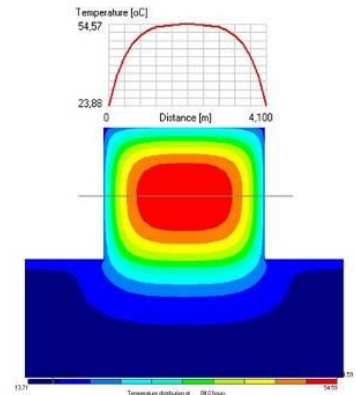


# Basiskennis Betontechnologie

## Hoofdstuk 9 Meer eigenschappen van beton



# Verhard Beton

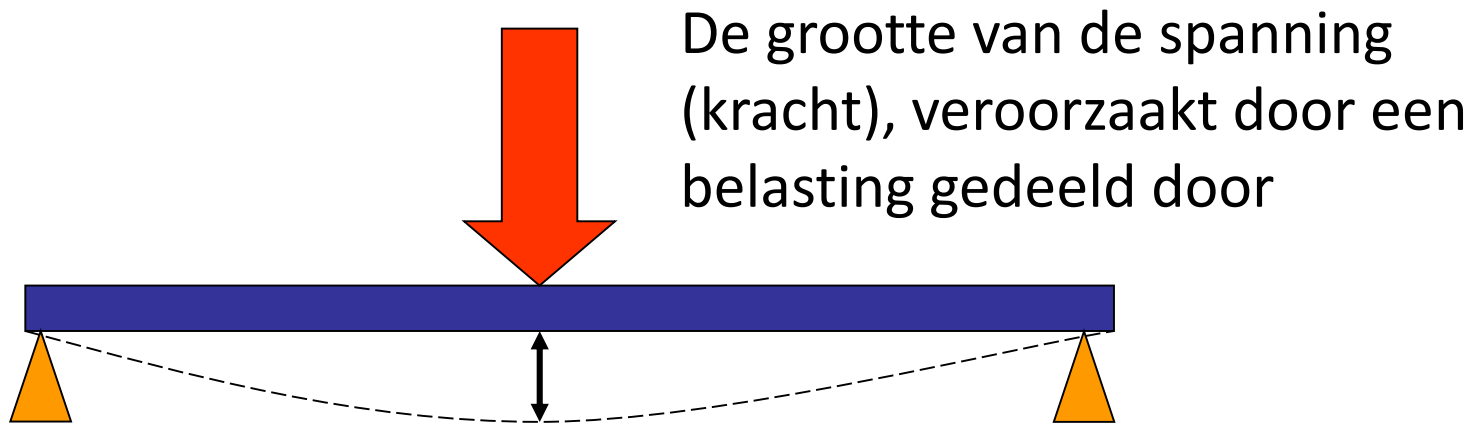
## Mechanische eigenschappen

- Elasticiteitmodulus
- Vervormingen
- Dwarskrachtcoëfficiënt
- Kruip
- Relaxatie



# Elasticiteitsmodulus

De Elasticiteitsmodulus (E-modulus) is de verhouding tussen:



De grootte van de spanning (kracht), veroorzaakt door een belasting gedeeld door

de door deze spanning veroorzaakte vervorming

# Elasticiteitsmodulus

De E-modulus is een materiaaleigenschap:

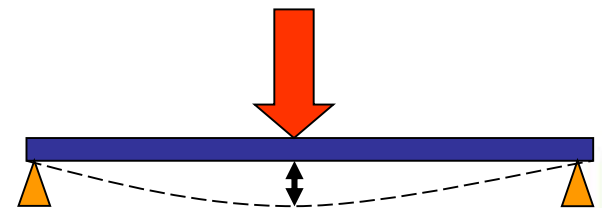
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E = elasticiteitsmodulus [N/mm<sup>2</sup>]

$\sigma$  = spanning [N/mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  = specifieke vervorming [-]

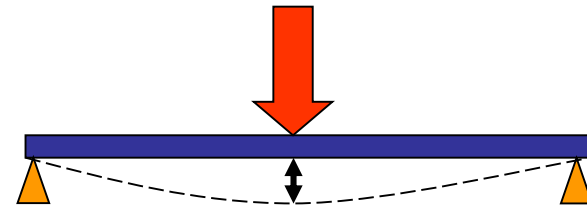
(lengte verandering/oorspronkelijke lengte )



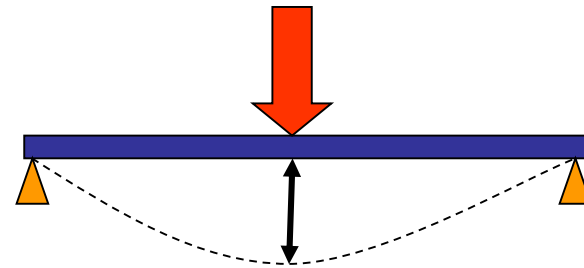
# Elasticiteitsmodulus



Hoge E-modulus



Lage E-modulus

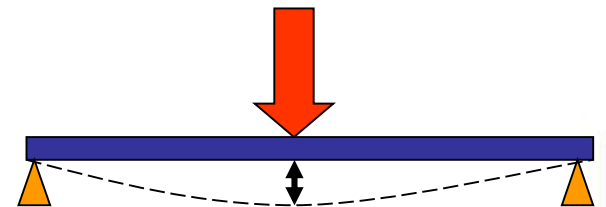


# Elasticiteits modulus

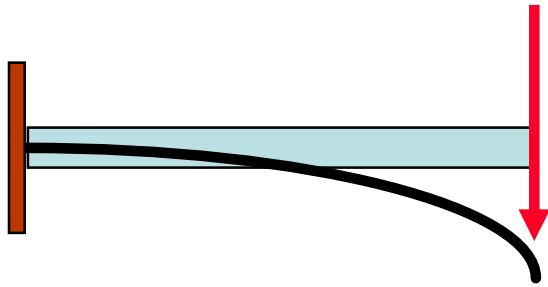
De E-modulus van beton wordt vooral bepaald door:

- De sterkteklasse
- Soort en gehalte toeslagmateriaal

Druksterkteklasse	E-mod (N/mm <sup>2</sup> )
C20/25	30.000
C50/60	37.300
C90/105	43.600



# Vervorming

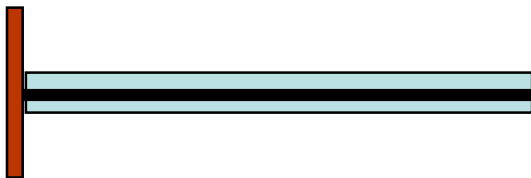


**E-modulus**

Lager → Meer vervorming

Hoger → Minder vervorming

**Elastisch**

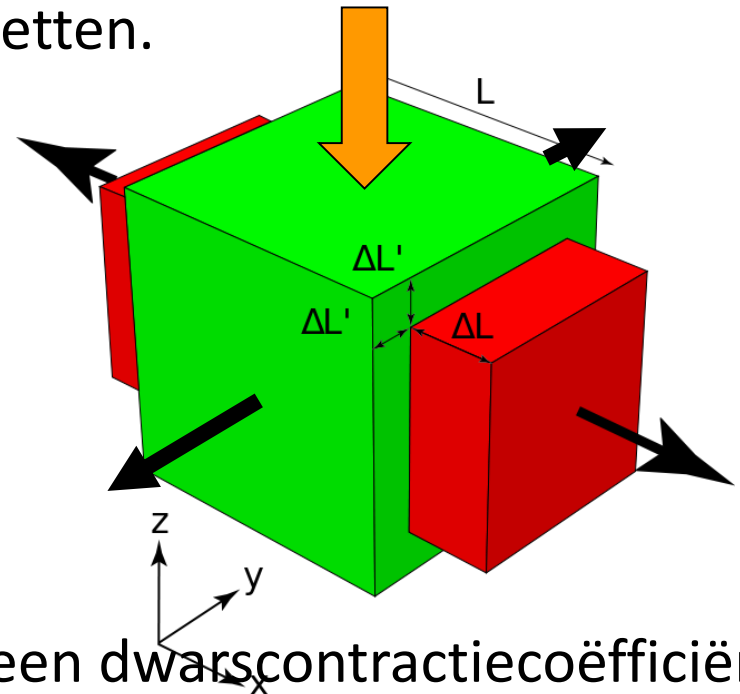


**Plastisch**



# Dwarscontractiecoëfficiënt $\nu$

Als een materiaal in één richting wordt samengedrukt heeft het de neiging in de andere twee richtingen te gaan uitzetten.

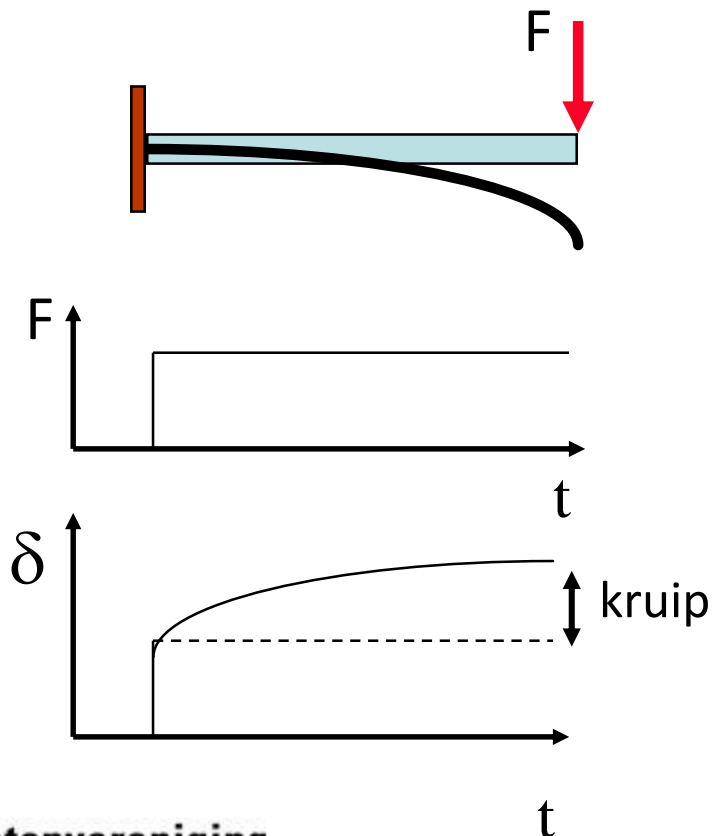


Constructeurs rekenen met een dwarscontractiecoëfficiënt voor beton van:  $\nu = 0,15$  (volgens CUR-Aanbeveling 36)



# Kruip

Toename van vervorming van beton als gevolg van een constant aanwezige kracht.



## Mechanisme:

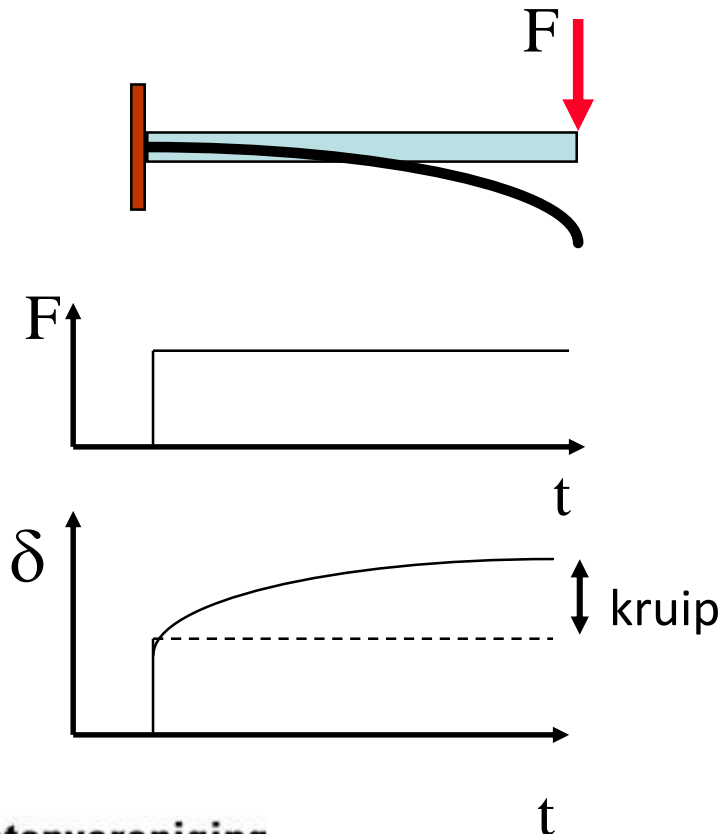
- vervorming van de cementsteen structuur door:  
waterspanning in de capillaire poriën.

## Waar?:

- doorbuiging van een brugligger
- doorbuiging van vloeren

# Kruip

Vervorming van beton als gevolg van een constant aanwezige kracht.

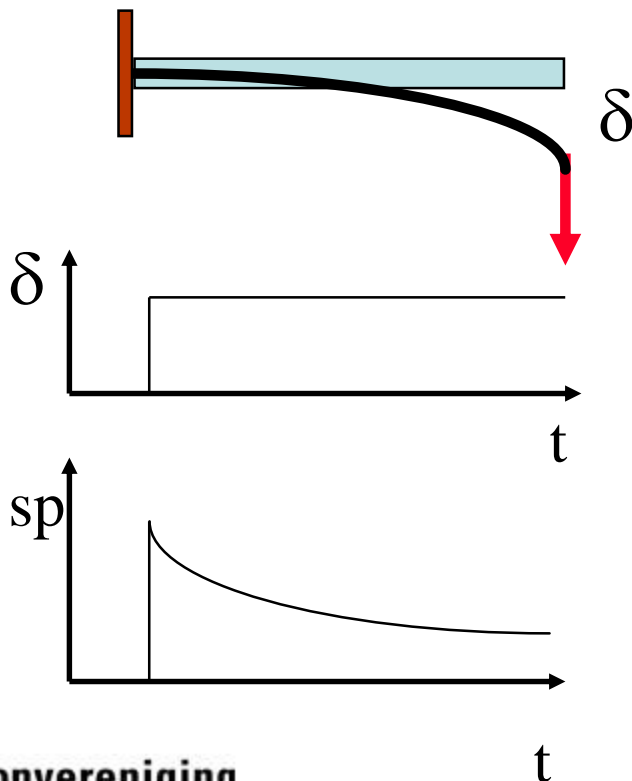


## Afhankelijk van:

- Relatieve vochtigheid RV
- Ouderdom op het tijdstip van belasten
- Sterkte cementsteen
- Sterkte beton
- Doorsnede vorm
- Duur van de belasting

# Relaxatie

Afname van de spanning in beton bij een constante vervorming.



## Mechanisme:

toename waterspanning in de capillaire poriën.

gevolg:

langzaam watertransport verder het beton in.

gevolg:

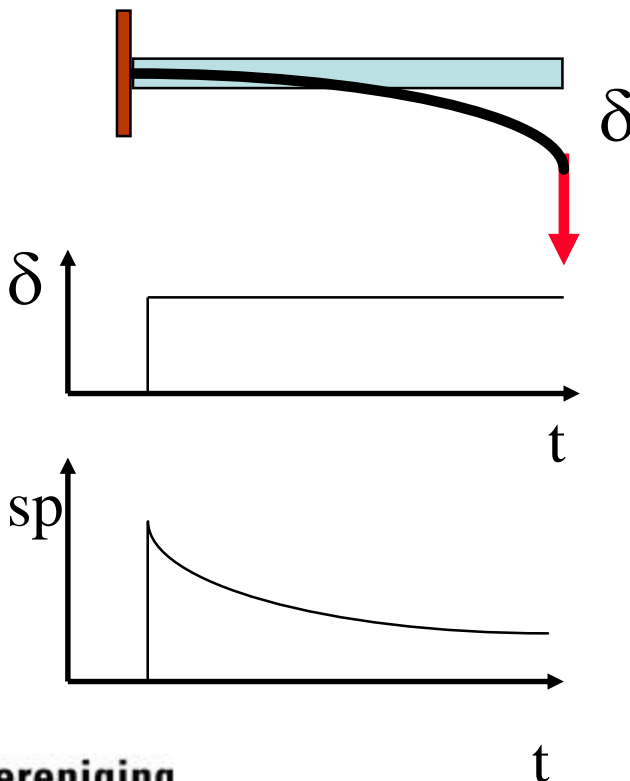
daling van de spanning in de poriën.

gevolg:

minder vervorming cementsteen

# Relaxatie

Afname van de spanning in beton bij een constante vervorming.



## Mechanisme:

Werkt samen met kruip op beton

## Voordeel:

Lagere spanning geeft minder kans op scheuren

## Nadeel:

Voorspanning neemt af bij voorgespannen liggers

# Verhard Beton

## Thermische eigenschappen

- Uitzettingscoëfficiënt
- Warmtegeleiding
- Warmtecapaciteit

# Thermische uitzettingscoëfficiënt

De maat waarin een materiaal uitzet of krimpt als gevolg van temperatuurveranderingen.

- Beton:  $12 \times 10^{-6}$  m/m per °C
- Harde kalksteen:  $8 \times 10^{-6}$  m/m per °C
- Lichtbeton:  $7-11 \times 10^{-6}$  m/m per °C

## **Balkonplaat:**

Lengte 10 meter

Verwarmen van 15 naar 40 °C.

## **Uitzetting:**

$10 \times 25 \times 12 \times 10^{-6}$  m/m = 0,003 m  
dus **3 mm**



# Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda$

De warmtegeleidingscoëfficiënt is een materiaaleigenschap

Ze geeft aan hoeveel warmte er:

- Gedurende 1 seconde
- Door een oppervlak van  $1 \text{ m}^2$
- En een dikte van  $1 \text{ m}$
- En bij een temperatuurverschil van  $1 \text{ Kelvin}$  ( $= 1 \text{ }^\circ\text{C}$ )

tussen de beide zijden, door het materiaal heen gaat

# Warmtegeleidingscoëfficiënt

Bepaalt hoe snel warmte door een materiaal stroomt.

Wordt ook wel de thermische geleidbaarheid genoemd.

	Warmtegeleiding (W/mK)
Lichtbeton	0,20
Normaalbeton	2,1 – 2,3
Staal	58
Aanwezigheid van vocht	Vergroot de warmtegeleiding



# Warmtecapaciteit

De *soortelijke warmtecapaciteit* ( $c$ ) (kleine letter  $c$ ) duidt de hoeveelheid energie aan die nodig is om 1 kg van een materiaal 1 graad in temperatuur te laten stijgen. De eenheid is **Joule/kg.Kelvin**.

(Dit wordt ook wel soortelijke warmte genoemd)

# Soortelijke warmtecapaciteit (c)

	Soortelijke warmte (kJ/kg.K)
Normaalbeton vloeibaar	Ca 1,15
Normaalbeton verhard	Ca 0,85
Staal	Ca 0,50
Hout	Ca 0,19

Om 1 m<sup>3</sup> beton van 2400 kg, 15 °C in temperatuur te laten stijgen is nodig:

$$Q = 2400 \text{ kg} \times 15 \text{ °C} \times 0,85 \text{ kJ/kg.K} = 30600 \text{ kJ} = 30,6 \text{ MJ}$$

Beton warmt langzaam op en koelt langzaam af.

# Verhard Beton

## Hygrische eigenschappen

- Krimp door vochtverlies
- Vochttransport
- Permeabiliteit
- Vloeistofdichtheid
- Waterindringing
- Waterabsorptie
- Waterdampdiffusie
- Waterdampabsorptie - evenwichtsvochtgehalte

# Krimp door vochtverlies

- **Plastische krimp**
  - 30 min. tot 6 uur na aanbrengen
- **Verhardingskrimp**
  - Hydratatie krimp
- **Autogene krimp**
  - Inwendige uitdroging
- **Uitdrogingskrimp**
  - weken tot maanden na aanbrengen

# Plastische krimp

## Oorzaken

- Verdamping van water uit betonspecie

Door bv:

- Vertraging binding
  - temperatuur
  - cementsoort en w/c
  - hulpstoffen
- Samenhang
- Klimaat

## Remedies

- Nabehandelen
- Samenstelling aanpassen
- Naschuren/verdichten





# Plastische krimp



Evenwijdig





# Plastische krimpscheuren



Diagonaal

# Plastische krimpscheuren



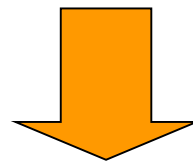
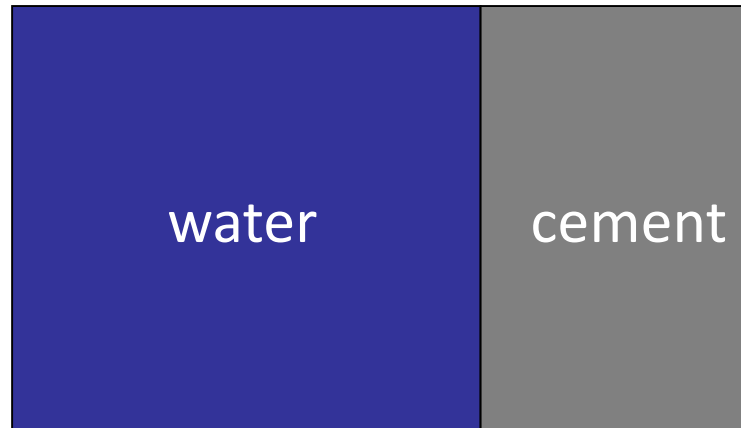
Willekeurig



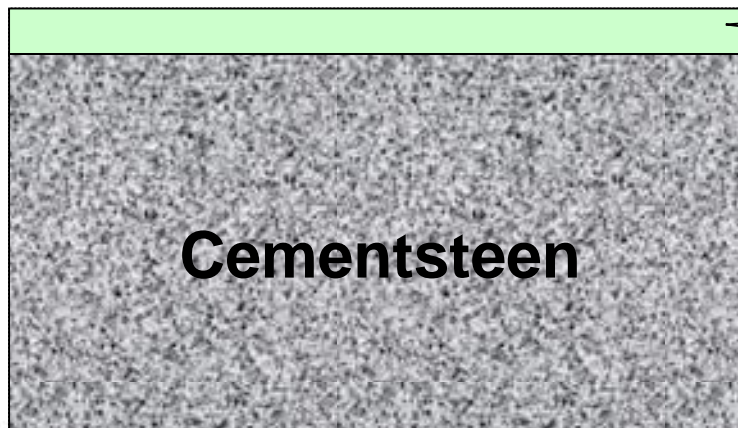
# Plastische krimpscheuren



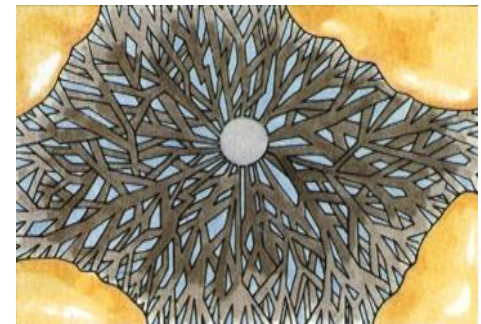
# Hydratatie krimp



**Verharding**



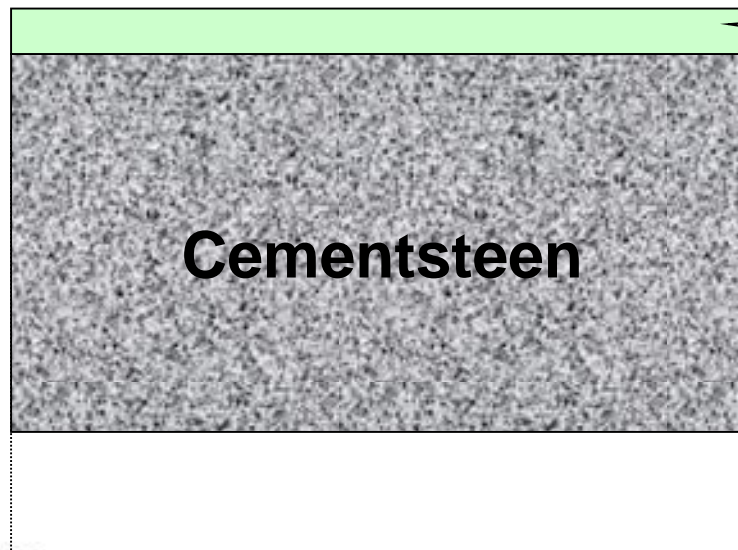
Hydratatie krimp



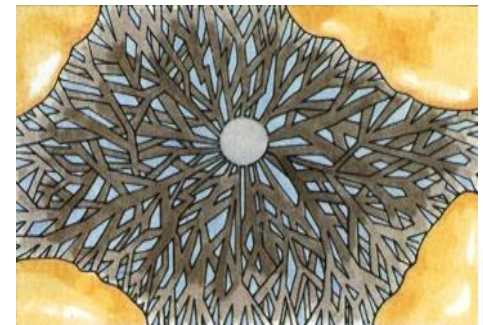
# Hydratatatie krimp

## Hydratatatie krimp:

- Resulteert in meer capillair porievolume
- Geen invloed op het volume van beton



**Hydratatatie krimp**



# Autogene krimp

Meetbare uitwendige vervorming van beton die optreedt zonder vochtverlies aan de omgeving en niet als gevolg van mechanische- of temperatuurbelasting.

**Één van de theorieën**

## **Mechanisme:**

Samentrekken van capillaire poriën omdat er een onderdruk in ontstaat. Dit wordt veroorzaakt door:

- 1: Het onttrekken van water uit de poriën door de reactie van water met cement
- 2: Het ontstaan van meer capillaire poriën door de hydratatiekrimp

# Uitdrogingskrimp

## Oorzaken

- Verdampbaar water
- Mate van uitdroging
- Betontemperatuur



## Remedies

- Mengsel met lage waterbehoefte
- Max. hoeveelheid toeslag
- Max. korrelgrootte
- Nabehandelen

Sterkteklasse C20/25 – C55/67 bedraagt de uitdrogingskrimp gemiddeld 0,4 mm/m



# Uitdrogingskrimp versus autogene krimp

	<b>uitdrogingskrimp</b>	<b>autogene krimp</b>
locatie krimp	buitenzijde	door en door
massa materiaal	daalt	blijft gelijk

# Vochttransport

Vochttransport door Beton.

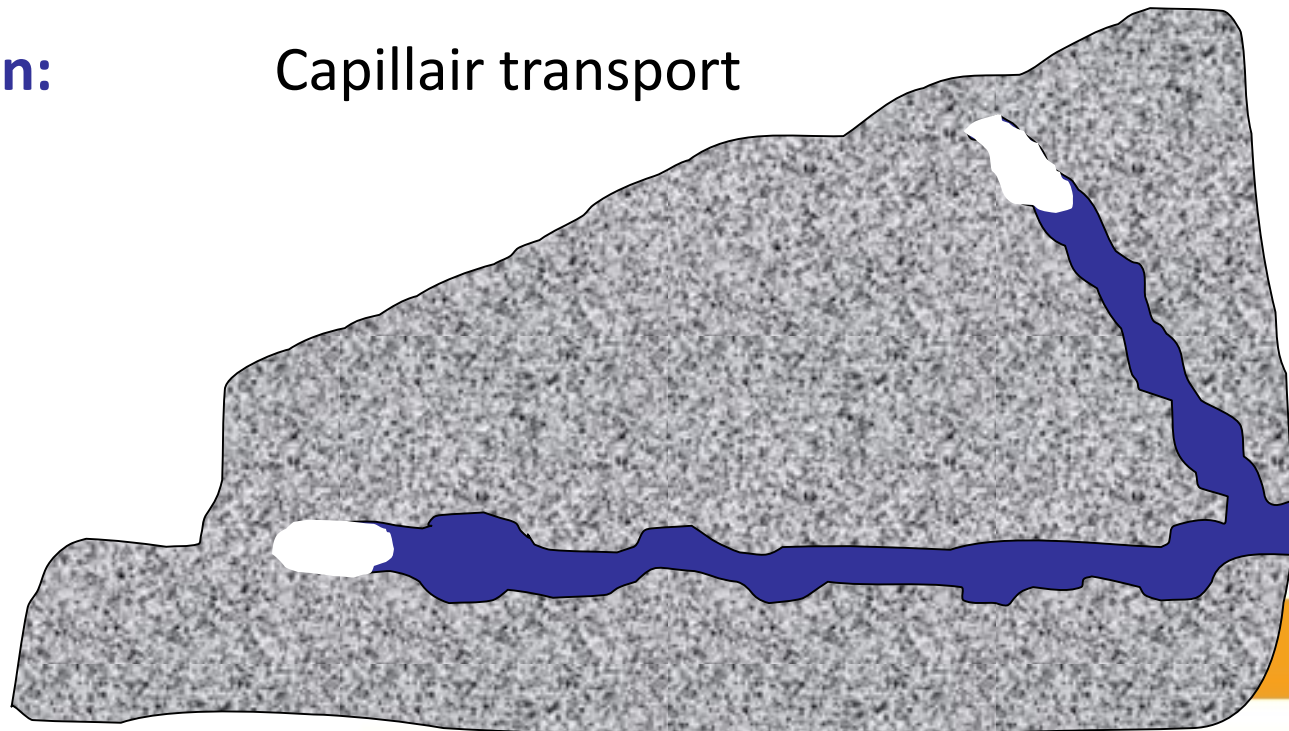
Door de capillaire poriën.

**Droge poriën:**

Dampdiffusie

**Natte poriën:**

Capillair transport

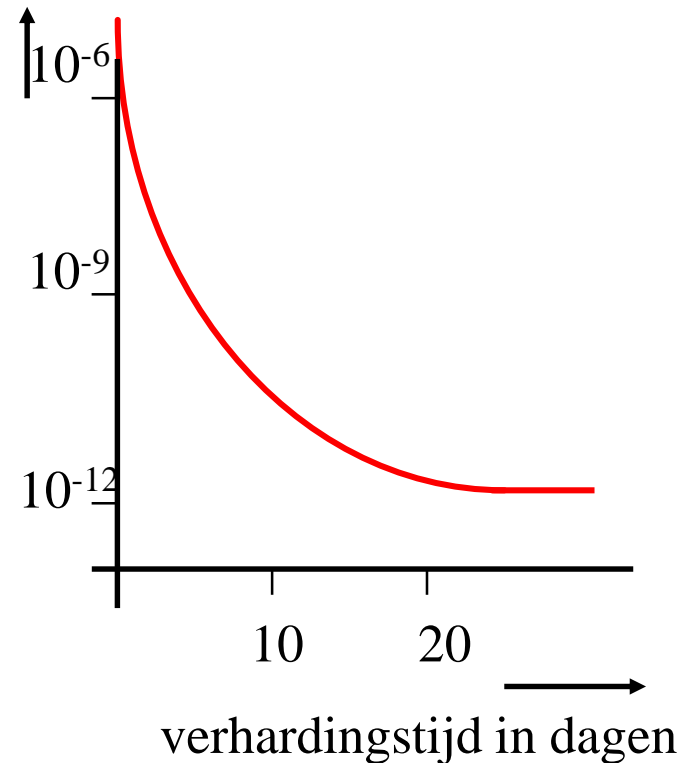


# Permeabiliteit

De permeabiliteit van beton is de mate waarin beton doorlaatbaar is voor vloeistoffen en gassen

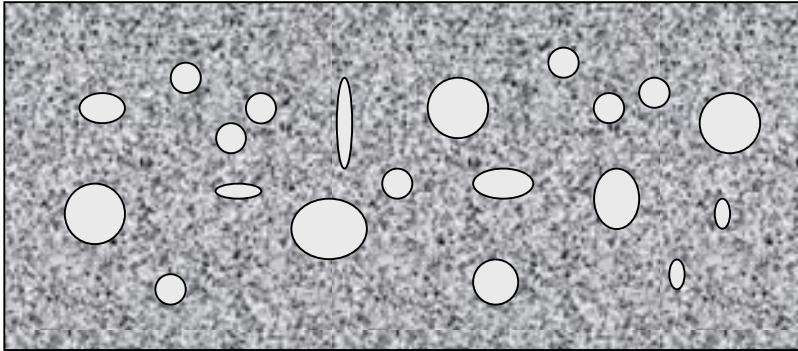
De permeabiliteit van de cementsteen heeft een grote invloed op de duurzaamheid.

Deze eigenschap verandert door de tijd heen.

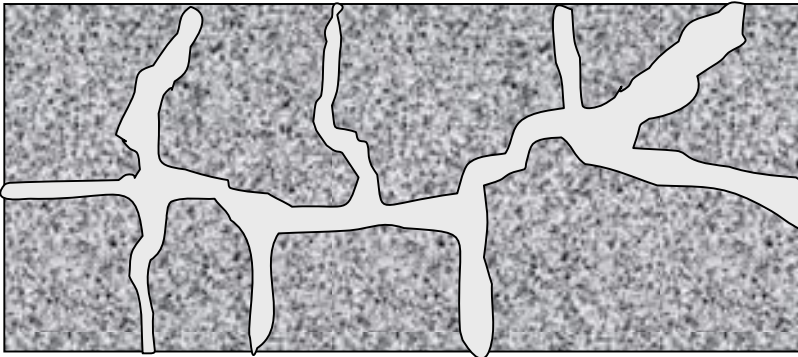




# Permeabiliteit versus porositeit



Poreus



Permeabel

# Permeabiliteit

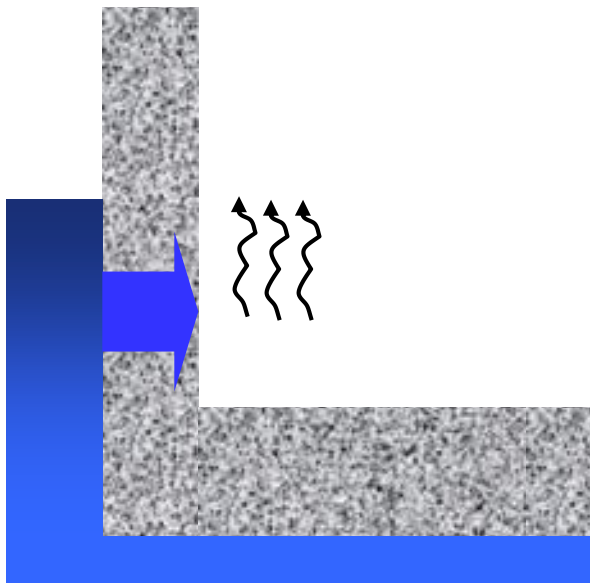
Afhankelijk van:

- w/c-factor
- type cement
- soort en hoeveelheid toeslagmateriaal
- vulstoffen
- aanhechting toeslagmateriaal – cementsteen
- hydratatiegraad
- mate van verdichting
- nabehandeling

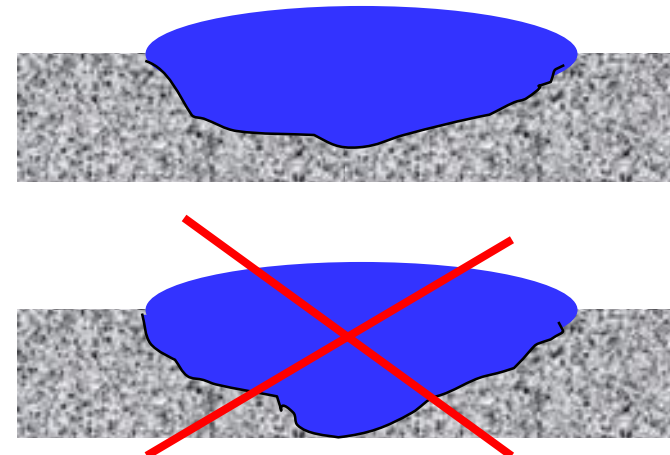
# Vloeistofdichtheid versus Waterdicht

Beton kan als een waterdicht en vloeistofdicht materiaal worden beschouwd

Waterdicht



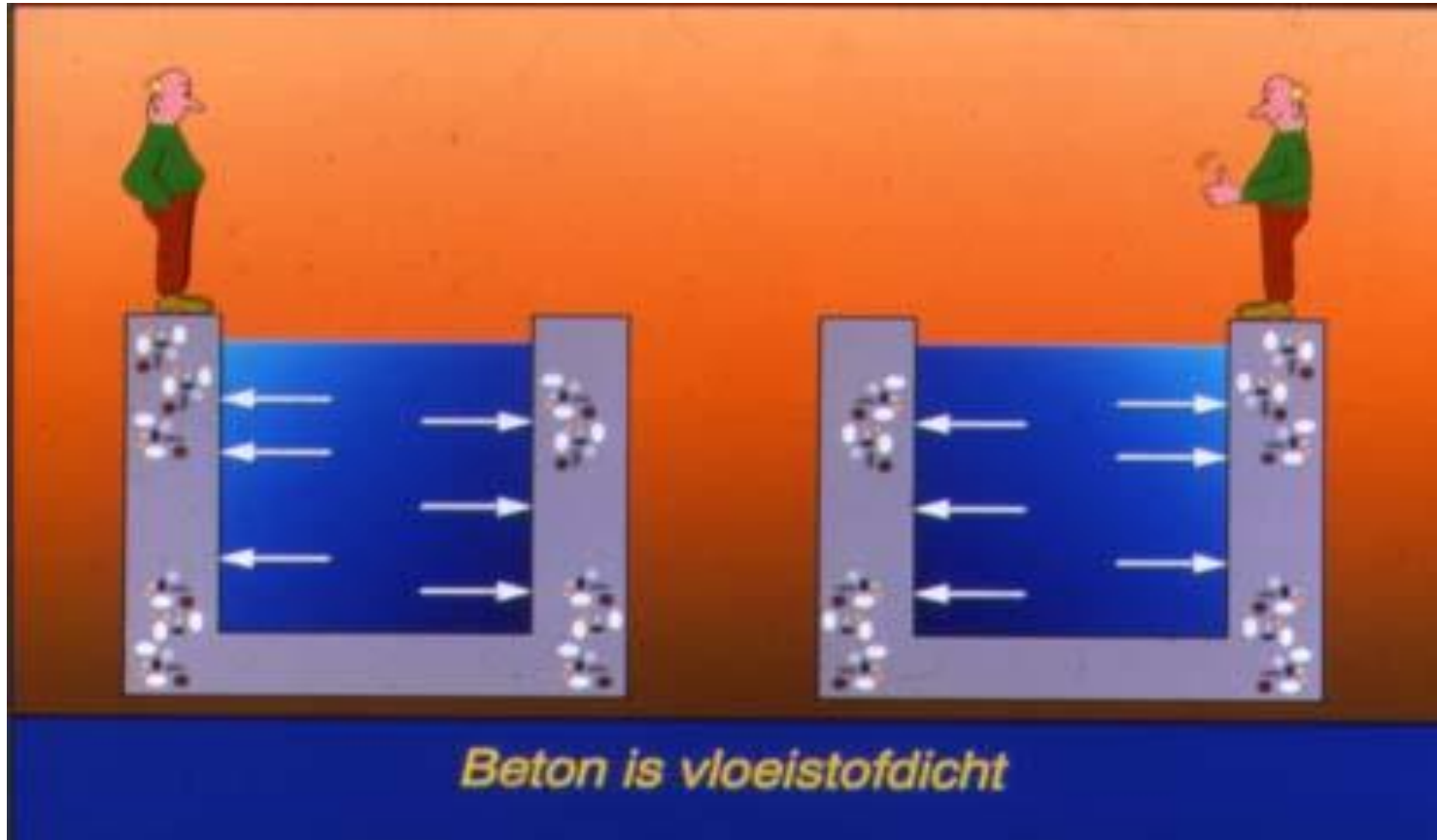
Vloeistofdicht



# Waterdicht



# Vloeistofdicht





# Vloeistofdichtheid meten

## Waterindringing

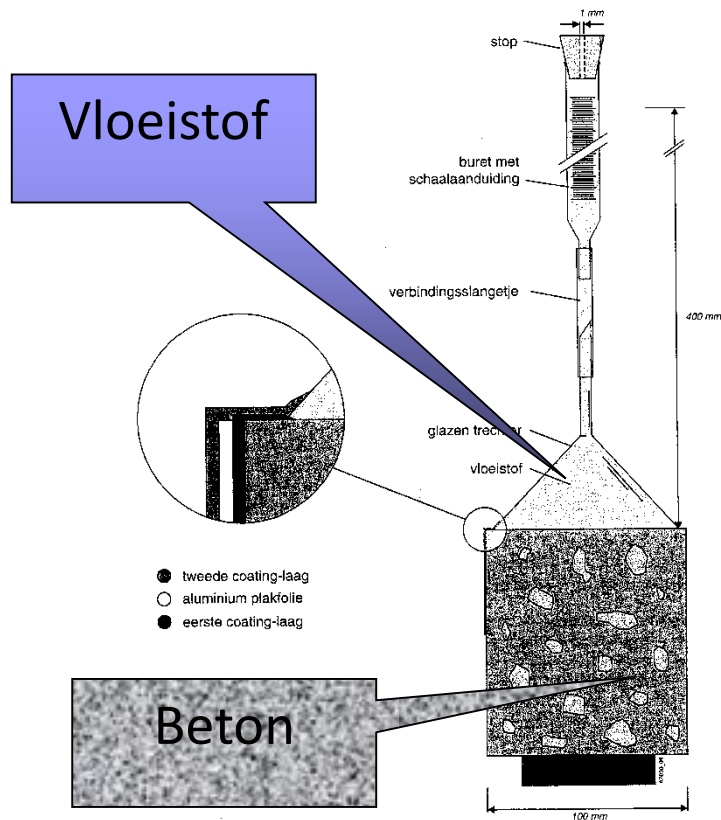


- 72 uur belasten met waterdruk van 5 bar
- Daarna splijten
- Individueel < 50 mm
- Gem. van 3 < 25 mm



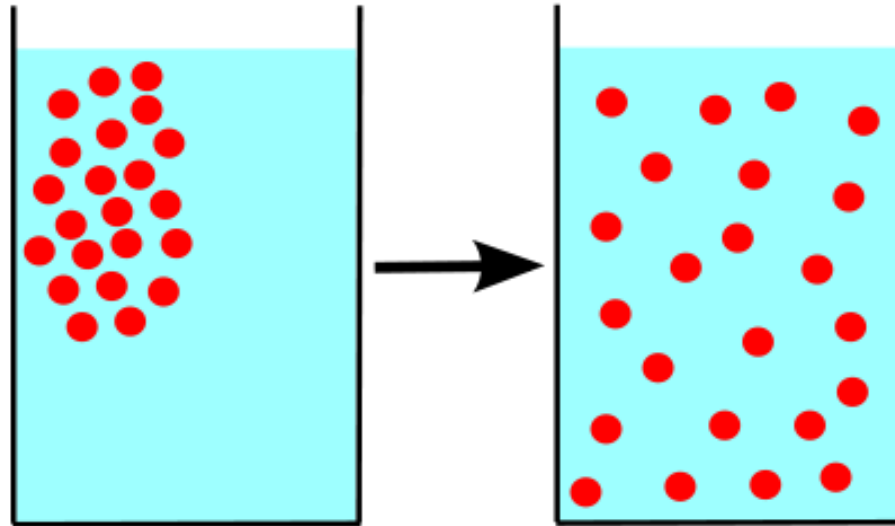
# Vloeistofdichtheid meten

Capillaire absorptie proef (CUR-Aanbeveling 63)



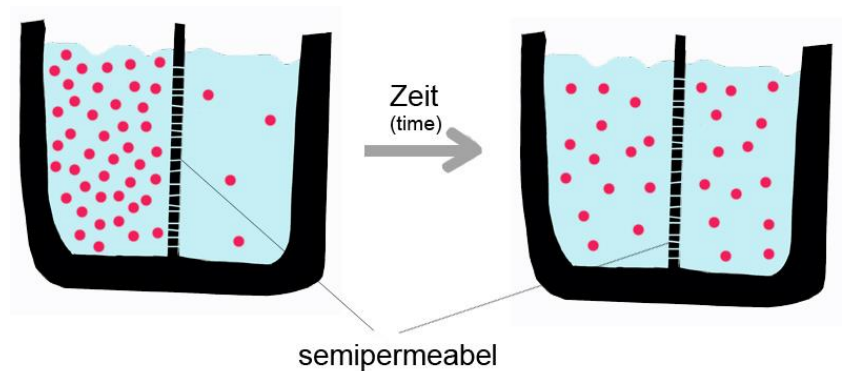
Na 144 uur splijten en de indringdiepte 'e' bepalen

# Diffusie



Diffusie:

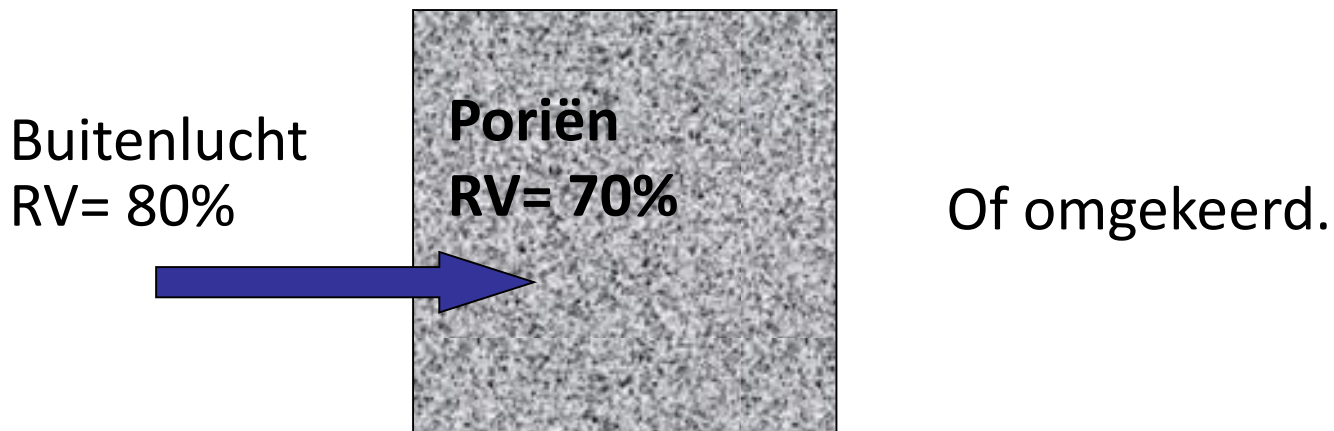
- Proces van het verplaatsen van deeltjes
- Van hoge naar lage concentraties
- Zoeken naar evenwicht





# Waterdamp - diffusie

Waterdamp verplaatst zich van zones met een hoge waterdampconcentratie naar zones met een lage waterdampconcentratie



Dampdruk ontstaat door een verschil in:

1. Temperatuur
2. Relatieve vochtigheid

Dit leidt tot een waterdampdiffusie.

# Beton in relatie tot duurzaamheid

Duurzaamheid =

- degelijkheid en levensduur

in Engels **durability**

- duurzame ontwikkeling en milieu

in Engels **sustainability**

# Duurzame ontwikkeling

- milieu
- veiligheid
- economie
- welbevinden (gezond binnenklimaat)
- beheersbaarheid
- beleving

# LCA = levenscyclus analyse

thema's gegroepeerd in effectcategorieën:

- klimaatverandering
- verzuring
- vermesting
- aantasting ozonlaag
- geluidsoverlast
- lichthinder
- verlies aan biodiversiteit

# Beton en duurzaamheid

duurzaam materiaal met lange levensduur

Stutech/Stufib heeft onderzoek gedaan hoe beton duurzamer gemaakt kan worden vanuit thema klimaatverandering:

- aanpassen samenstelling bindmiddel
- verlagen bindmiddelgehalte
- vervangen primair door secundair toeslagmateriaal
- optimaliseren nabehandeling
- verlengen ontkistingstijden
- toepassen rekenwaarde na 56 - 91 dagen

# Aanpassen samenstelling bindmiddel

- gebruik hoogovencement
- poederkoolvliegascement
- cement-vulstof combinaties
  - attest-beton
  - gelijkwaardigheidsbeginsel

## Verlagen bindmiddelgehalte

- gebruik van (super)plastificeerders

## Vervangen primair door secundair toeslagmateriaal

- gebruik van betongranulaat en menggranulaat

### *Afweging van voor- en nadelen:*

- primair: aantasting landschap en milieu  
materieel voor winning, classificatie  
en transport (per schip)
- secundair: slopen, breken, zeven  
transport per vrachtwagens



## Optimaliseren nabehandeling

- snelle productie vraagt hoge temperaturen
- gebruik van fossiele brandstoffen verhoogt CO<sub>2</sub> belasting
- versnelling zonder externe verwarming door gebruik van snellere cement, dus met hogere CO<sub>2</sub> belasting


# Verlengen ontlastingstijden

gunstiger voor milieu

**slow concrete** is beter dan **fast concrete**

*nadelen:*

- mogelijk langere bouwtijd
- bekisting minder economisch ingezet
- langere nabehandeling



Toepassen rekenwaarde na 56 - 91 dagen  
hoogovenslak en poederkoolvliegias geven nog  
aanzienlijke sterkte-toename na 28 dagen

- mogelijkheid voor gebruik van minder bindmiddel
- maar sterkteontwikkeling wordt vertraagd

# Rekenen aan duurzaamheid van beton

sinds 2013 milieuparagraaf in Bouwbesluit

Voor rekentest Groen Beton rekening te houden met:

- winning grondstoffen
- transport grondstoffen
- processen in fabriek
- transport van specie of elementen
- constructiefase
- sloop
- finale afwerking

**Van wieg tot graf.**

