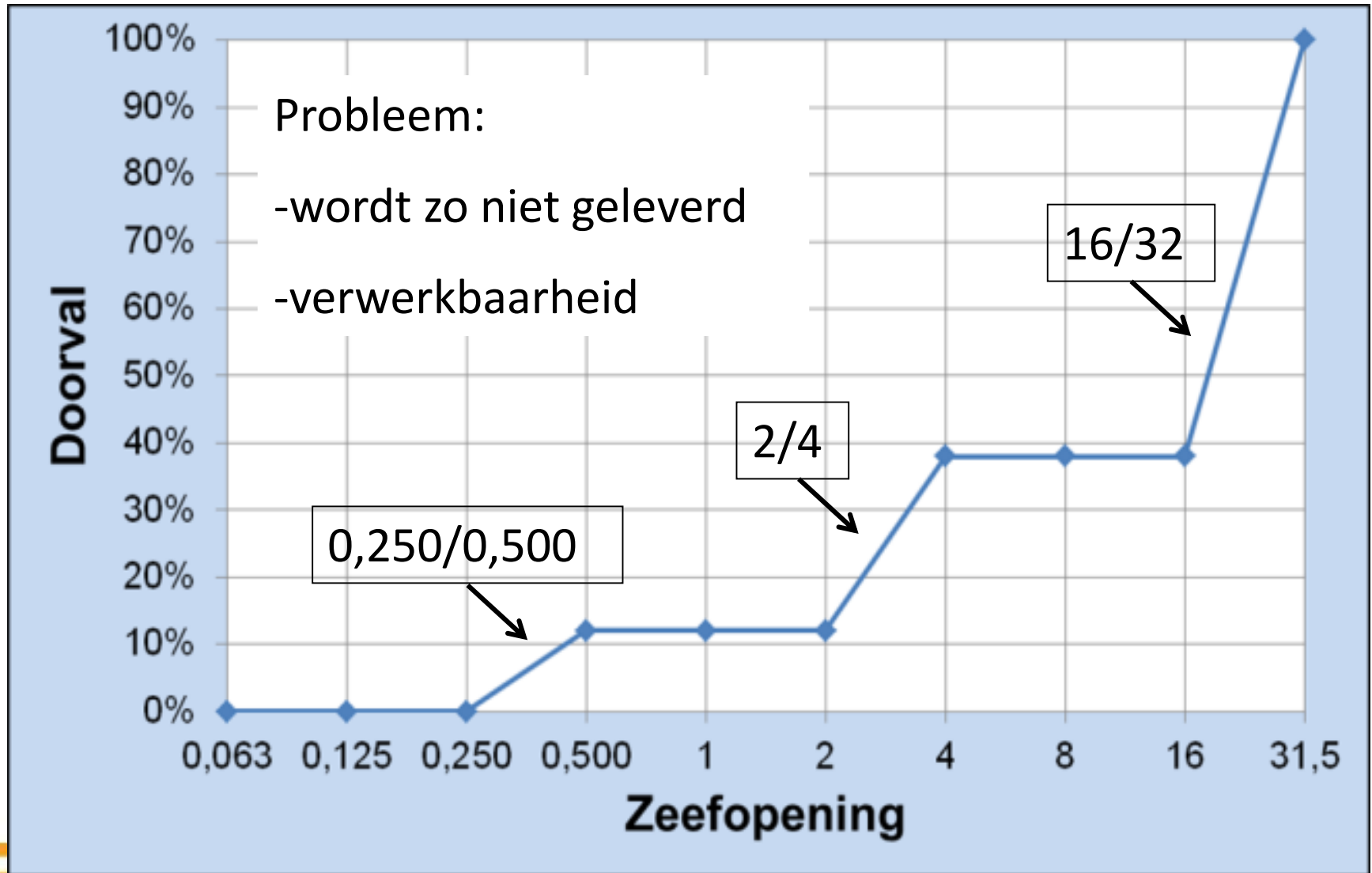
Overgebleven holle ruimte: $43,4\% - ((651/2650) \times 100\%)$
= $43,4\% - 24,6\% = 18,8\%$

In deze ruimte past $0,188 \text{ m}^3 \times 1500 \text{ kg/ m}^3 = 282 \text{ kg}$ van de fractie 0,250/0,500

Overgebleven holle ruimte: $18,8\% - ((282/2650) \times 100\%) = 18,8\% - 10,6\% = 8,2\%$.

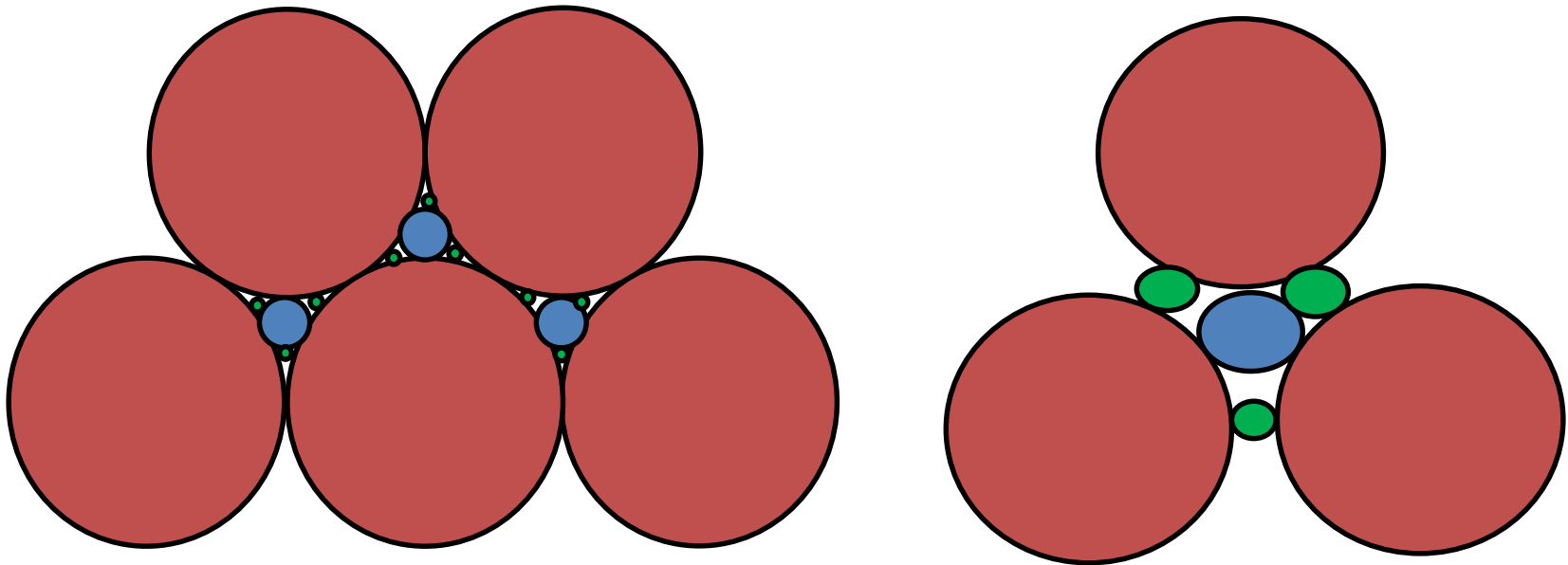
Er blijft nog 8,2% lucht, dus 0,082 m³ over om te vullen met poeder en water.

Discontinue korrelgrootteverdeling



'Particle interference'

Indien korrels niet in holle ruimten passen:
korrels drukken elkaar uiteen

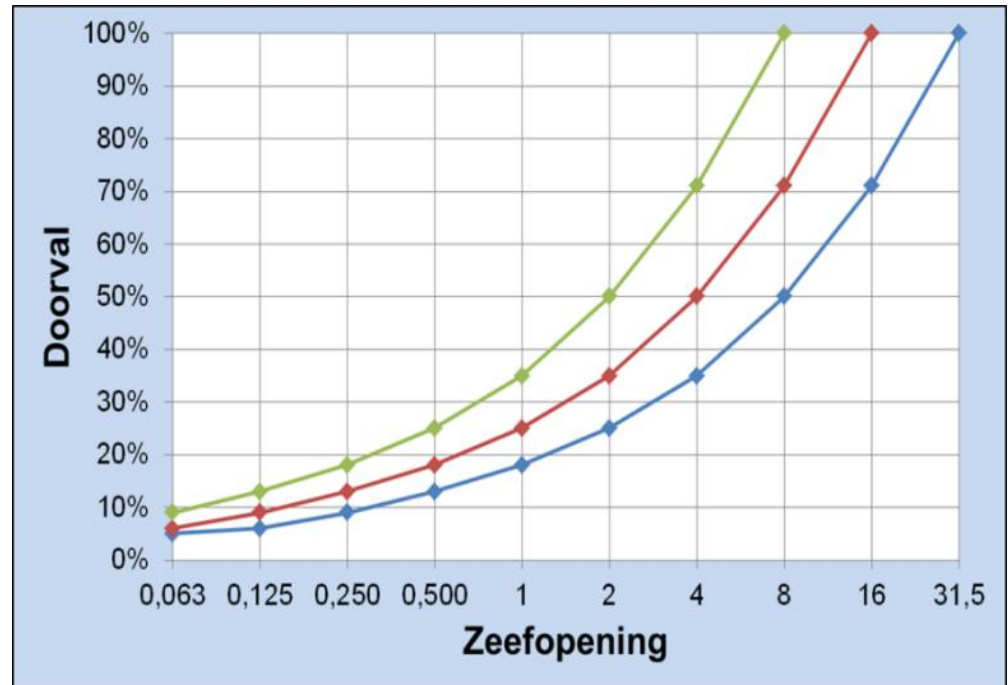


Gevolg: niet gemakkelijk te berekenen

Fuller-kromme

| Zeefopening | Dmax | | |
|-------------|------|------|------|
| | 31,5 | 16 | 8 |
| 31,5 | 100% | | |
| 16 | 71% | 100% | |
| 8 | 50% | 71% | 100% |
| 4 | 35% | 50% | 71% |
| 2 | 25% | 35% | 50% |
| 1 | 18% | 25% | 35% |
| 0,500 | 13% | 18% | 25% |
| 0,250 | 9% | 13% | 18% |
| 0,125 | 6% | 9% | 13% |
| 0,063 | 5% | 6% | 9% |

$$p\%(d) = 100\% \times \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}}$$



Minimale waterbehoefte bij een zo dicht mogelijke pakking – Continue korrelverdeling

Stabiliteit en verwerkbaarheid en korrelstapeling

- In elkaar verweven eigenschappen
 1. Weinig water – groene sterkte
 2. Veel water – bleeding
 3. Heel veel water – ontmenging en bleeding

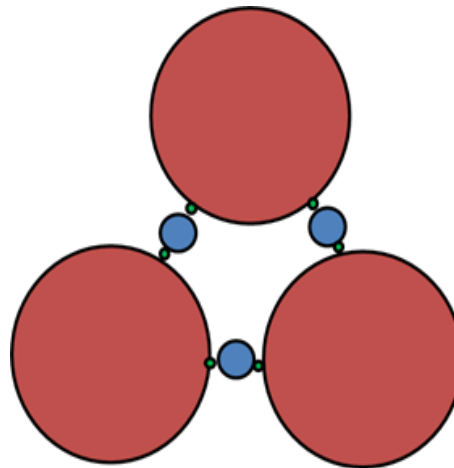
Fuller-kromme inclusief poeder

- Ideale korrelverdeling Fuller geeft een te groot risico op ontmenging
- Daarom extra eisen aan minimaal fijn materiaal in de norm (0,25 mm).

'Kogellagereffect'

Bij een continue korrelverdeling

Compromis tussen pakking en verwerkbaarheid en stabiliteit



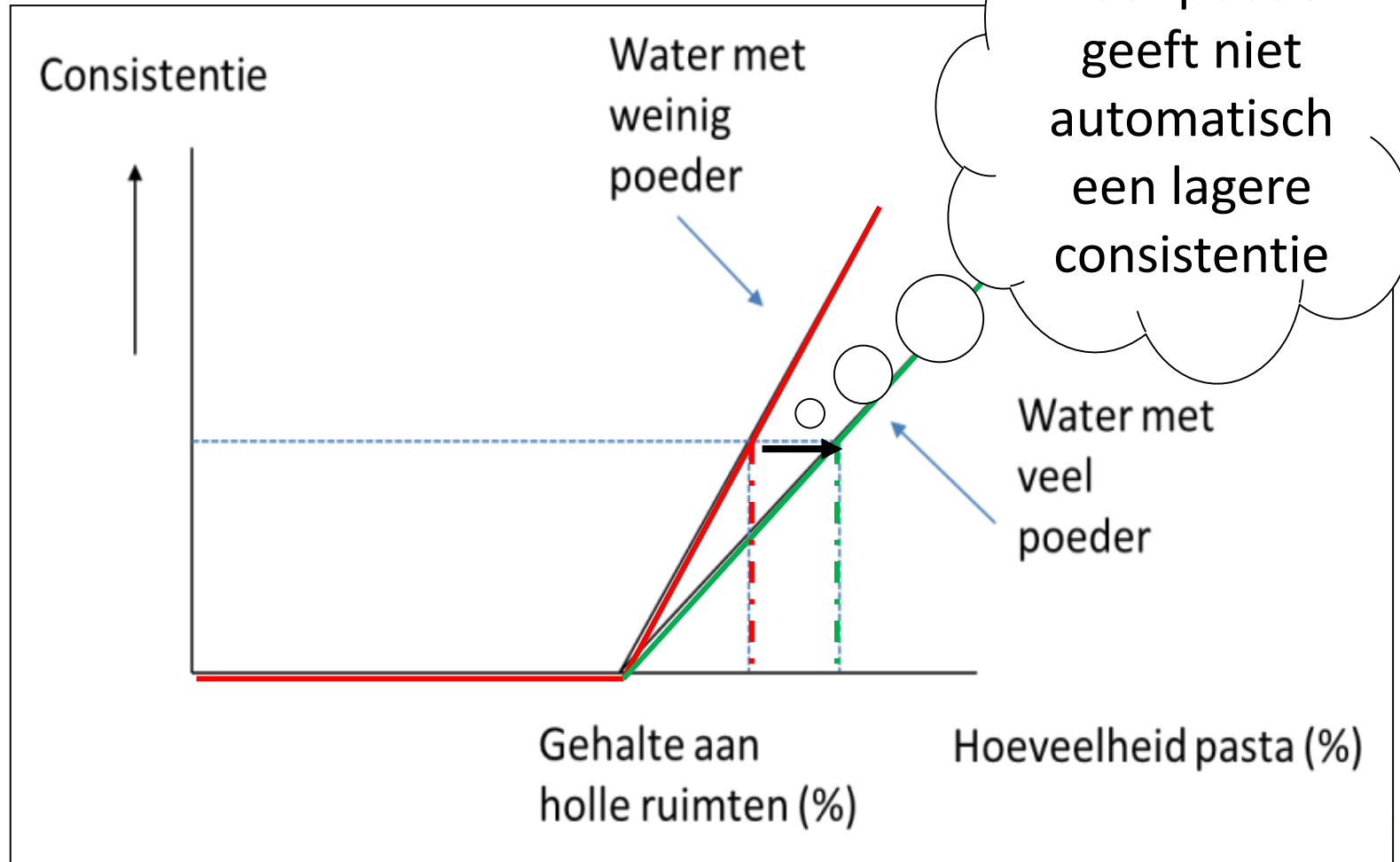
Grote korrels
rollen over de
kleine

Door dit effect relatief minder water nodig voor de consistentie

Voordeel: hoge consistenties, zonder veel water en ontmenging

Nadeel: optimale pakking is niet meer als enige bepalend voor verhouding.

Invloed poeder en water



Waterbehoefte

Waterbehoefte van beton wordt door de het toeslagmateriaal bepaald

| Consistentieklasse | D_{\max} | | | | |
|--------------------|------------|-----|-----|-----|------|
| | 8 | 11 | 16 | 22 | 31,5 |
| 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 |

In kg per kubieke meter betonspecie

Waterbehoefte

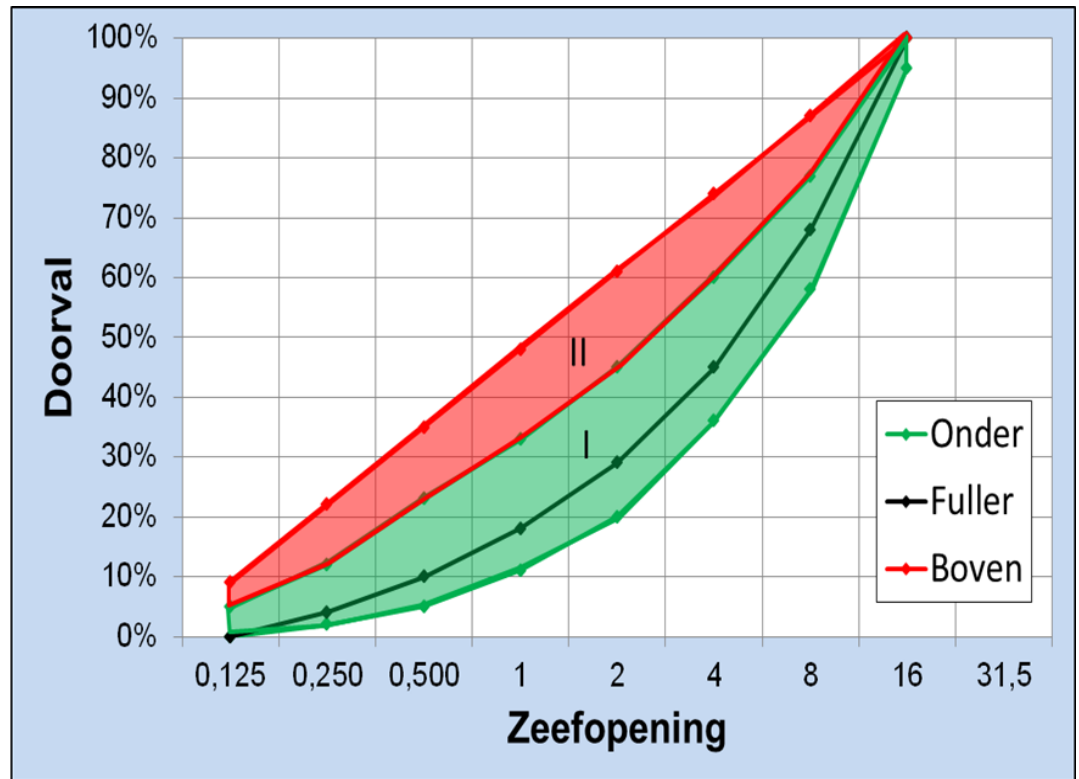
Waterbehoefte van beton wordt door het toeslagmateriaal bepaald

| Consistentieklasse | D_{\max} | | | | |
|--------------------|------------|-----|-----|-----|------|
| | 8 | 11 | 16 | 22 | 31,5 |
| 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 |

In kg per kubieke meter betonspecie

Ontwerpgebieden

| Zeefopening | Lijn | | | |
|-------------|-------|--------|-------|-------|
| | Onder | Fuller | Grens | Boven |
| 31,5 | | | | |
| 16 | 95% | 100% | 100% | 100% |
| 8 | 58% | 68% | 77% | 87% |
| 4 | 36% | 45% | 60% | 74% |
| 2 | 20% | 29% | 45% | 61% |
| 1 | 11% | 18% | 33% | 48% |
| 0,500 | 5% | 10% | 23% | 35% |
| 0,250 | 2% | 4% | 12% | 22% |
| 0,125 | 0% | 0% | 5% | 9% |



In ontwerpgebied I : gelijke waterbehoefte

In ontwerpgebied II: + 20 kg water

Korrelvorm & waterbehoefte



Minimale hoeveelheid fijn < 0,250

| D_{\max} | Minimale hoeveelheid fijn < 0,250 (liters/m ³) |
|------------|--|
| 4-8 | In onderling overleg |
| 8 | 140 |
| 11 | 130 |
| 16 | 125 |
| 22 | 120 |
| 32 | 115 |

- Al het poeder: cement + vulstof
- Gedeelte < 0,250 uit toeslagmateriaal (= Grofweg 7 liter voor elke 1% in zand, aflezen in de korrelgrootteverdeling)
- Inclusief d.m.v. luchtbelvormer ingebrachte lucht boven 2% (zie Hoofdstuk 5&6)

Verschil 'ontwerpgebieden – Fuller'

