



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



## Korrelpakking optimalisatie

Eén van de handelingsperspectieven  
voor CO<sub>2</sub> reductie en MKI verlaging van  
beton.

Sonja Fennis

30-9-2021



# Inhoud

- Waarom korrelpakking optimalisatie?
- Hoe werkt het?
- Invloedsfactoren
- Methodes
- Praktijkvoorbeelden
- Kansen voor de toekomst



# Waarom korrelpakking optimalisatie?

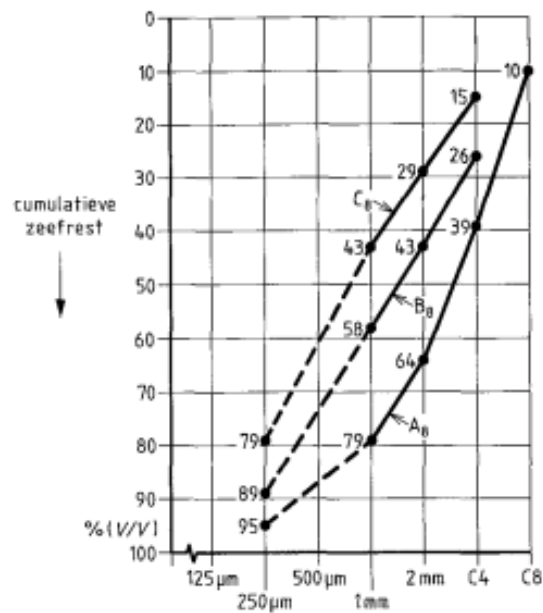
## Handelingsperspectieven en reductie potentieel





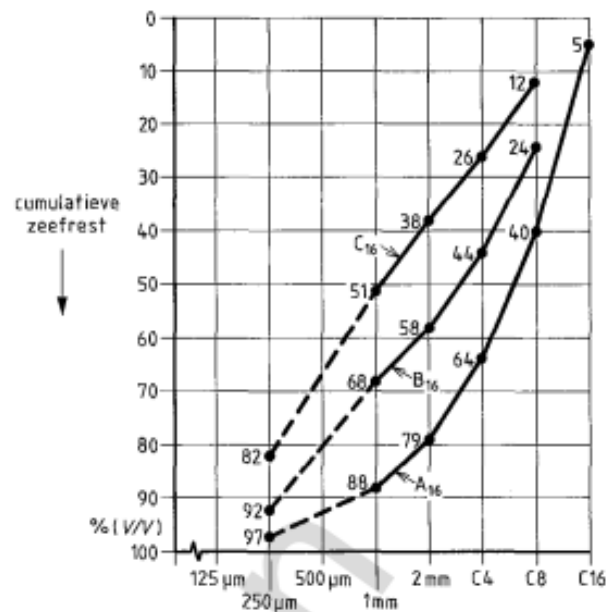
# Gebruik van korrelgraderingen

NEN 8005:2002



zeven volgens NEN 2560

Figuur 1 – Grenslijnen voor korrelgroep 0-8



zeven volgens NEN 2560

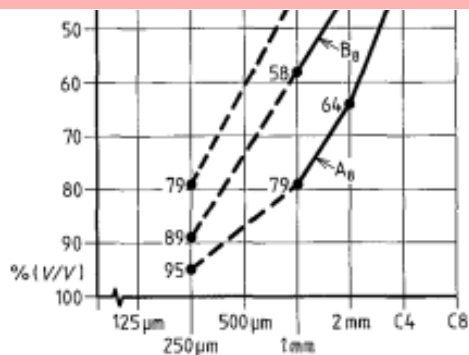
Figuur 2 – Grenslijnen voor korrelgroep 0-16



# Gebruik van korrelgraderingen

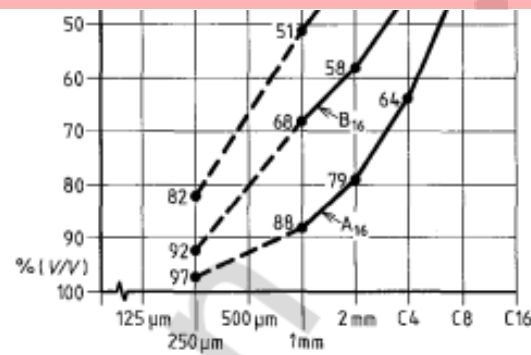
## Korrelverdeling van het toeslagmateriaal

**OPMERKING** Aanbevolen wordt om ter wille van de duurzaamheid van beton gedurende de geplande levensduur een korrelverdeling van het toeslagmateriaal toe te passen volgens de figuren 1, 2, 3 en 4 (6.3 van NEN 5950:1995). Graderingsgebied A-B verdient daarbij de voorkeur. Bij toepassing van graderingsgebied A-C is het raadzaam het minimumcementgehalte met  $20 \text{ kg/m}^3$  te verhogen.



zeven volgens NEN 2560

Figuur 1 – Grenslijnen voor korrelgroep 0-8



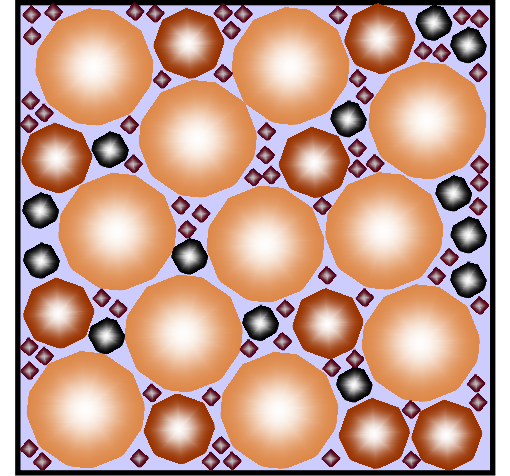
zeven volgens NEN 2560

Figuur 2 – Grenslijnen voor korrelgroep 0-16



# Waarom korrelpakking optimalisatie?

- Duurzame beton:
  - Sustainable
  - Levensduur geborgd
- Goede korrelpakking levert een goede kwaliteit beton (dichte structuur)
- Technologie is beschikbaar
- Direct toepasbaar - past (grotendeels) binnen bestaande regelgeving

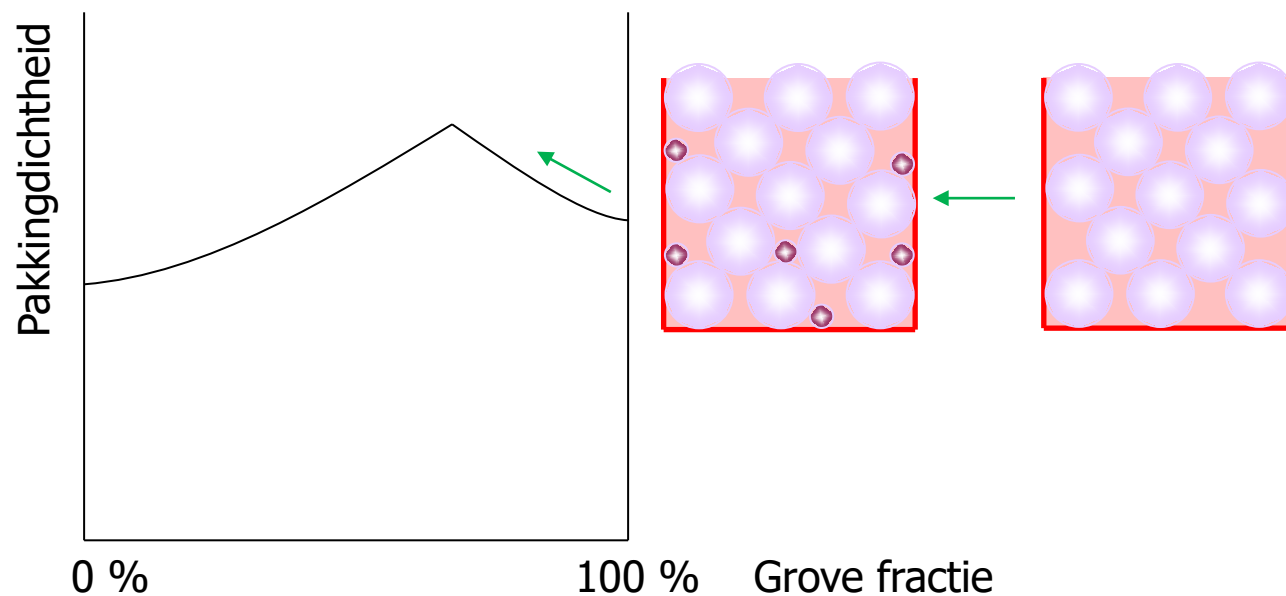






# Hoe werkt het?

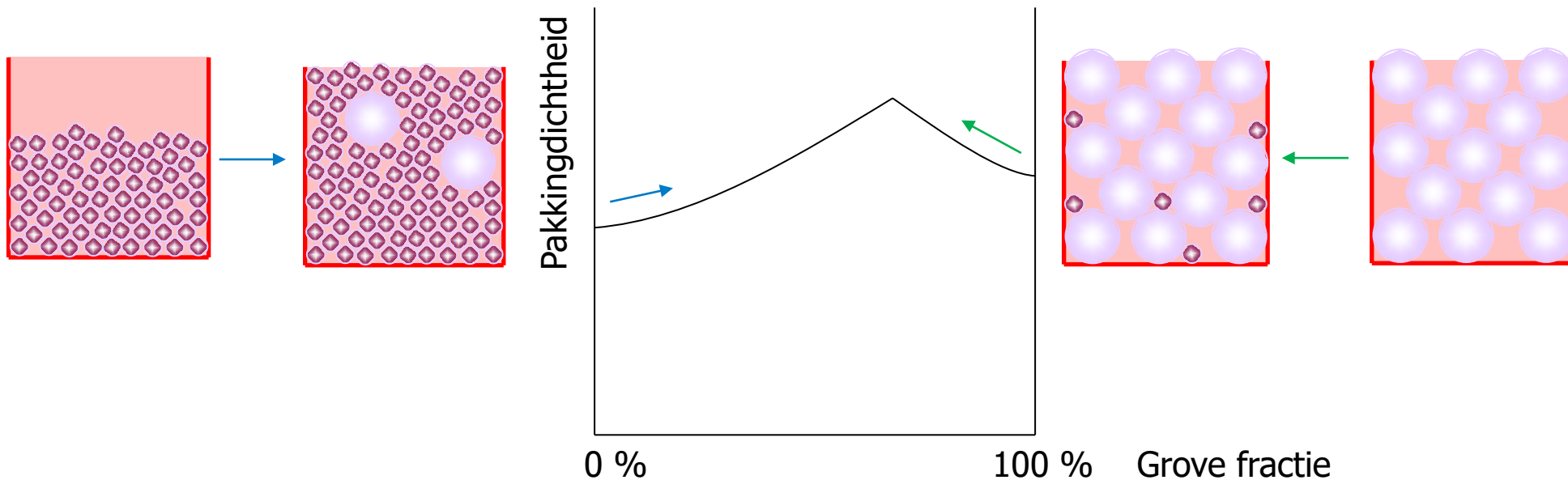
- Voorbeeld met 2 grondstoffen: bijvoorbeeld zand en grind.





# Hoe werkt het?

- Voorbeeld met 2 grondstoffen: bijvoorbeeld zand en grind.

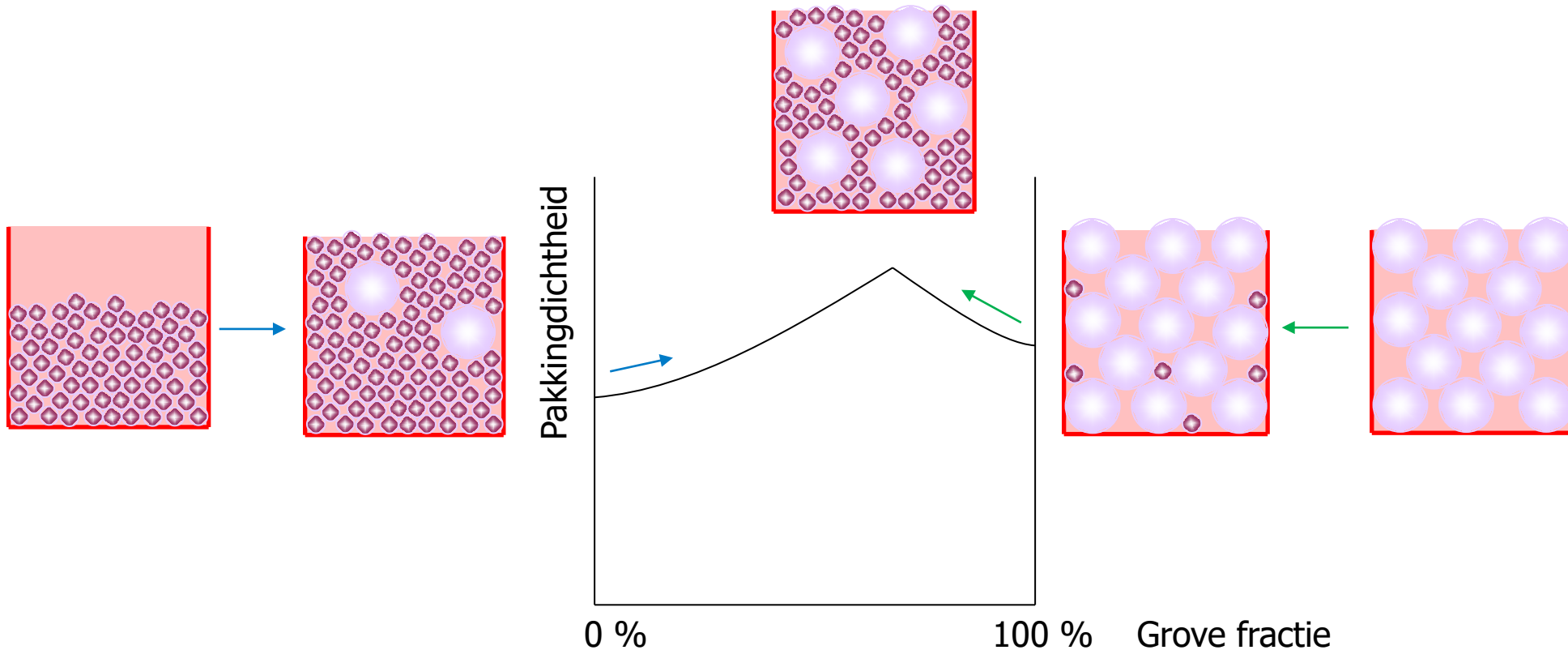






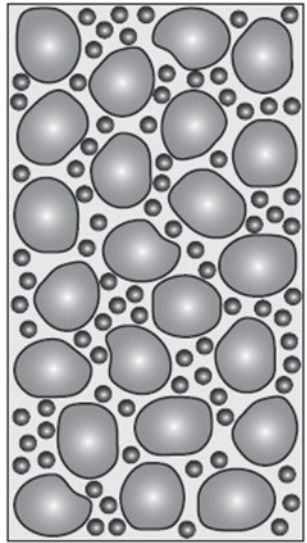
# Hoe werkt het?

- Voorbeeld met 2 grondstoffen: bijvoorbeeld zand en grind.

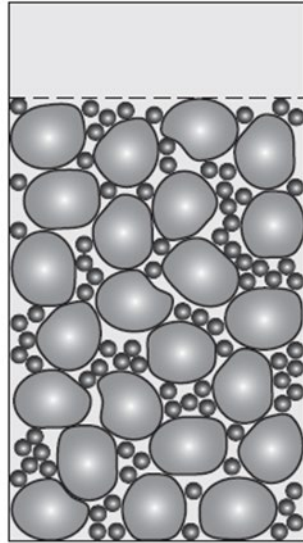




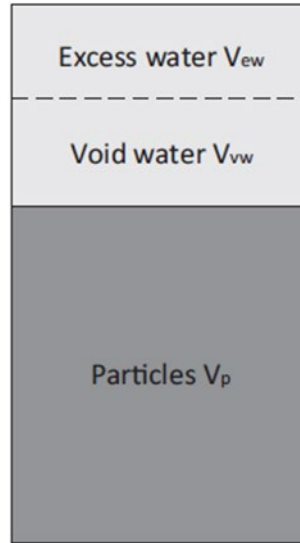
# Hoe werkt het?



Mixture



Stable particle structure



Components

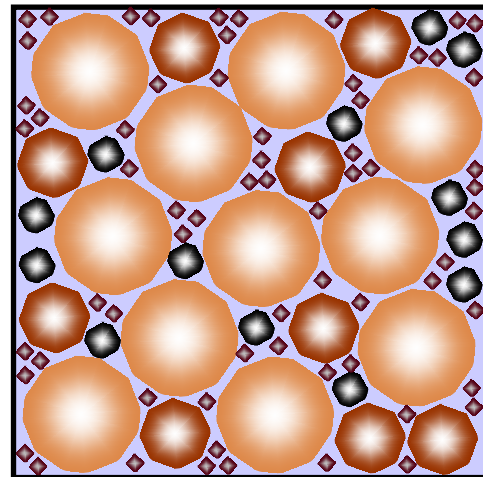


Minder water in het mengsel:  
gunstig voor de  
waterbindmiddelfactor.



# Invloedsfactoren korrelpakking

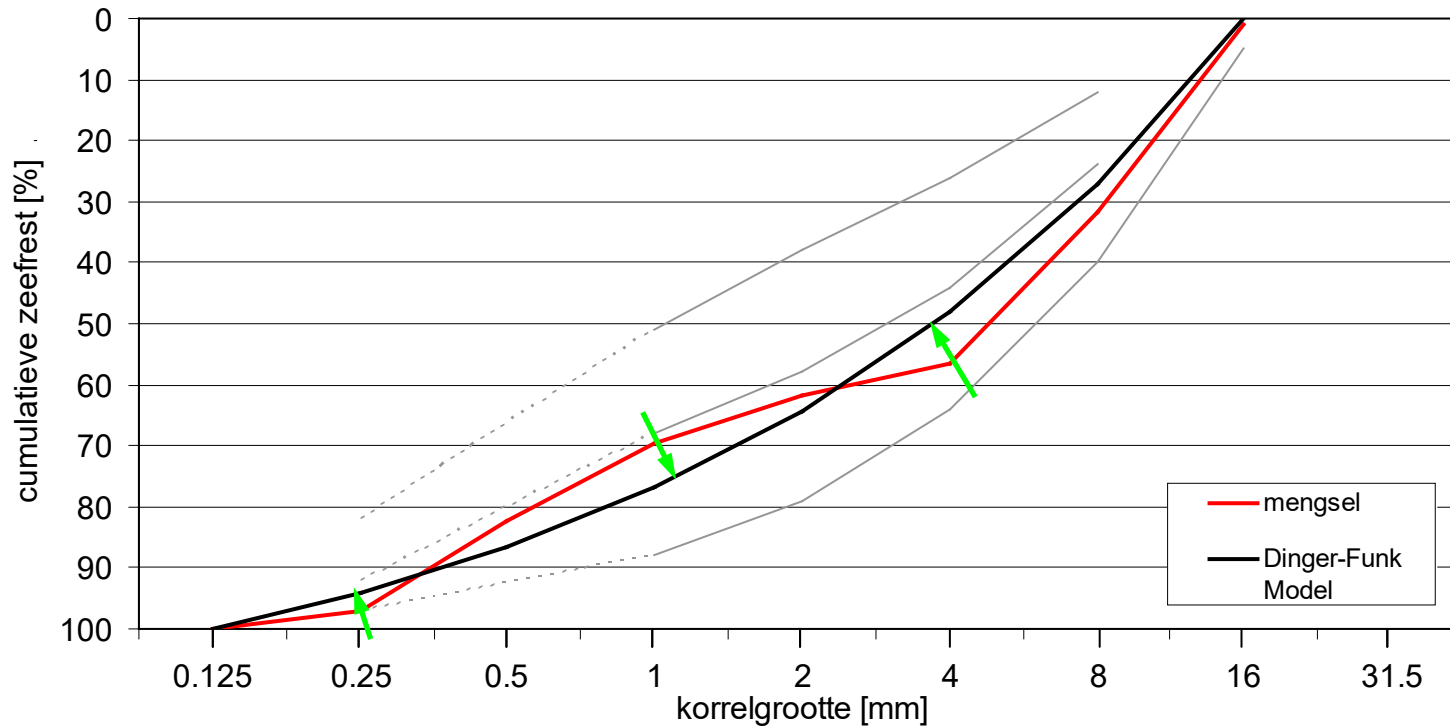
- Korrelgrootte (korrelverdeling)
- Korrelvorm
- Vormvastheid
- Dichtheid
- Porositeit
- Krachten tussen korrels
- Plaatsingsmethode





# Invloedsfactoren korrelpakking

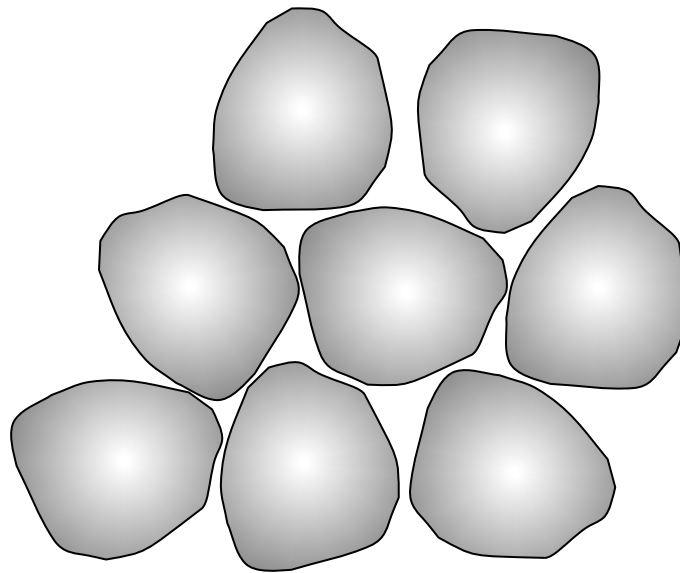
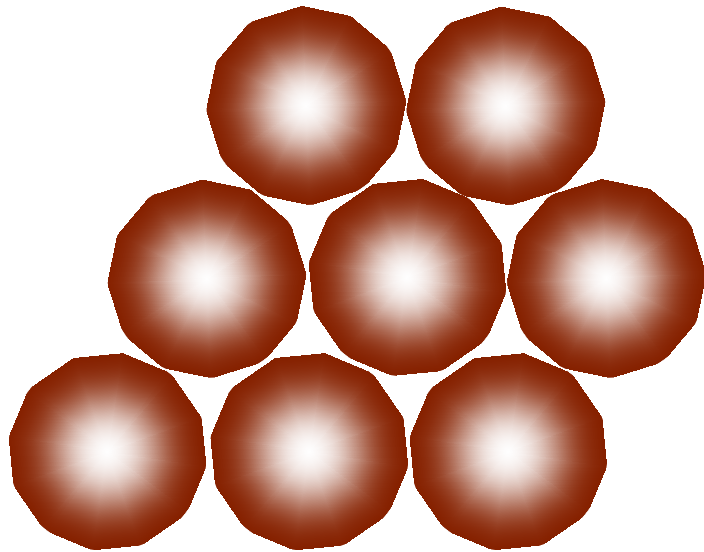
- Korrelgrootte (korrelverdeling)





# Invloedsfactoren korreelpakking

- Korrelvorm





# Invloedsfactoren korrelpakking

- Porositeit

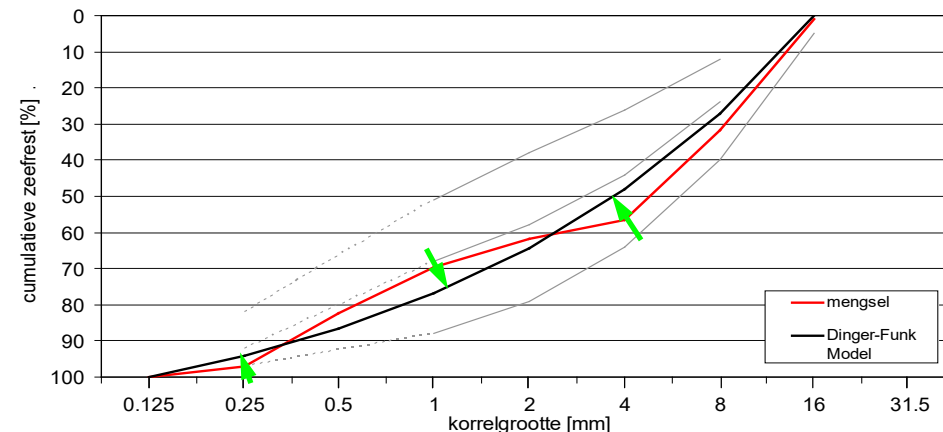




# Methodes

Enkele voorbeelden van beschikbare software:

- Korrelverdeling: bijvoorbeeld [EMMA](#)
- Spreadsheets: bijvoorbeeld van TUDelft
- Toufar model: [Packing \(Betonhuis Cement\)](#)
- Linear Packing density model: [4C-Packing](#)
- Compressible Packing model: [Betonlabpro](#)
- Full 3D simulations: [concrete.nist.gov](http://concrete.nist.gov)







# Aan de slag in de praktijk

## Grondstof:

- Korrelverdeling
- Soortelijk gewicht van het materiaal
- Soortelijk gewicht - los gestort NEN-EN 1097-3



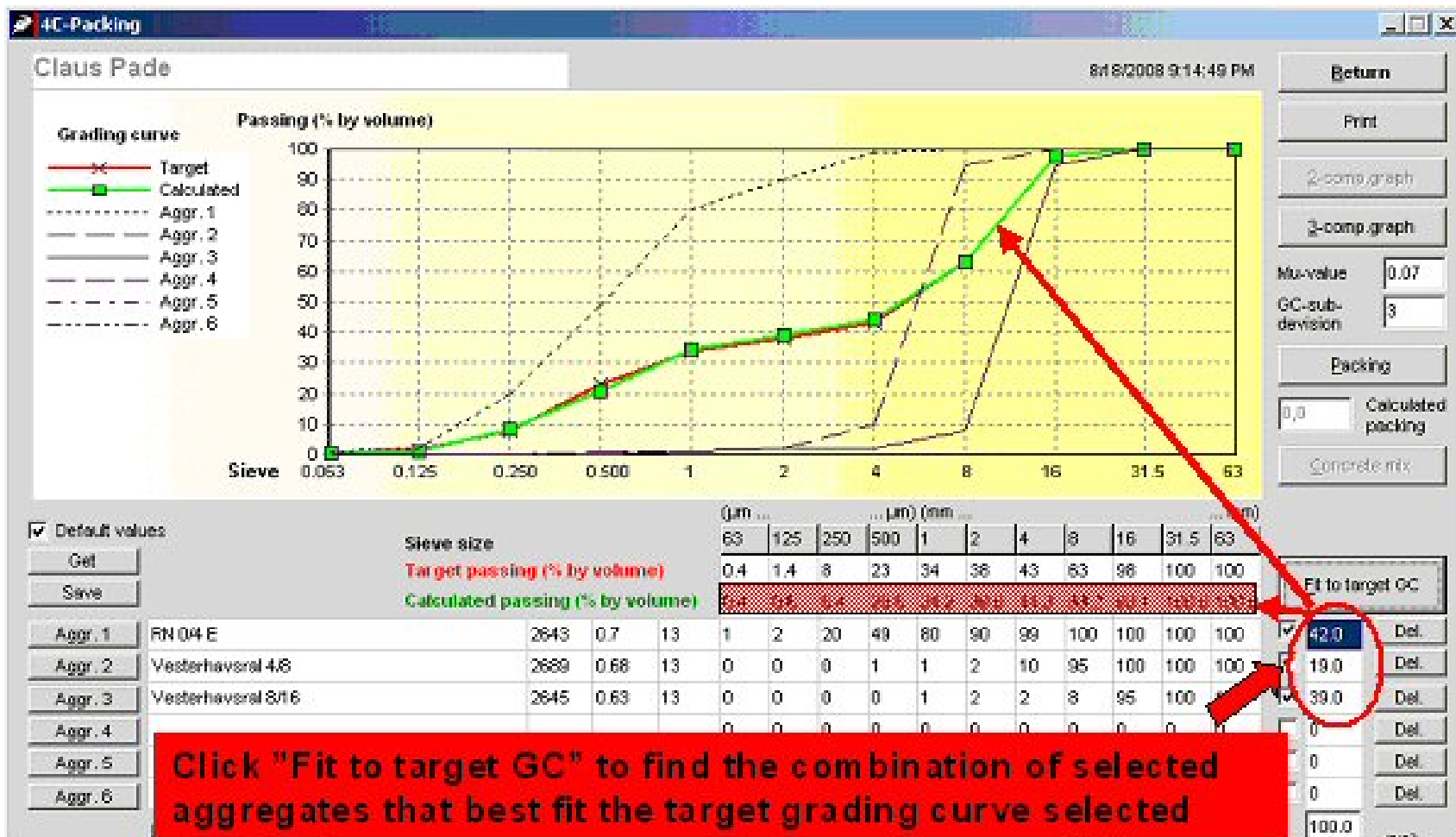
(2600 kg/m<sup>3</sup>)

(1600 kg/m<sup>3</sup>)

- > Invoeren in pakkingmodel. (Packing of 4C-Packing)
- > Optimale verhouding tussen materiaal A, B en C.



# 4C-Packing (<https://www.dti.dk/4c-packing/the-software/2783>)



Click "Fit to target GC" to find the combination of selected aggregates that best fit the target grading curve selected



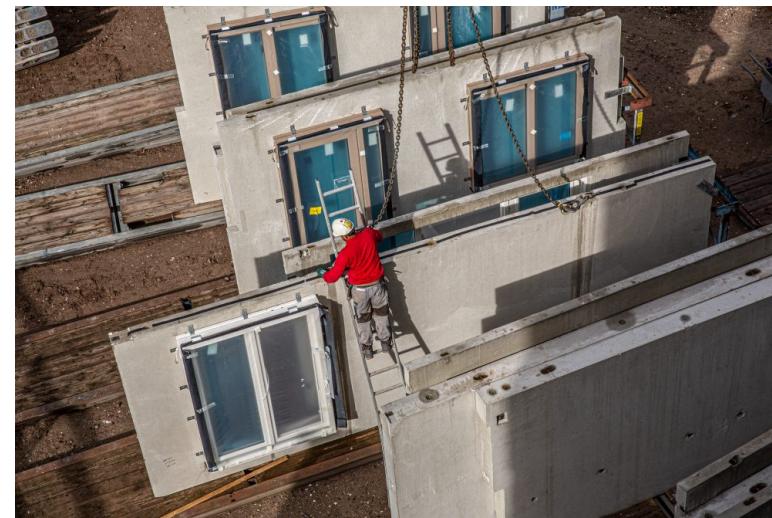
# 4C-Packing <https://www.dti.dk/4c-packing/the-software/2783>

The screenshot displays the 4C-Packing software interface. The main window is titled "Packing of 3-component system" and shows a ternary diagram for a 3-component system. The diagram is a triangle with vertices labeled 0, 100, and 100. The axes are labeled "Vesterhavsrål 8/16" (left), "Vesterhavsrål 4/8" (bottom), and "RN 0/4 E" (right). The diagram is divided into regions by lines representing different packing values. A red arrow points to a specific point on the diagram, which is labeled "40:20:40" in a red box. The software interface includes several control panels:

- Left Panel:** Contains a "Grading curve" section with a "Claus Pade" label and a "Claus Pade" input field. Below this is a "List of" section with a "Function" dropdown and a "List of" dropdown. There are also "Get" and "Save" buttons.
- Right Panel:** Contains a "Return" button, a "Print" button, and a "2-comp.graph" button. Below these are input fields for "Mu-value" (0.07) and "GC-sub-division" (3). There is a "Packing" button and a "Concrete mix" button. At the bottom right, there is a table with columns for "Del." and "mm".
- Bottom Panel:** Contains a "Selected %" section with input fields for 40, 40, and 20. Below this is a "Selected packing" section with an input field for 0.825.

The ternary diagram shows a point at the intersection of the 40:20:40 line and the 0.825 packing line. The diagram is labeled "Packing 0.825" and "Mu = 0.07 Sub-divisions of the grading curve = 3".

# Praktijkvoorbeelden



Zelfverdichtend beton:

zelfde grondstoffen: 5% cement besparing

Mengseloptimalisatie:

graniet: 5% MKI besparing

Betontegel: ca 25% cement vervangen door kalksteenmeel (zeer fijne gradering)







# Kansen voor korrelpakkingoptimalisatie

- Gerecycled betongranulaat
  - grove en fijne fractie
- Zeer fijne vulstoffen
  - nucleation sites
  - Versnellers
- Sturen op verhardingstijd
- Ook voor alternatieve cementen / geopolymeren.

## Handelingsperspectieven en reductie potentieel



14/09/2021

Betonhuis - Betonakkoord - Geopolymeer

3



# Vragen?



# Aan de slag!