

1 **BETONBESTANDDELEN**

2 **BETON MAKEN**

3 **VERS BETON**

4 **VERHARD BETON**

4 VERHARD BETON (vanaf ingebruikneming)

a- BETON: EEN HETEROGEEN MATERIAAL

- 4a1 inerte bestanddelen en bindmiddel
- 4a2 cementsteen
- 4a3 tijd en temperatuur
- 4a4 proefstukken

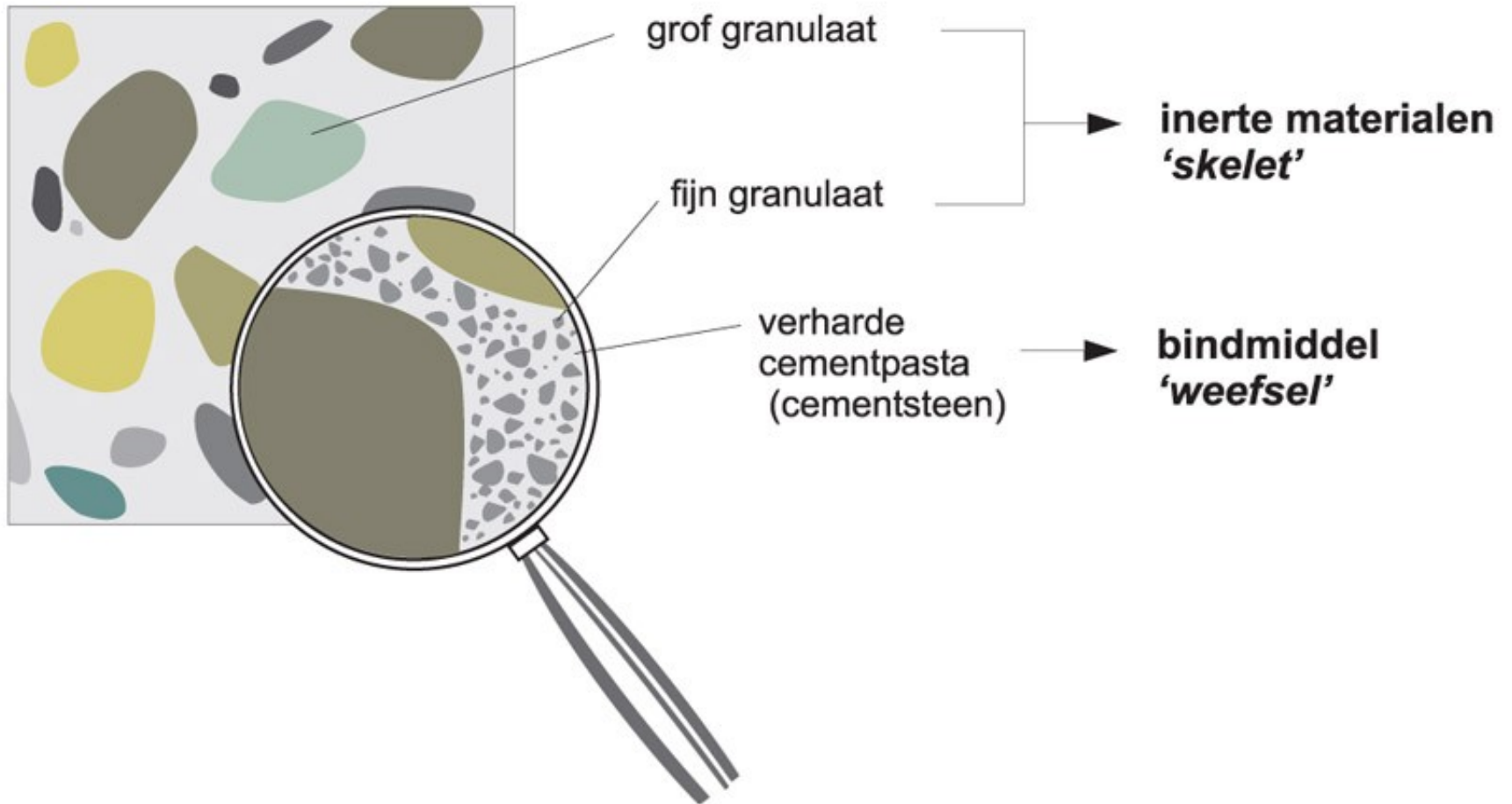
b- EIGENSCHAPPEN IN RELATIE TOT LEVENSDUUR

- 4b1 mechanische sterkte
- 4b2 vervorming
- 4b3 beton en water
- 4b4 carbonatatie
- 4b5 beton en vorst
- 4b6 beton en agressieve stoffen
- 4b7 beton en alkali-silicareactie
- 4b8 beton en brand

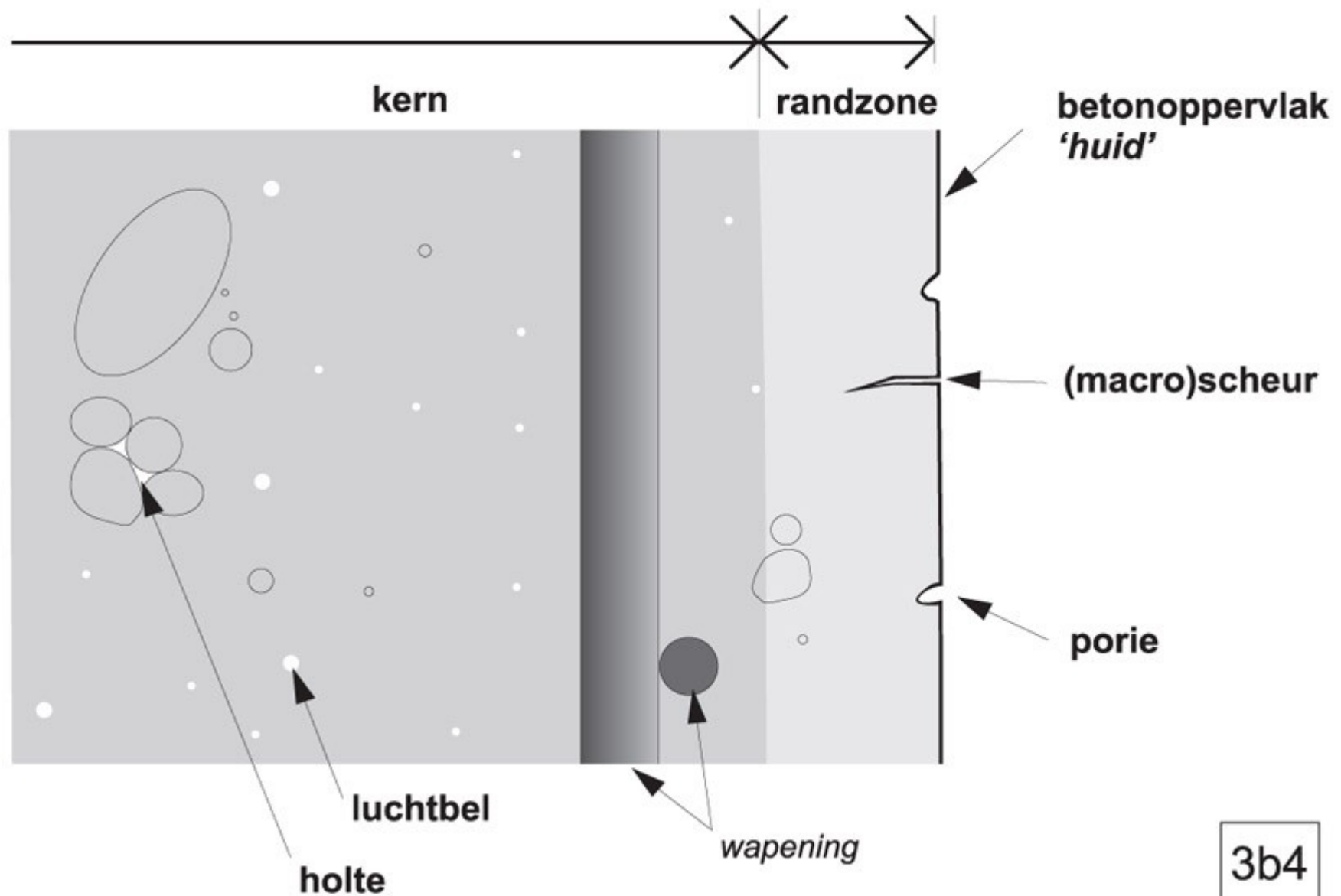
c- EIGENSCHAPPEN IN RELATIE TOT GEBRUIKSCOMFORT

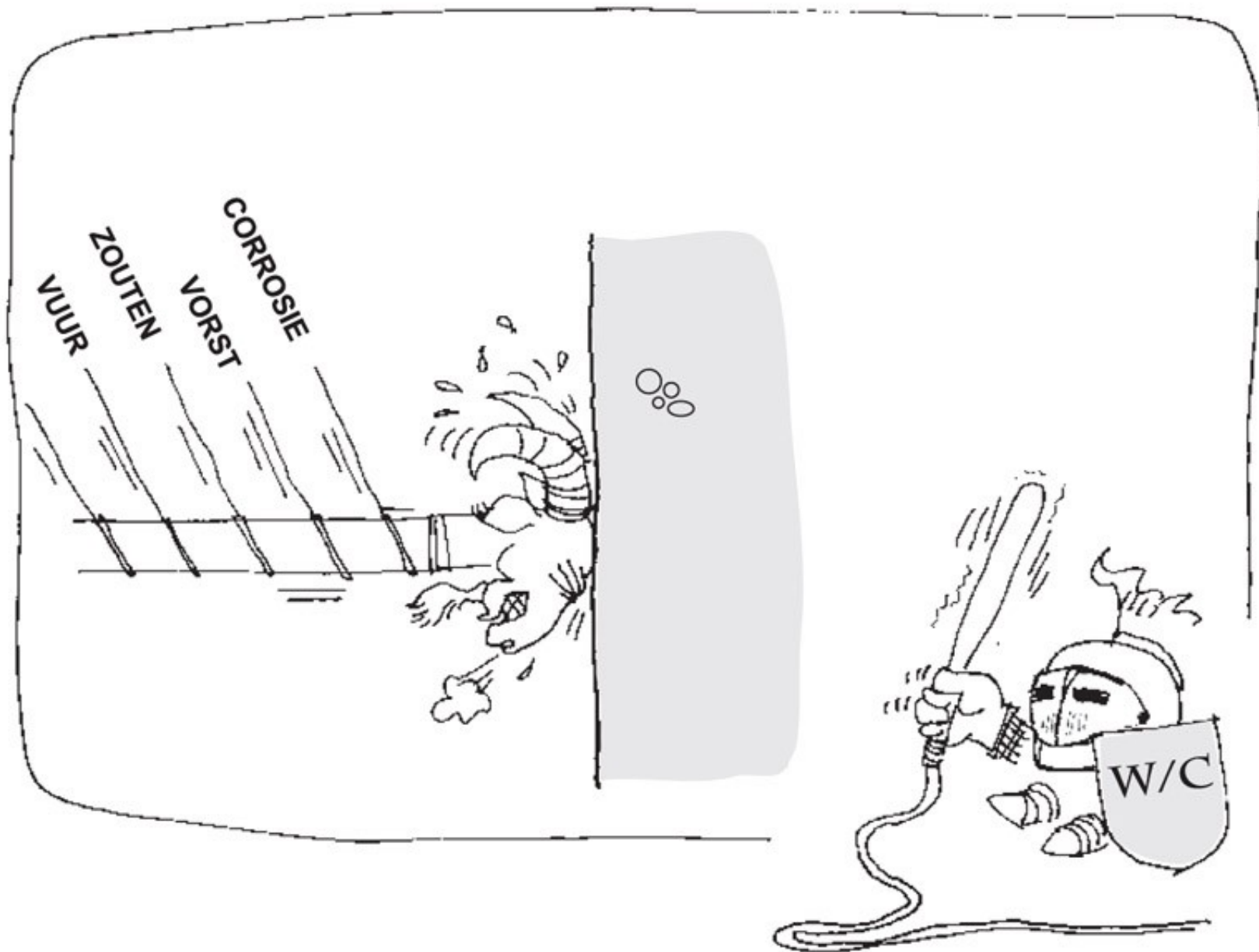
- 4c1 uitzicht
- 4c2 thermische eigenschappen
- 4c3 akoestische eigenschappen

4a1 inerte bestanddelen en bindmiddel



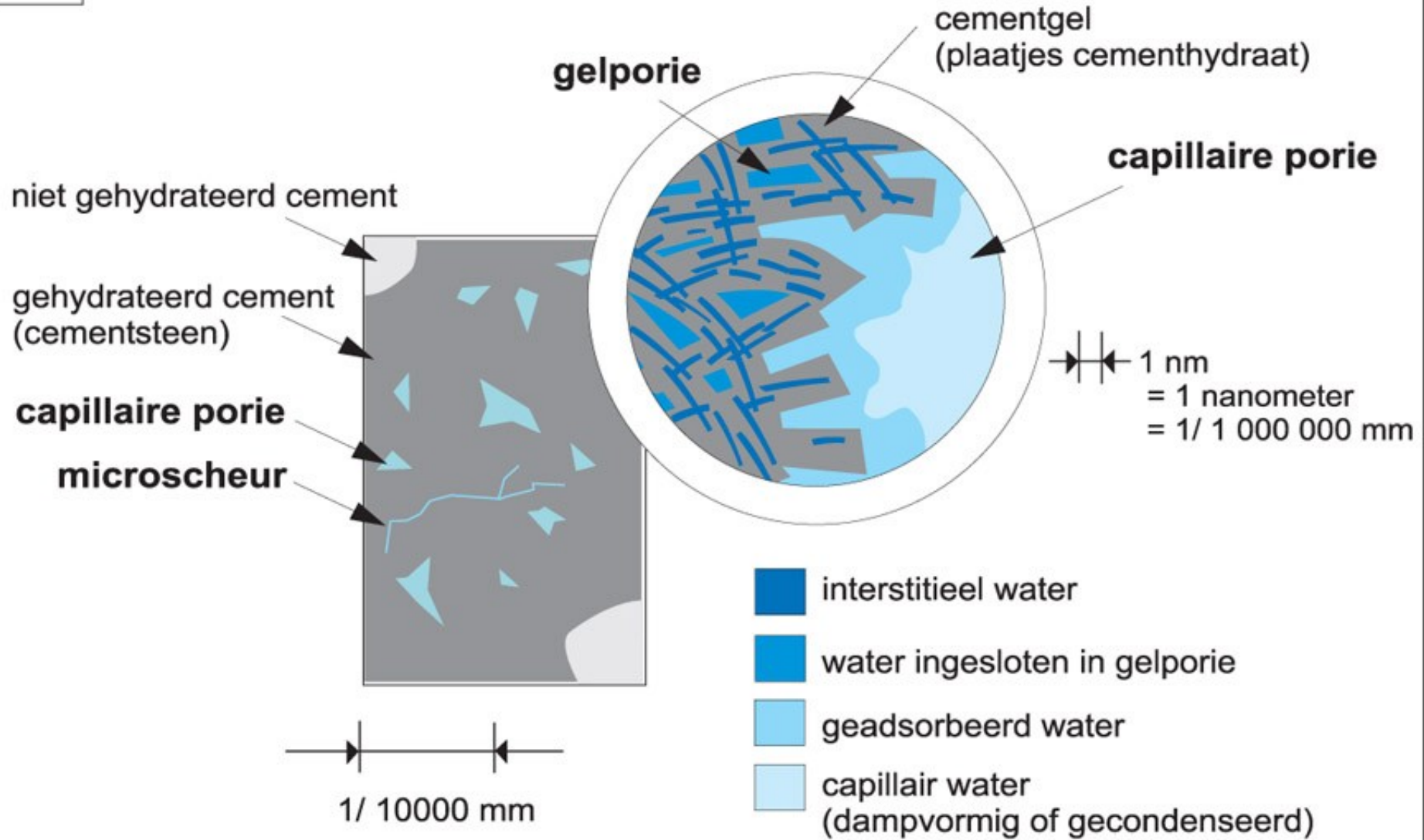
4a1 inerte bestanddelen en bindmiddel





Compact beton, d.w.z. met een zo laag mogelijke water-cementfactor en verdicht volgens de regels van de kunst, biedt het langst weerstand tegen allerlei bedreigingen.

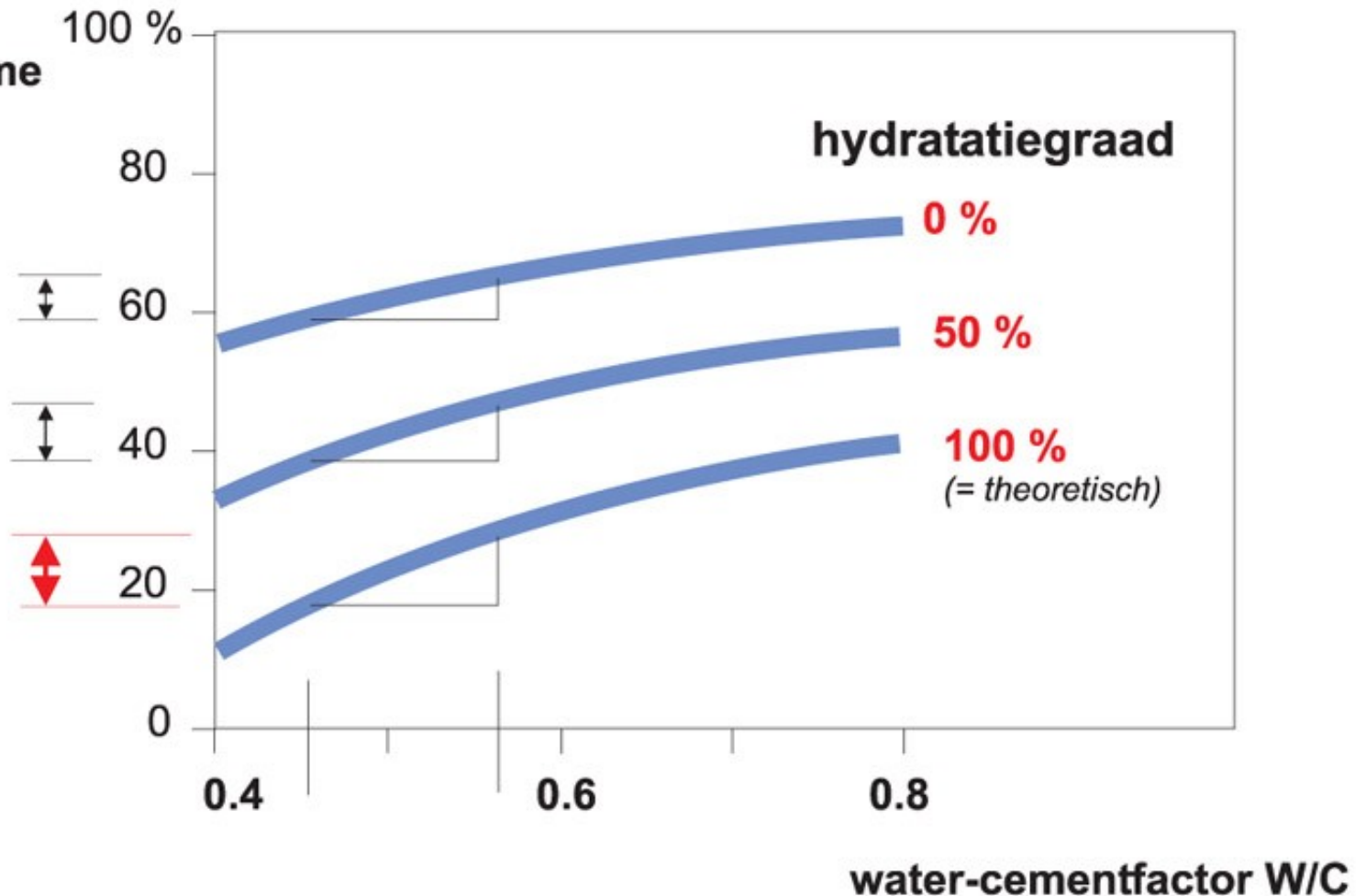
4a2 cementsteen



4a2 cementsteen

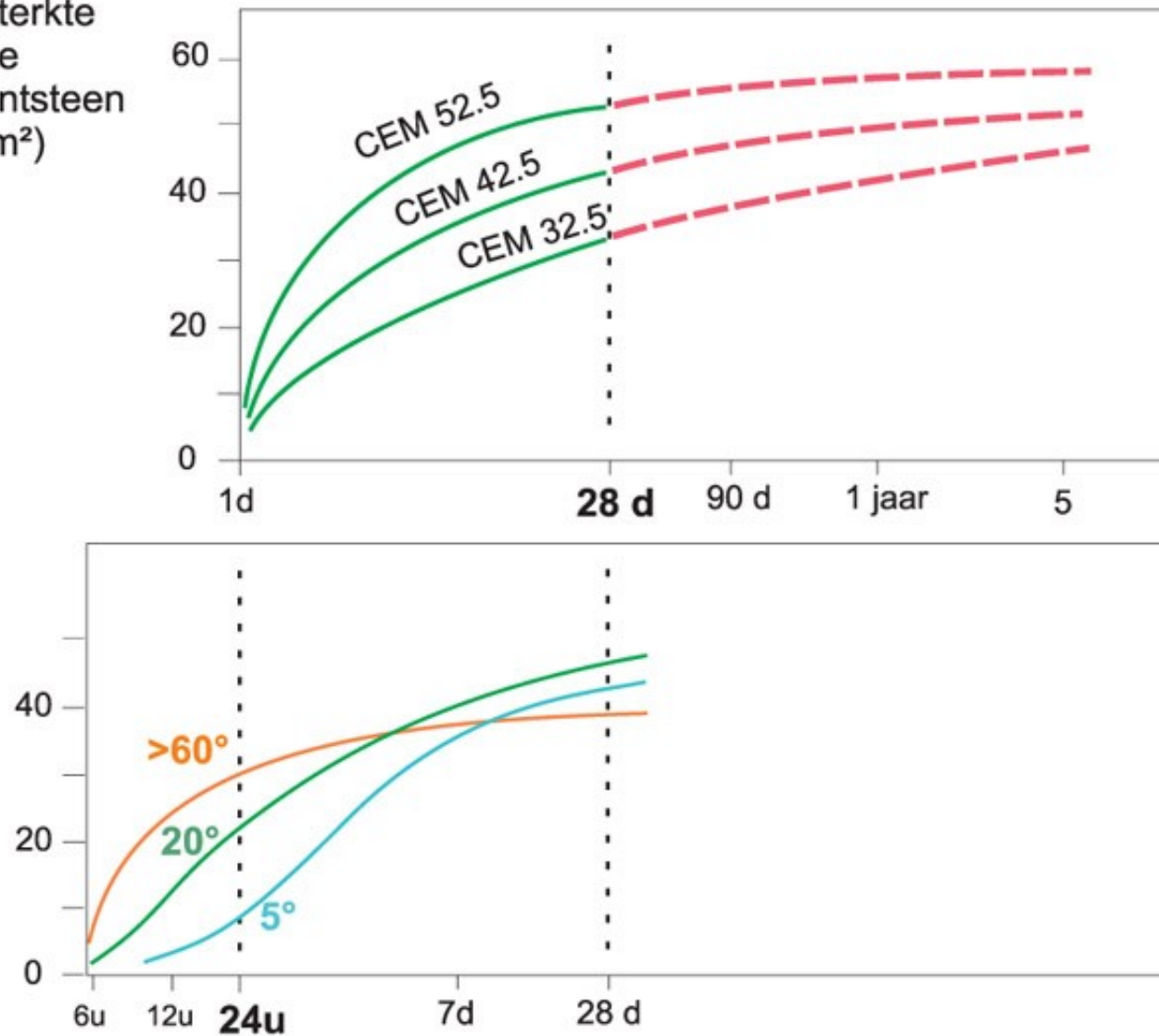
verband tussen porositeit en W/C-factor voor verschillende hydratatiegraden:
hoe verder de hydratatie gevorderd is, hoe groter de invloed van de W/C-factor

capillair
poriënvolume
(porositeit)

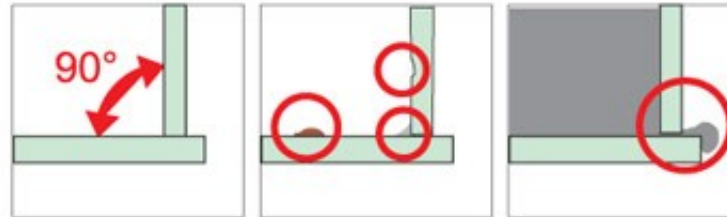
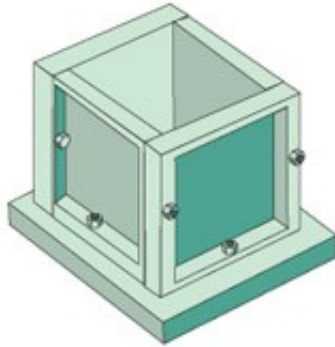


4a3 tijd en temperatuur

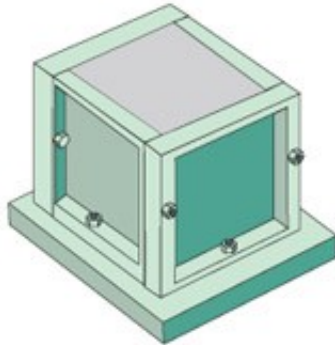
druksterkte
van de
cementsteen
(N/mm²)



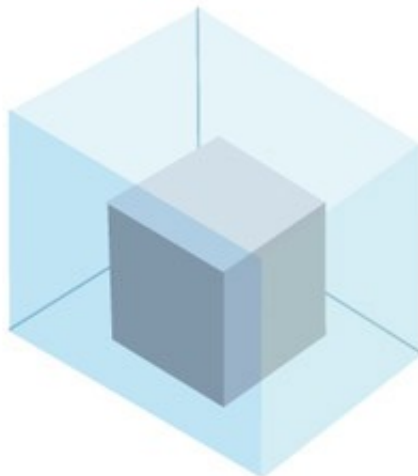
4a4 proefstukken



mal controleren !



vullen, verdichten en
laten verharden bij $20 \pm 4^{\circ}\text{C}$

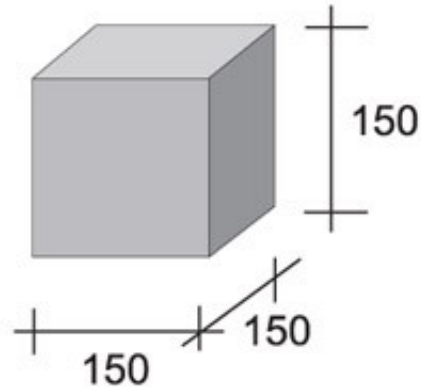


ontkisten en
onder water bewaren bij $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$

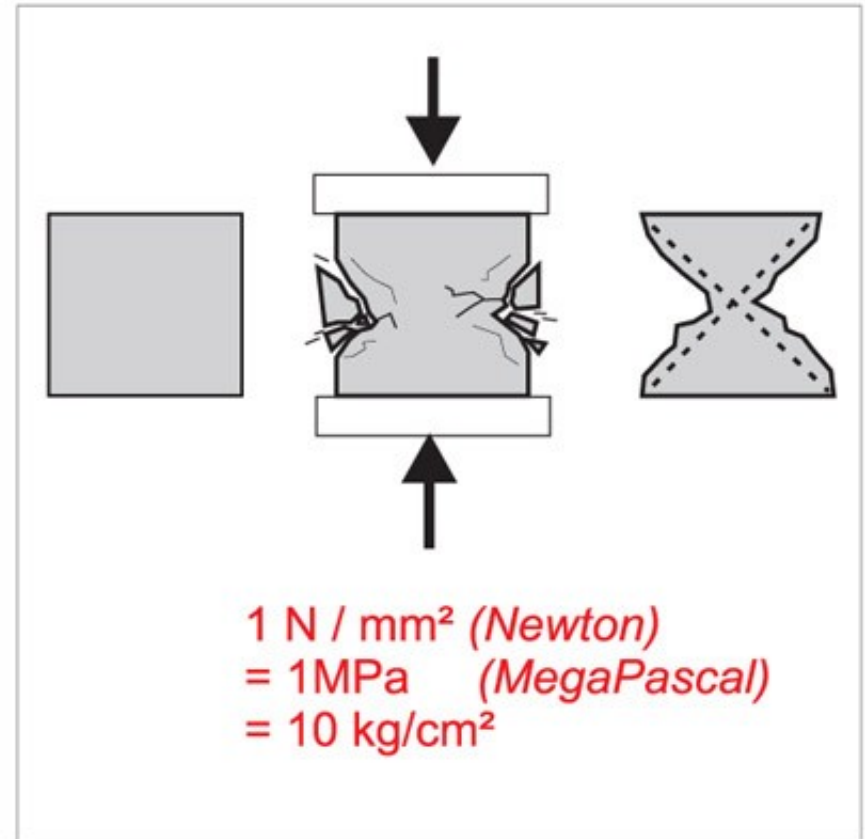
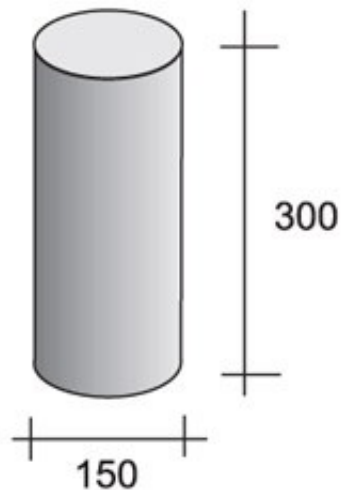
4b1 mechanische sterkte

druksterkte

$f_{c \text{ cube}}$



$f_{c \text{ cyl}}$



1c

2a

2b1

4b1 mechanische sterkte

druksterkte

procedure kubusdrukproef:

- proefstuk
onder water bewaren



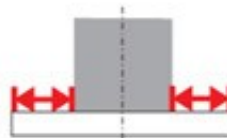
- afdrogen



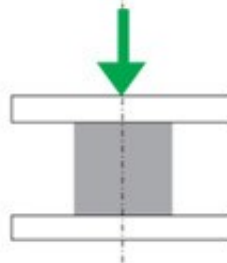
- meten / controleren



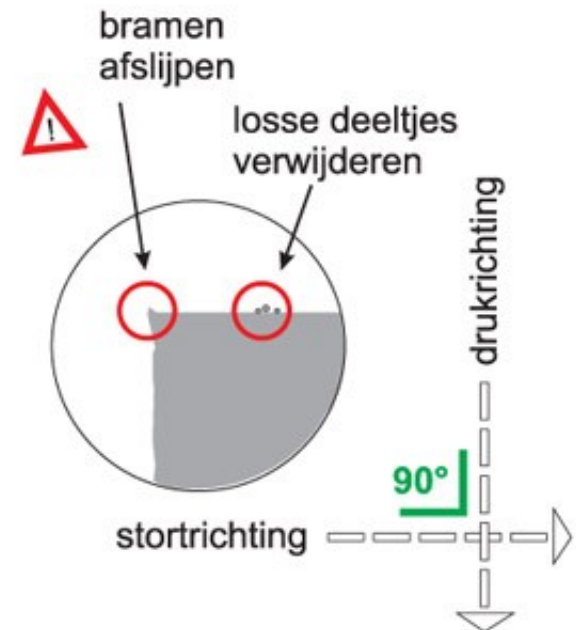
- in de pers plaatsen
en centreren



- belasting aanbrengen
en geleidelijk verhogen
(d.w.z. met constante
snelheid)



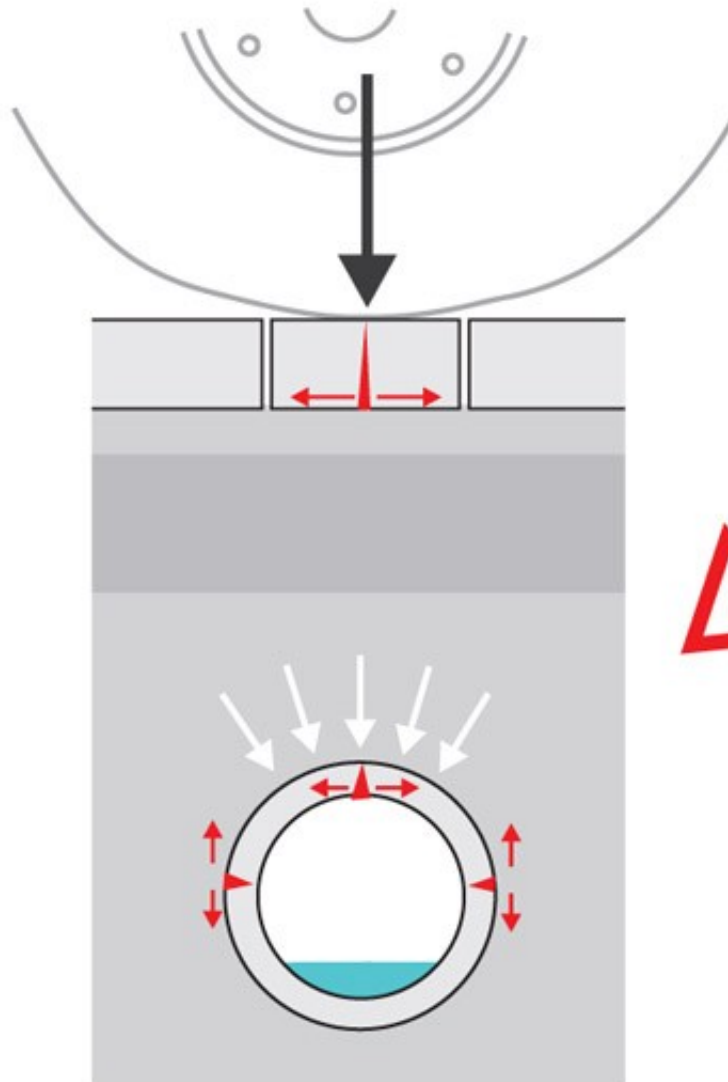
- drukkracht aflezen,
breukpatroon beoordelen



4b1

mechanische sterkte

treksterkte



ongewapend beton

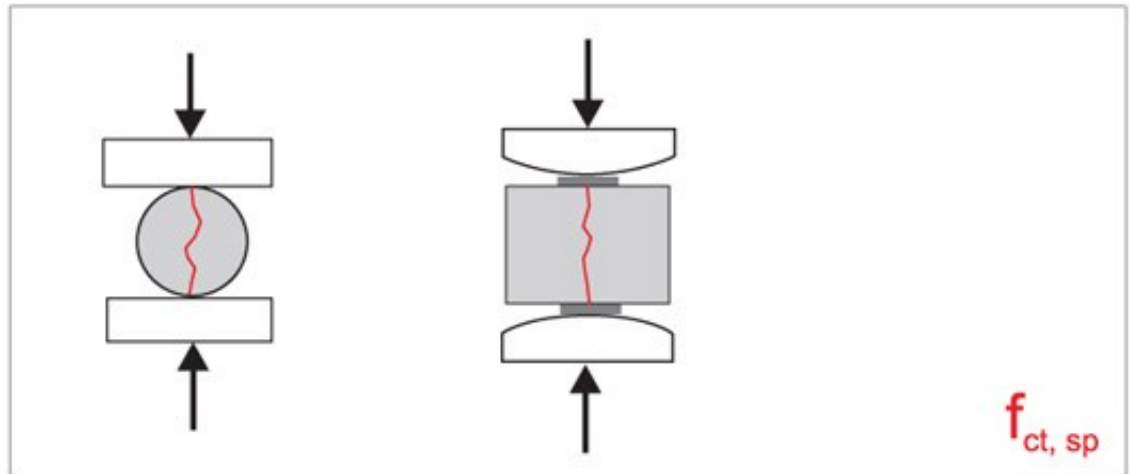
3a2

4b1 mechanische sterkte

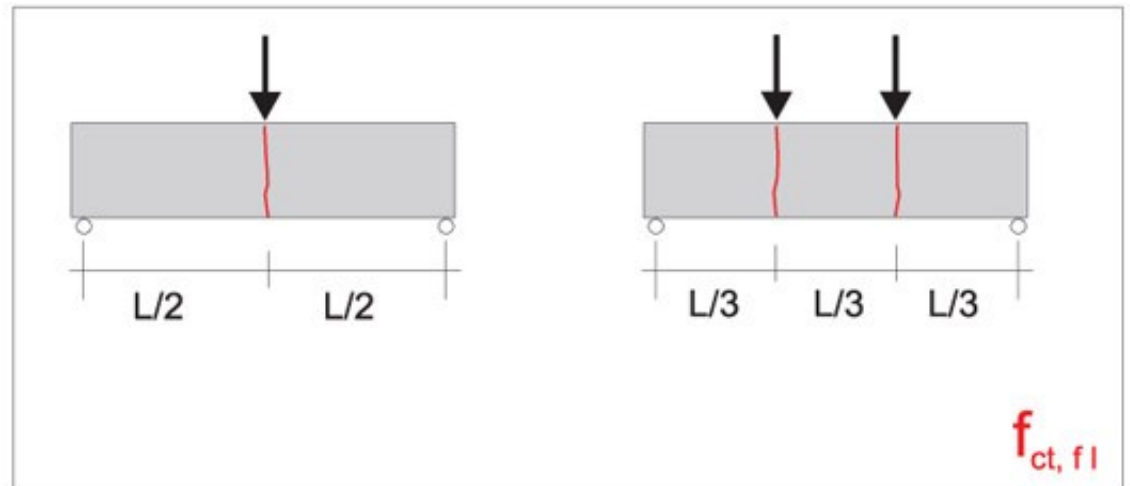
treksterkte



$$\begin{aligned} f_{ct, ax} \\ &= 0,9 f_{ct, sp} \\ &= 0,5 f_{ct, fl} \end{aligned}$$



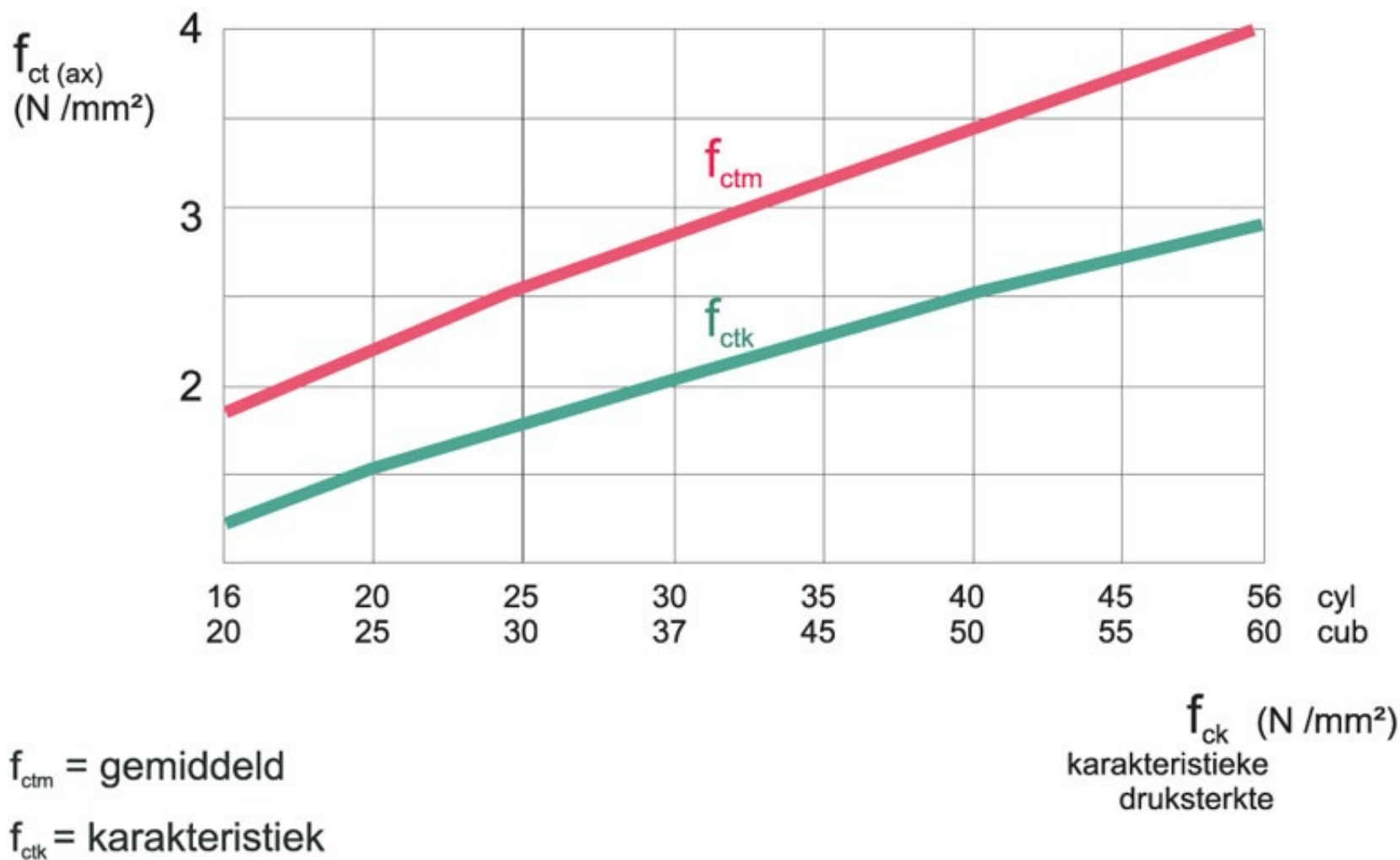
splijttreksterkte (*Braziliaanse proef*)



buigtreksterkte

4b1 mechanische sterkte

treksterkte



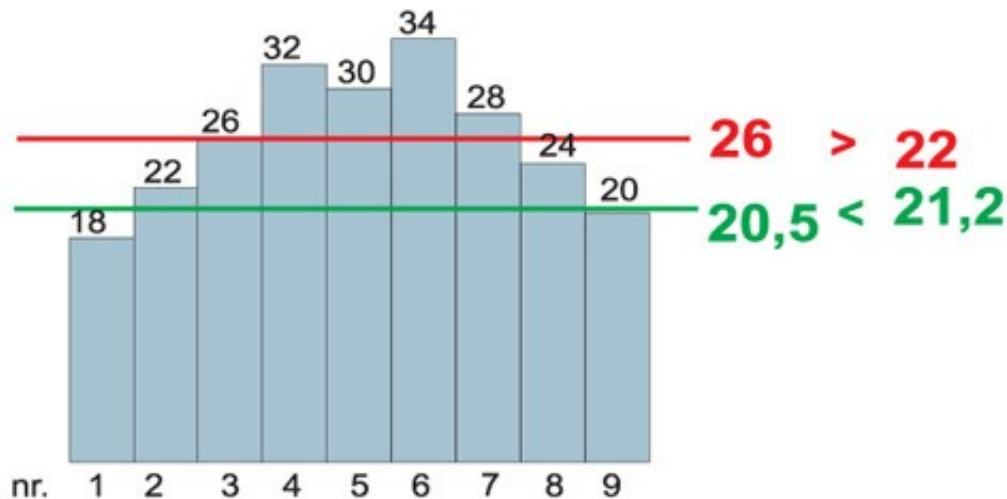
4b1 mechanische sterkte *karakteristieke sterkte*

(voorbeeld: vergelijking en beoordeling van 2 reeksen proeven met telkens 9 resultaten)

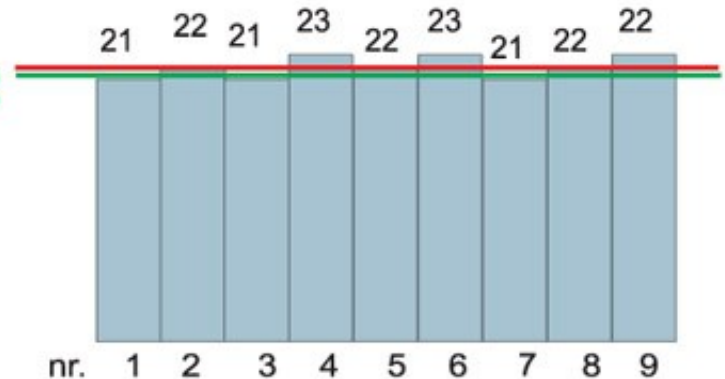
gemiddelde = f_{cm}

karakteristieke = f_{ck}

$$= f_{cm} - 1,64 s \quad (s = \text{standaardafwijking})$$

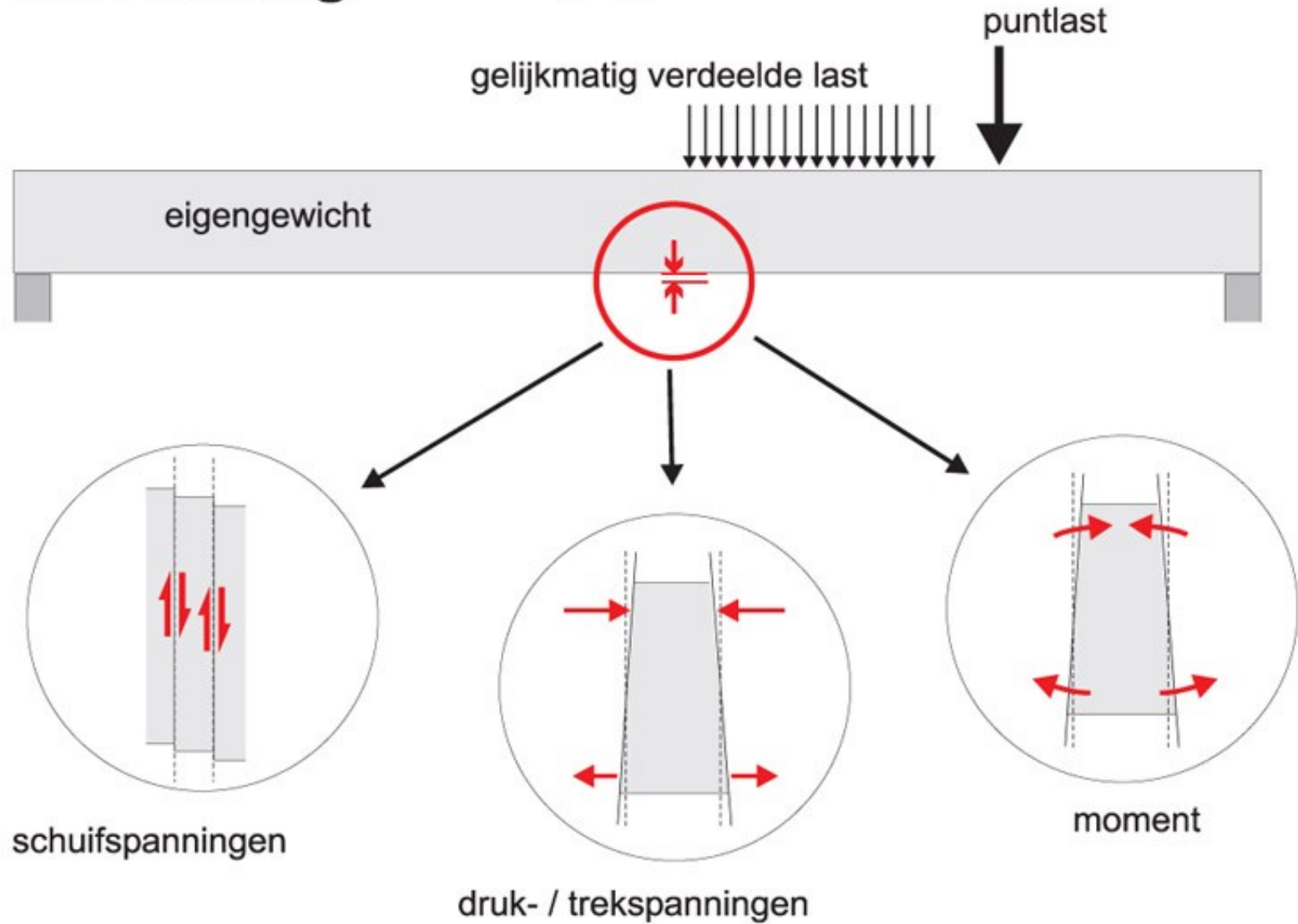


↓
= onregelmatig beton



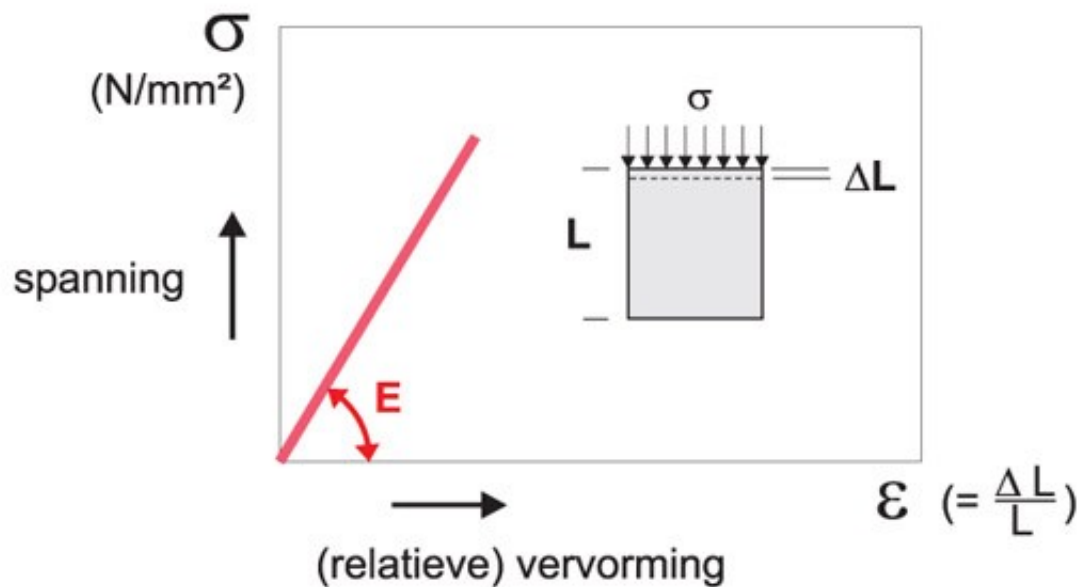
↓
= regelmatig beton

4b2 vervorming *doorbuiging*

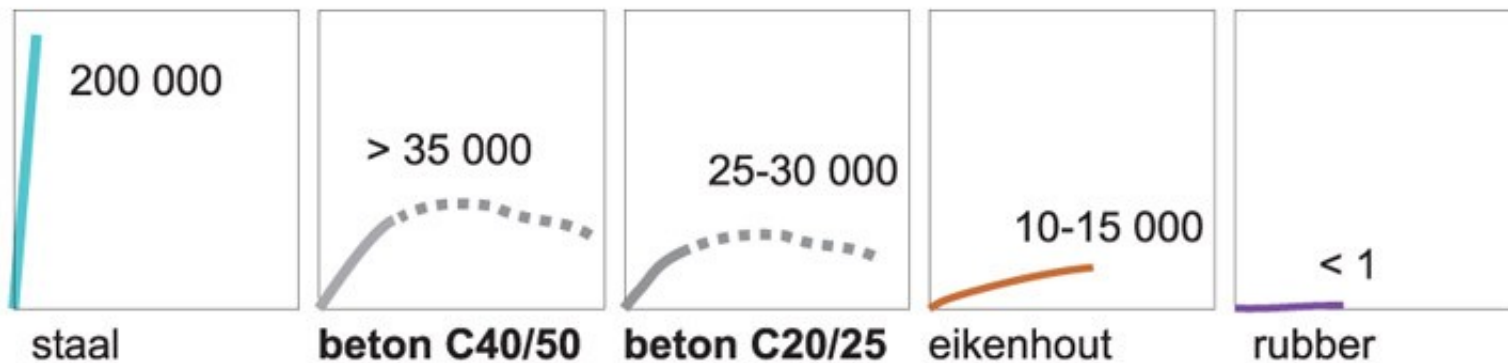


4b2 vervorming

elasticiteitsmodulus E

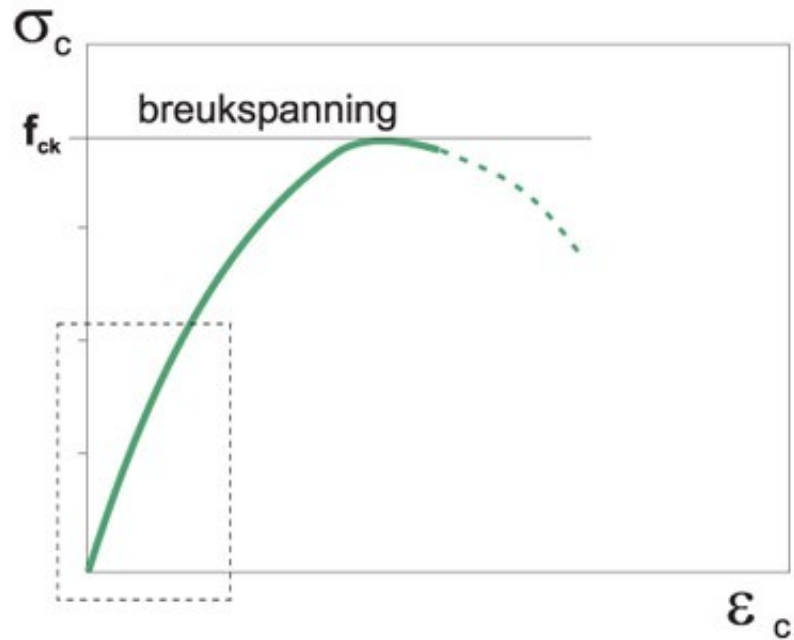


$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

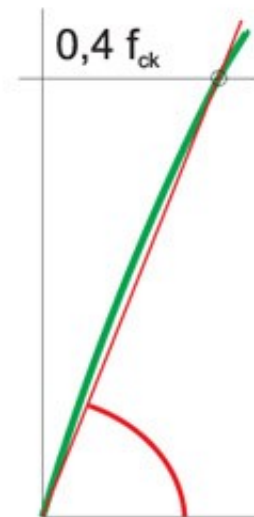


4b2 vervorming

elasticiteitsmodulus E (beton)



tangensmodulus



secansmodulus

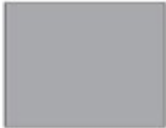
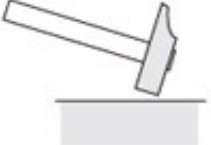
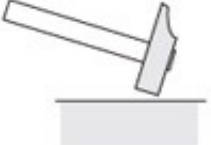
4b2 vervorming

elasticiteitsmodulus E (beton)

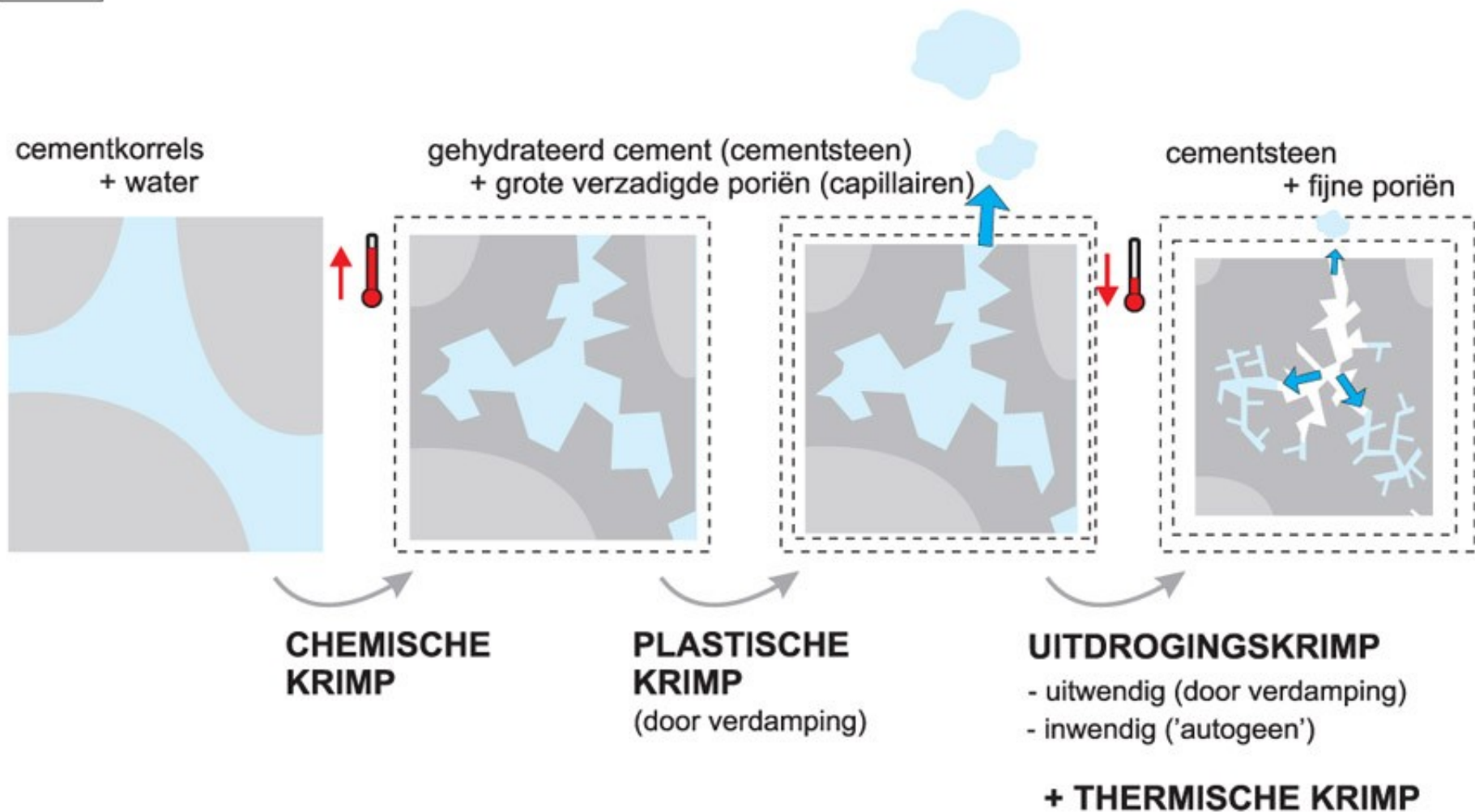
formule:

$$E_c = 9\,500 \sqrt[3]{f_{c\,cyl} + 8}$$

proef-
ondervindelijk:

	hoge E	lage E
		
geluids- voortplanting	 snel	 traag
eigen- frequentie	 hoog	 laag
oppervlakte- hardheid (sclerometer- index)	 hard	 zacht

4b2 vervorming *krimp*



uiteindelijke krimp = functie van W/C, relatieve vochtigheid, vorm
gemiddeld : - binnenklimaat : ~ 0,5 mm per m
- buitenklimaat : ~ 0,3 mm per m

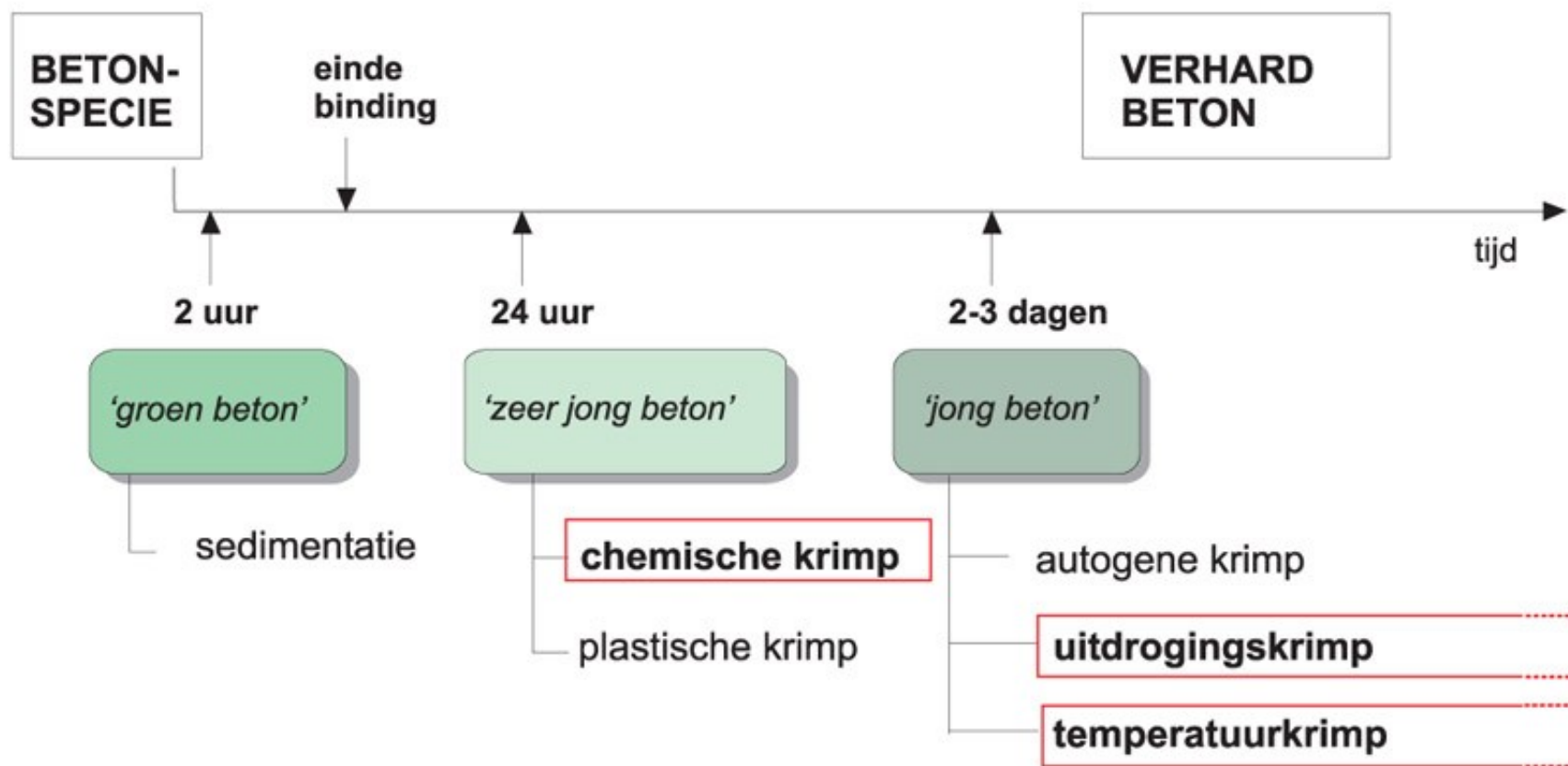
1c

2a

3b5

3c2

4b2 vervorming *krimp*

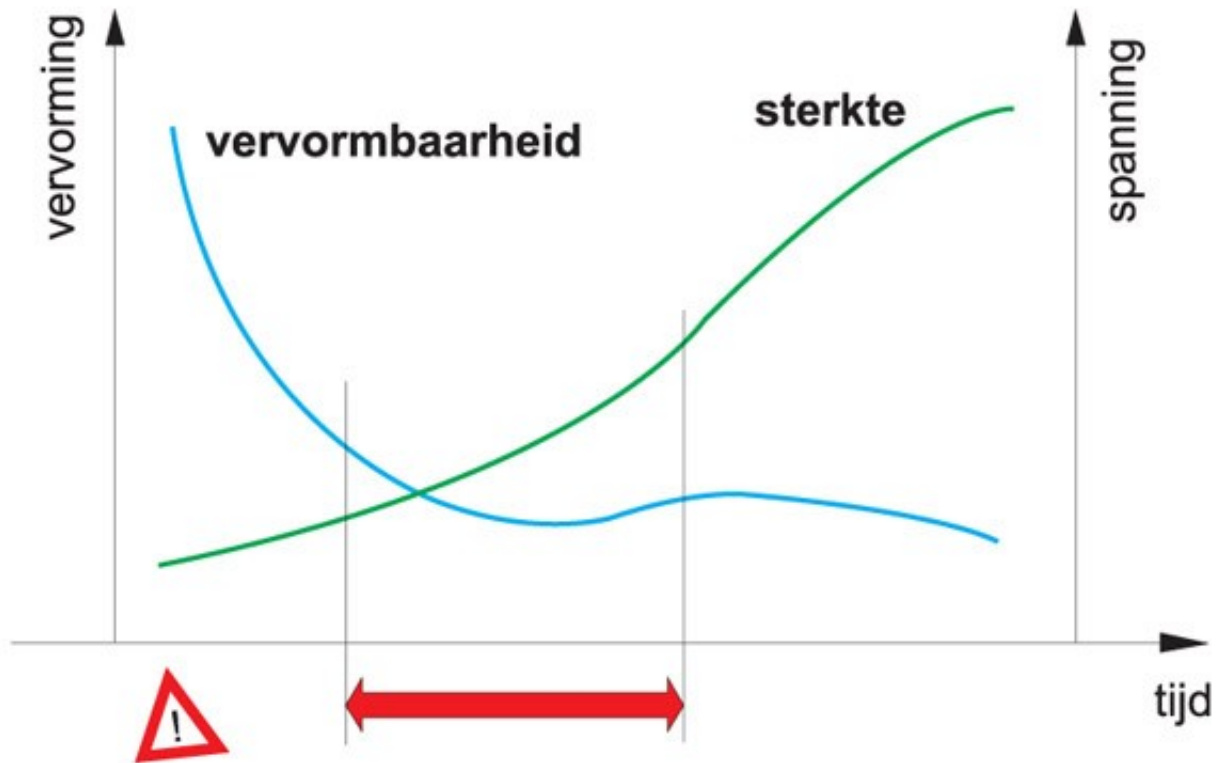


2a

3b5

3c2

4b2 vervorming *krimp*

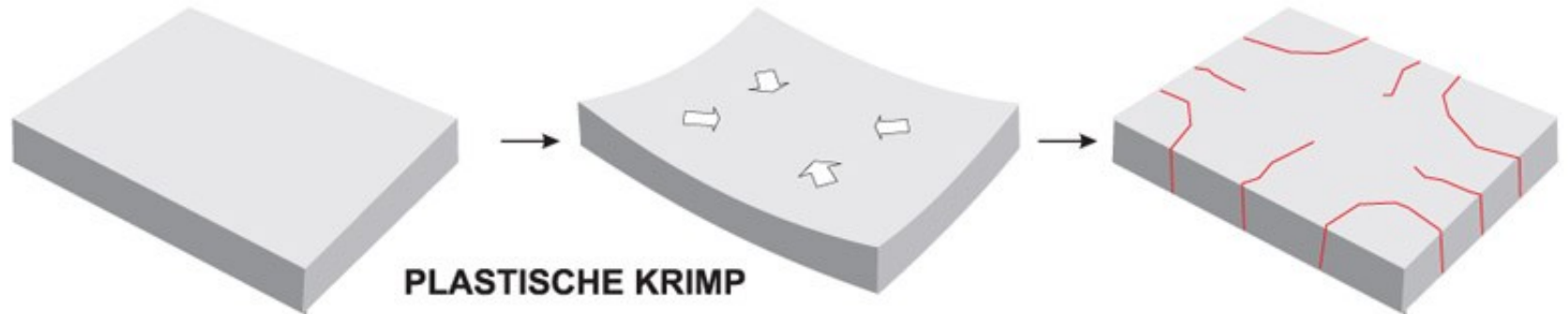


KRITISCHE FASE

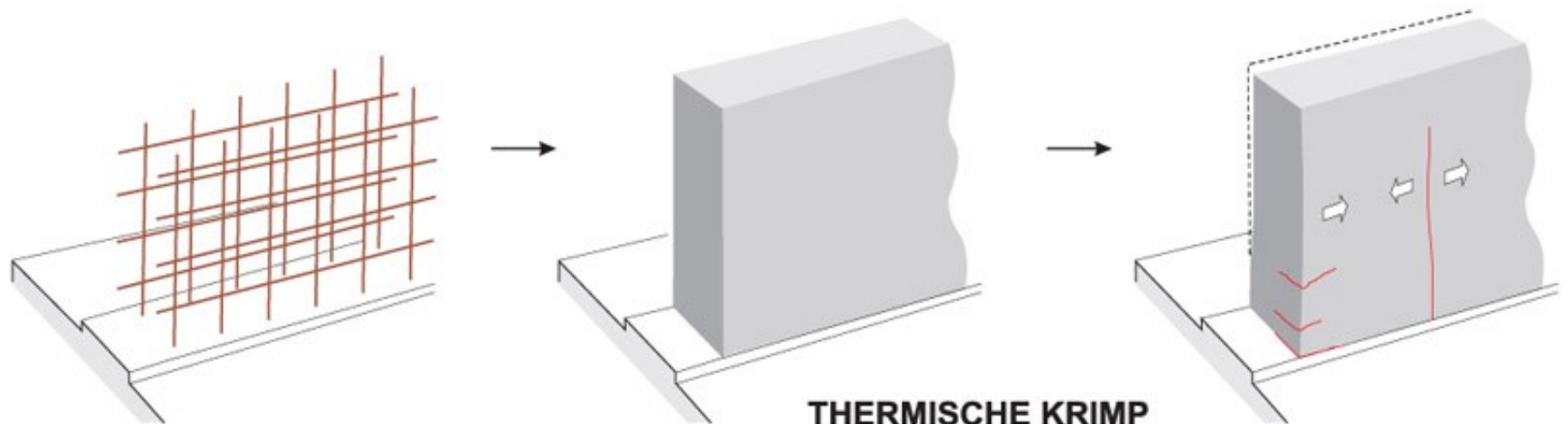
afnemende vervormbaarheid + weinig ontwikkelde sterkte = gevaar voor scheuren

4b2 vervorming

krimp en scheurvorming



PLASTISCHE KRIMP



THERMISCHE KRIMP
(‘verhinderde krimp’)

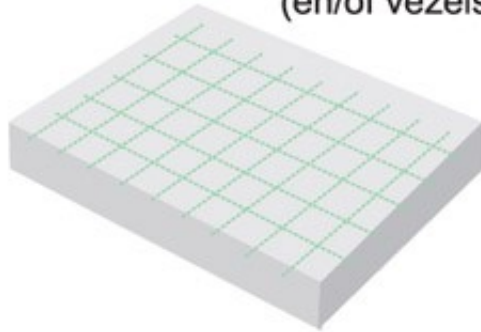
4b2 vervorming

krimp en scheurvorming

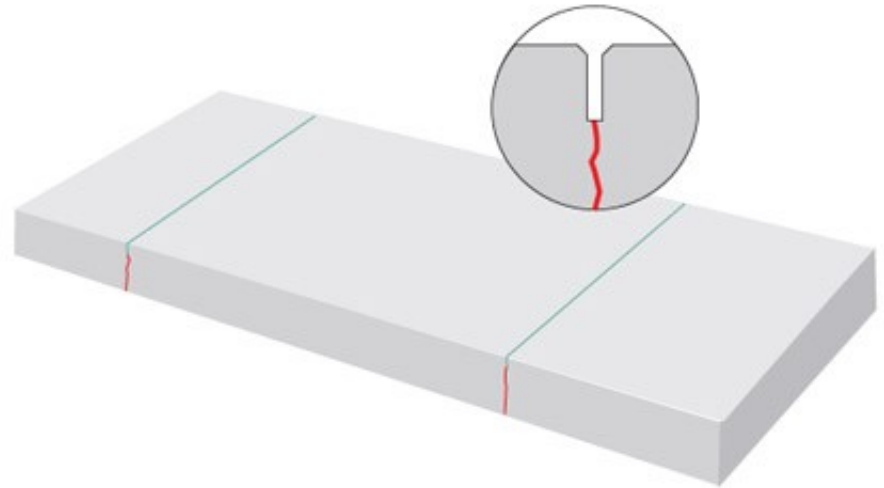
hoe voorkomen ?

— bij het ontwerp

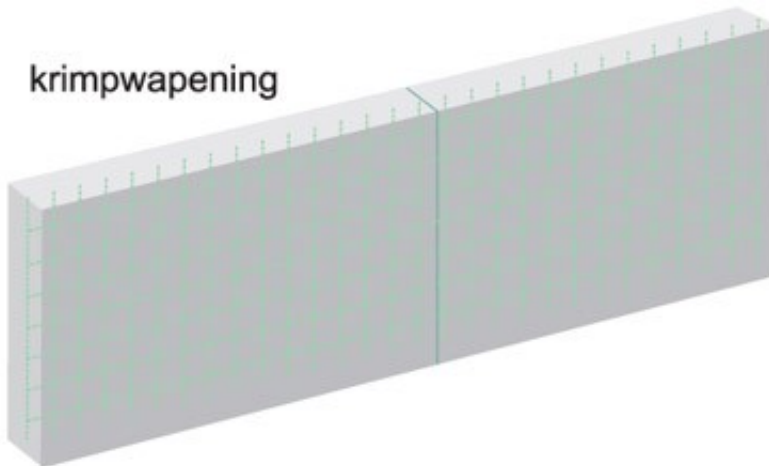
wapeningsnet
(en/of vezels)



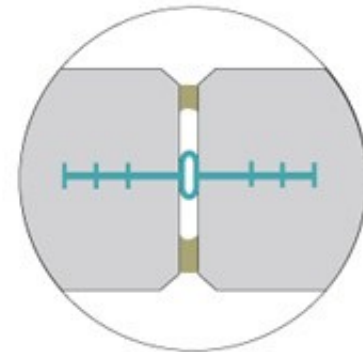
krimpvoegen
(= geleide scheuren)



krimpwapening



krimpvoeg
(eventueel met dichting)

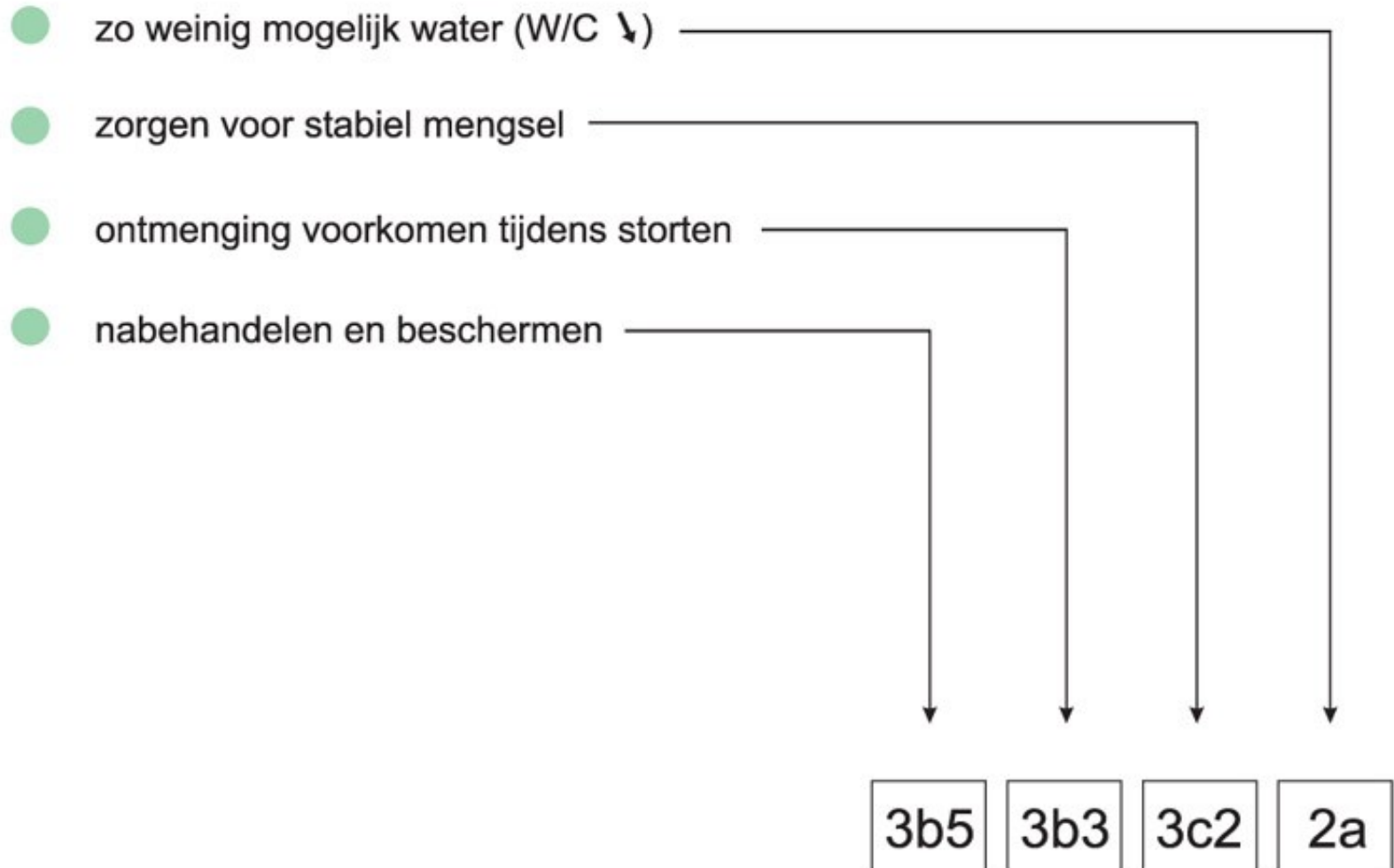


4b2 vervorming

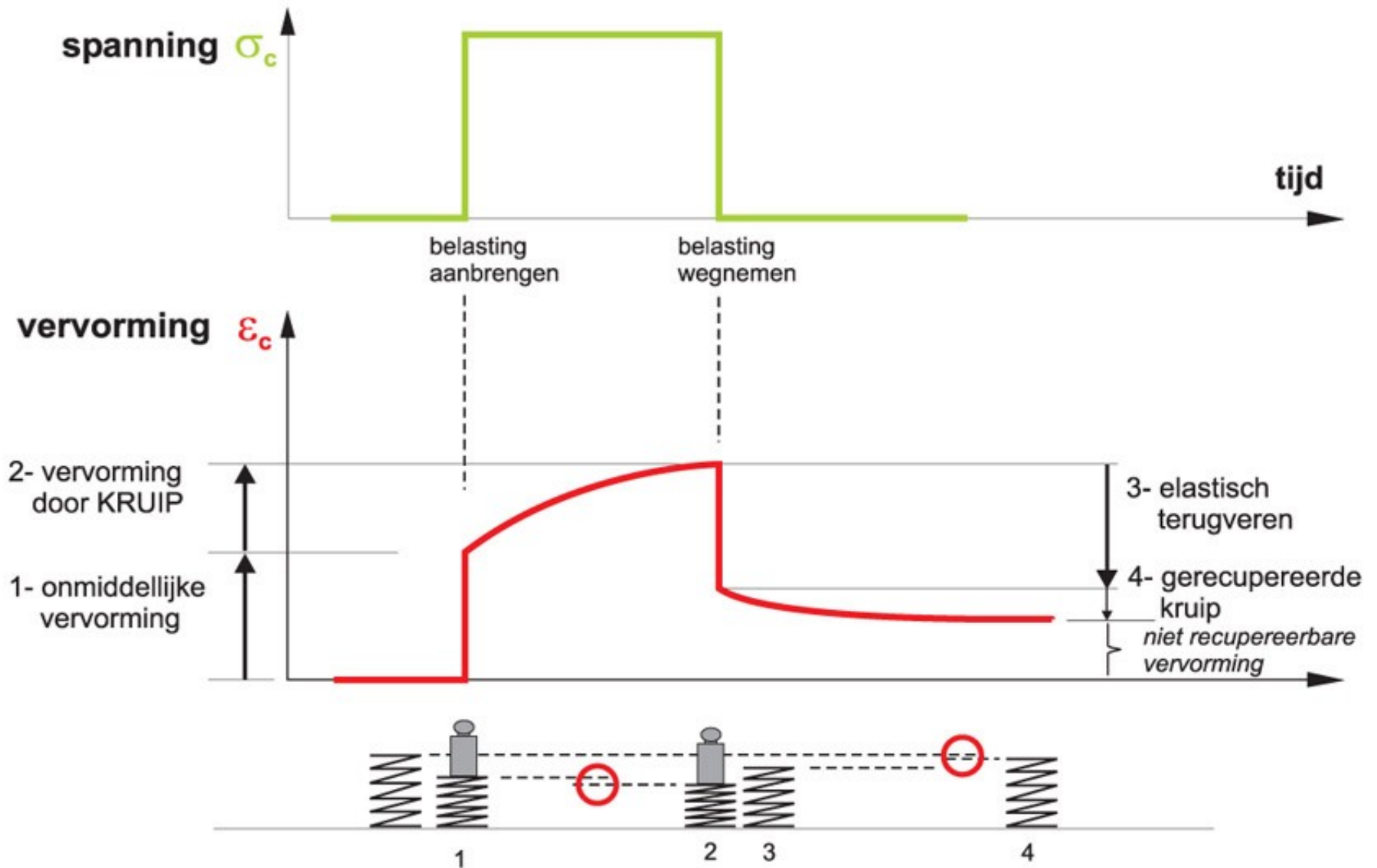
krimp en scheurvorming

hoe voorkomen ?

— bij de samenstelling en de verwerking van het beton

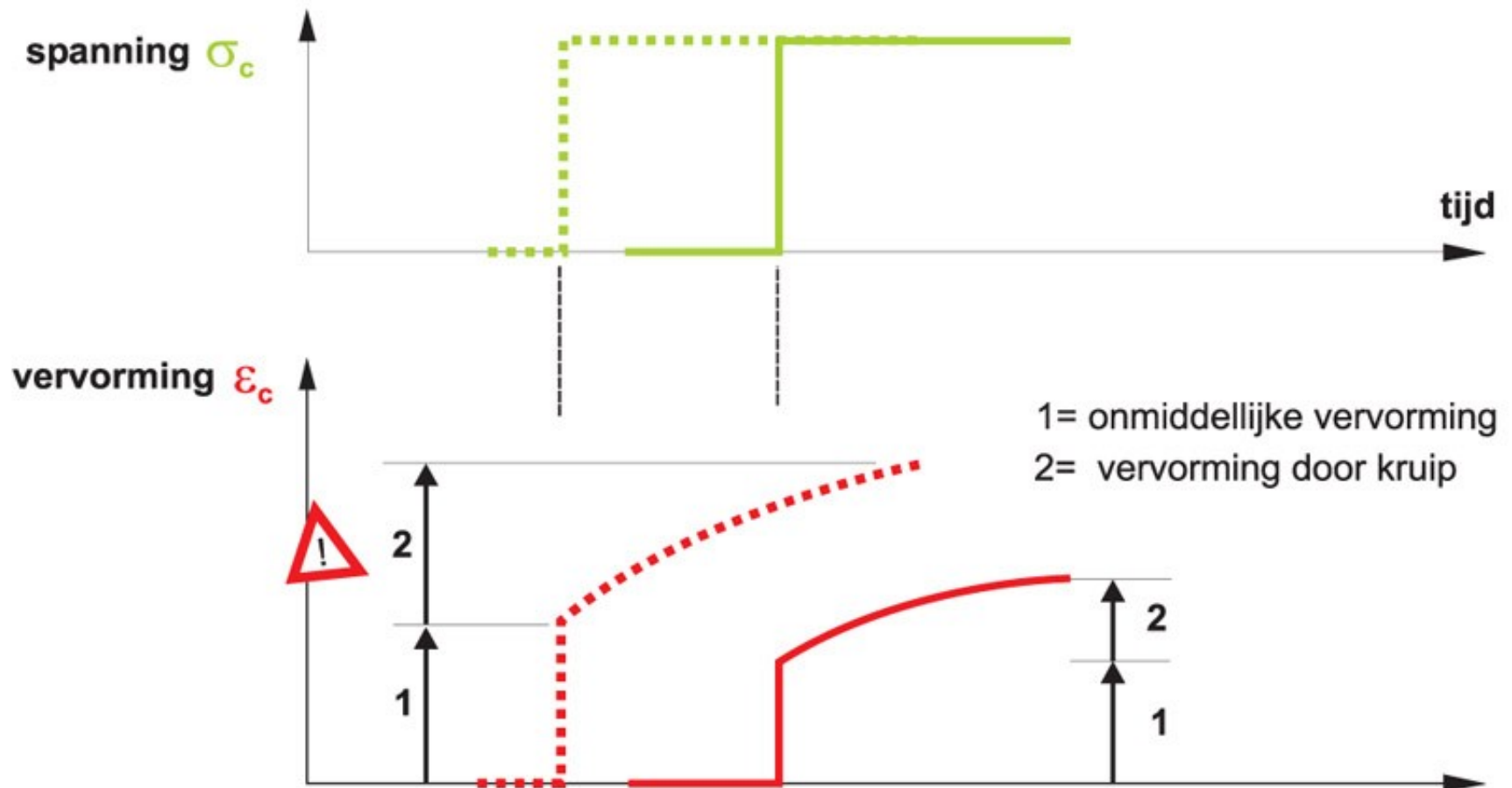


4b2 vervorming *kruip*



4b2 vervorming

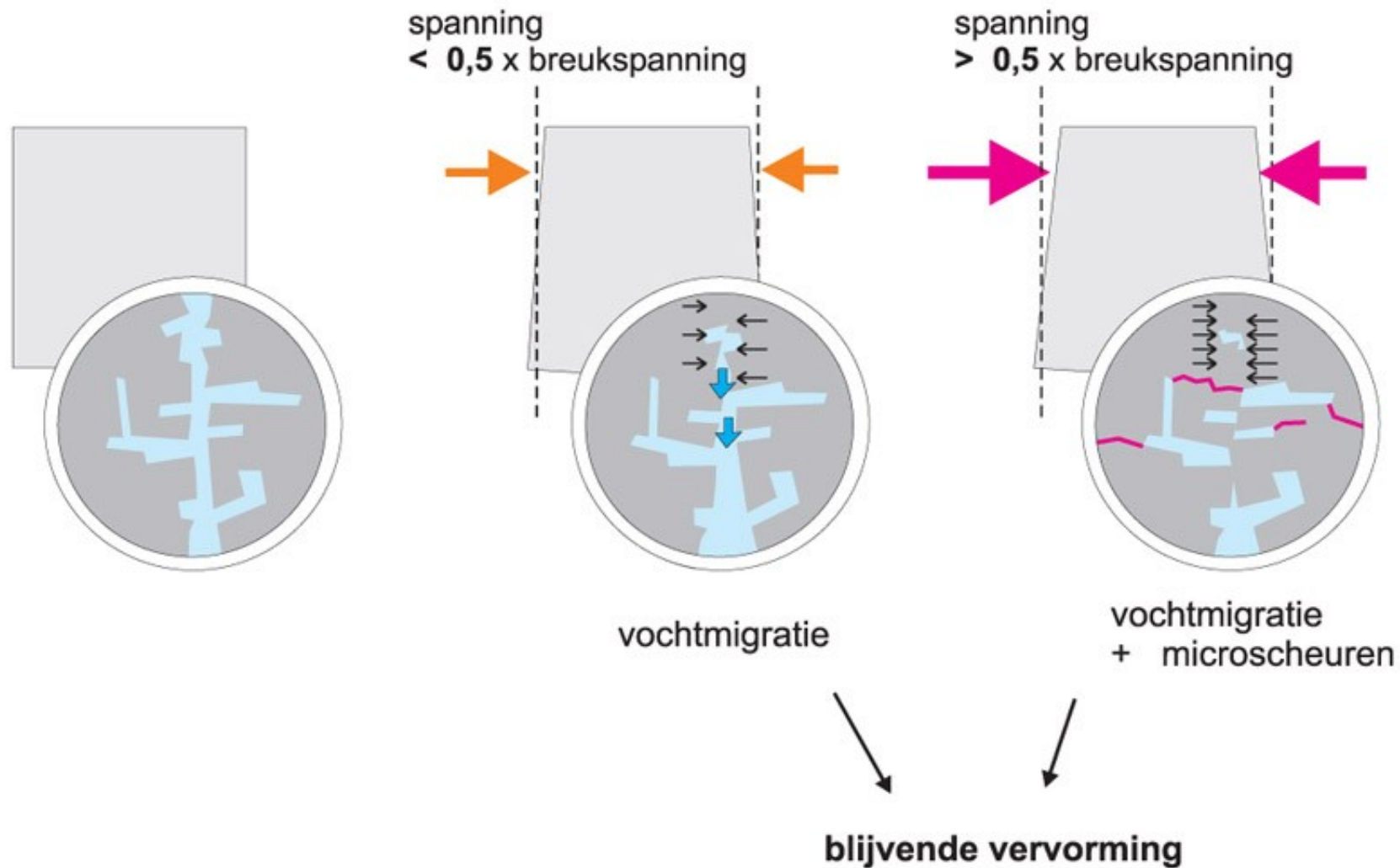
kruip - ouderdom van het beton



vervorming door kruip = onmiddellijke vervorming x kruipcoëfficiënt
kruipcoëfficiënt = functie van W/C, relatieve vochtigheid, vorm, **ouderdom van beton bij belasting**
gemiddeld : - binnenklimaat : ~ 2,5 (jong beton: > 5 !)
- buitenklimaat : ~ 1,5 (jong beton: > 3 !)

4b2 vervorming

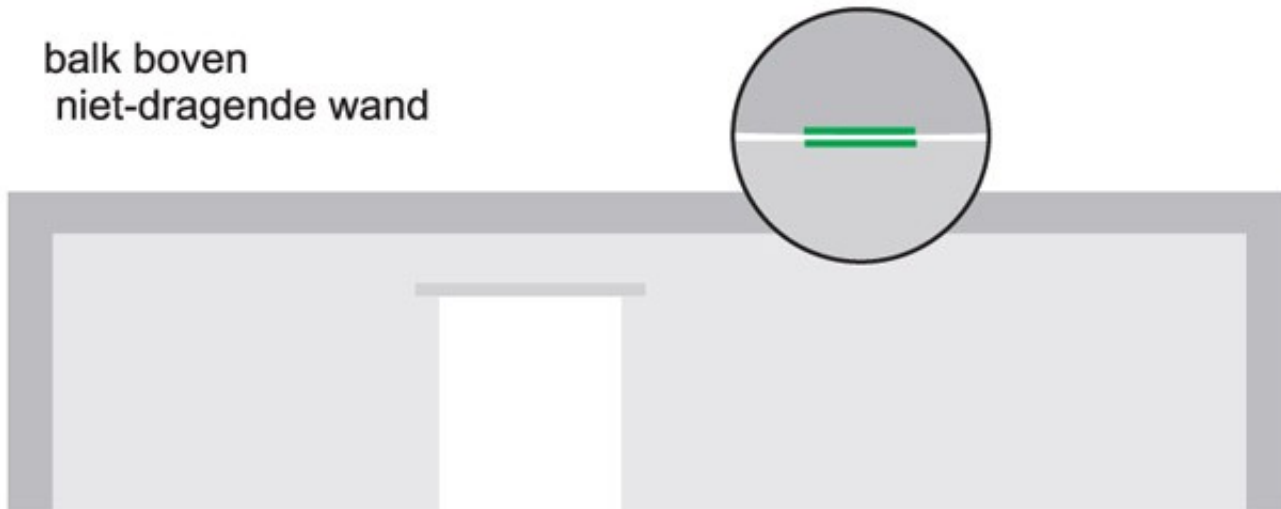
kruip - mechanisme



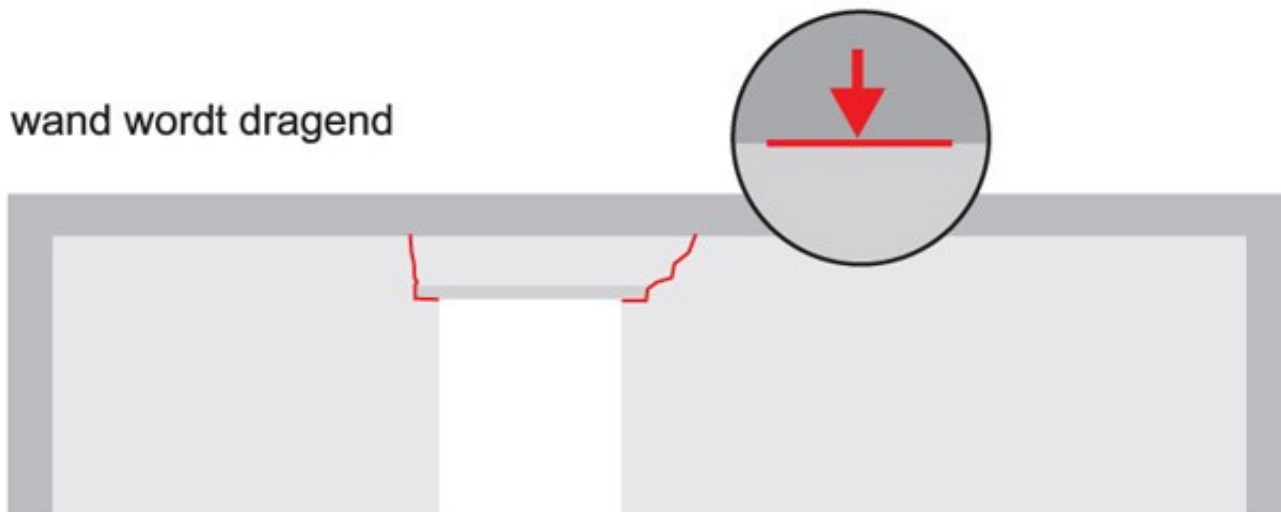
4b2 vervorming

kruip - concrete gevallen

balk boven
niet-dragende wand

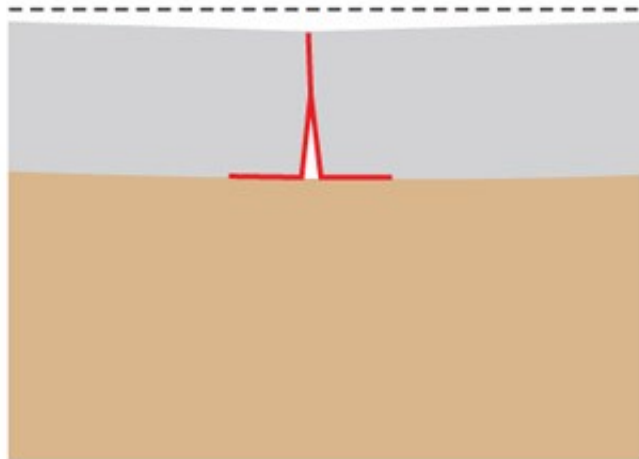
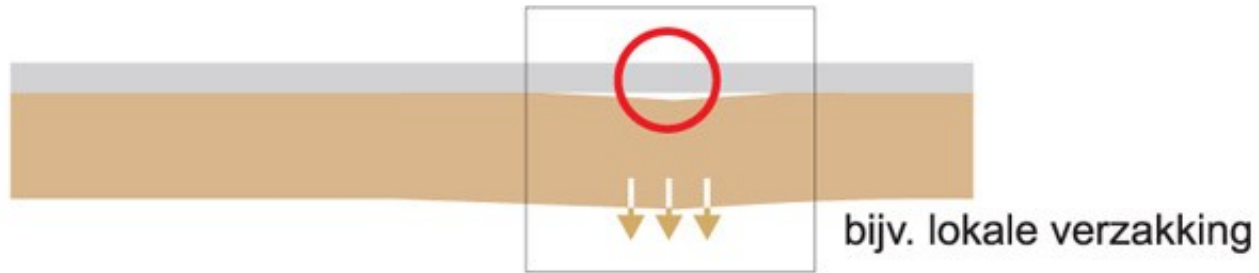


wand wordt dragend

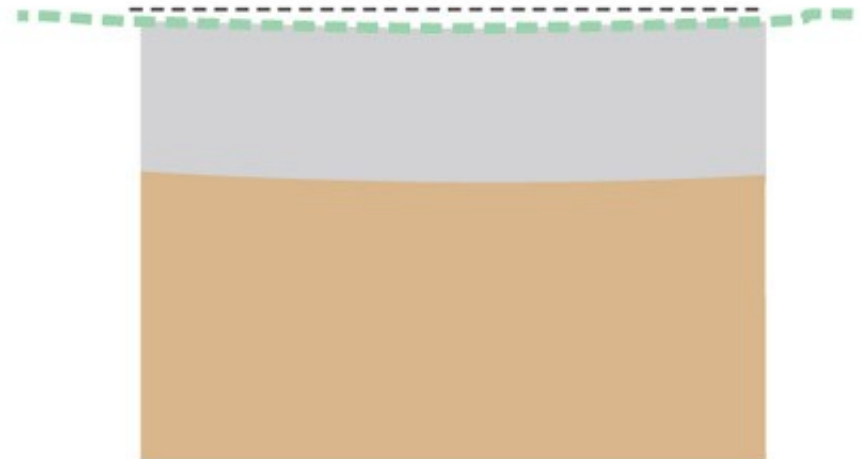


4b2 vervorming

kruip - concrete gevallen



zonder kruip: BREUK



kruip + RELAXATIE:
afname spanningen
⇒ geen breuk

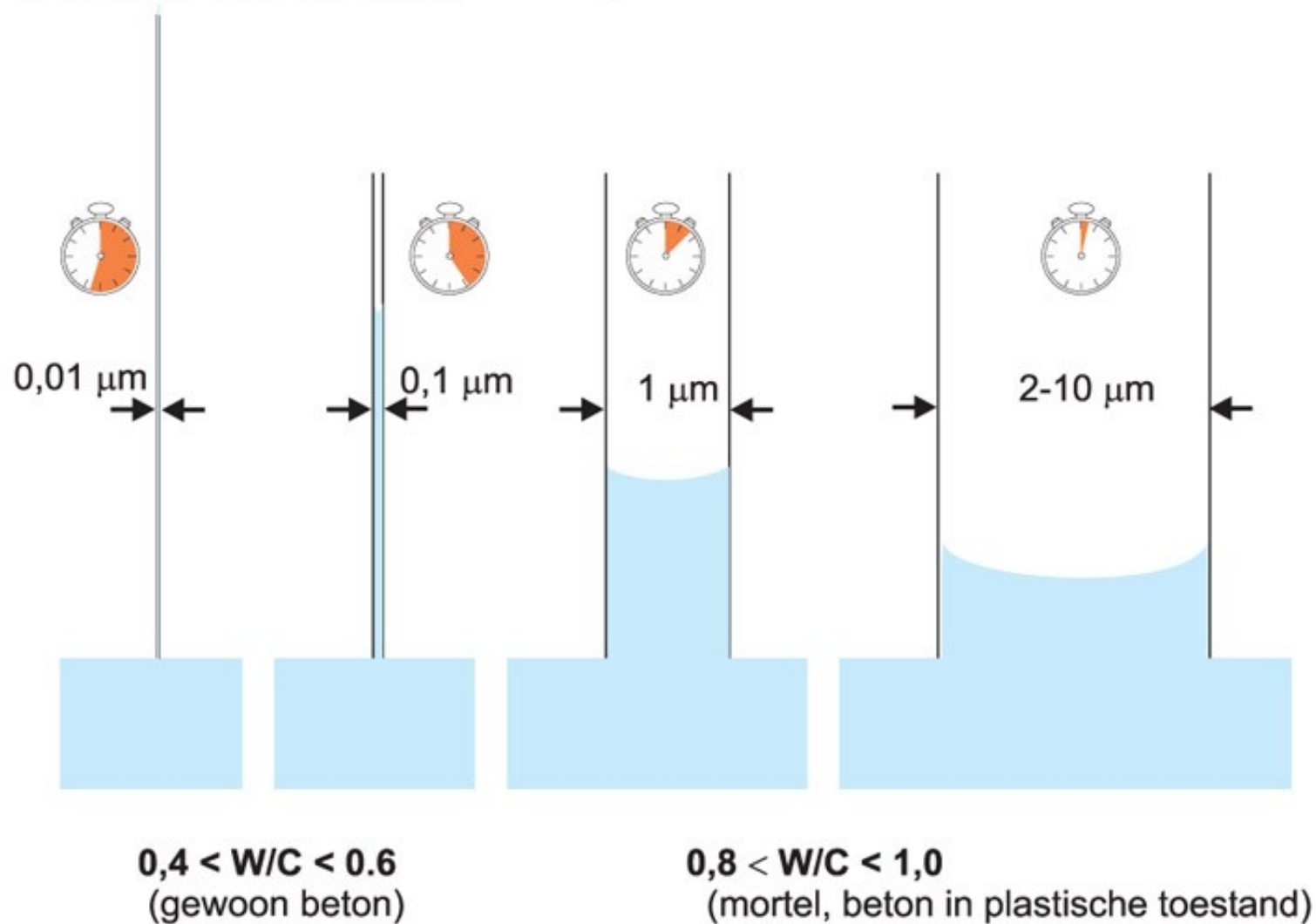
4b2 vervorming *thermische bewegingen*



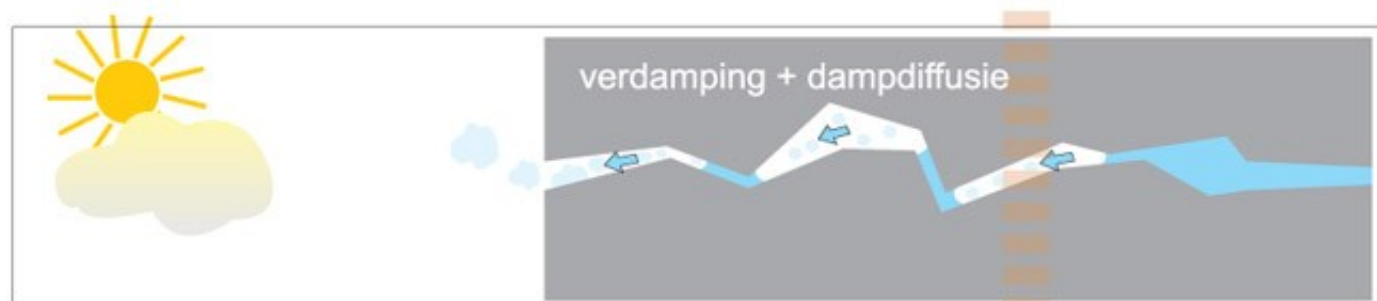
$$\Delta L = 1 \text{ mm} / 10 \text{ m} / 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



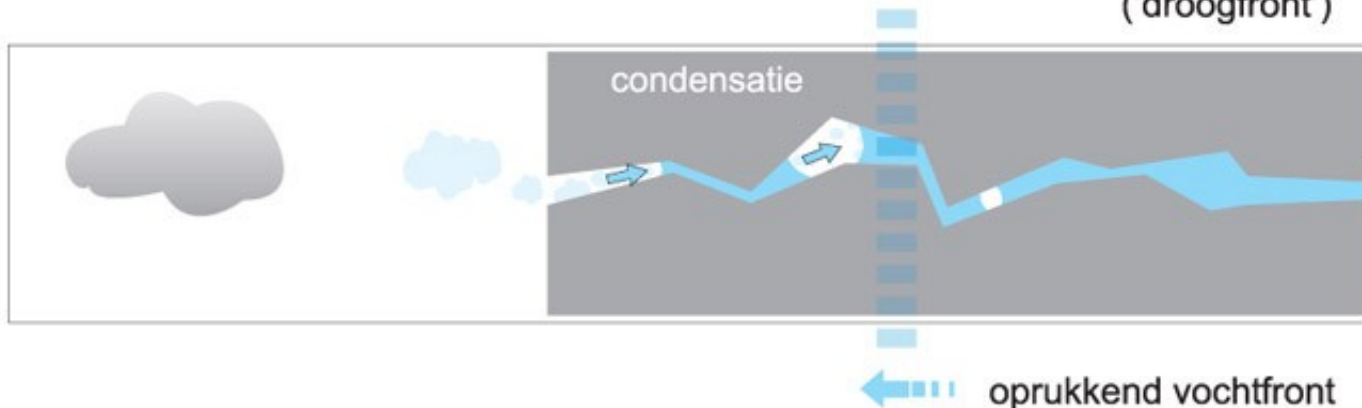
4b3 beton en water *capillariteit*



4b3 beton en water *vochtmigratie - vochtfront*



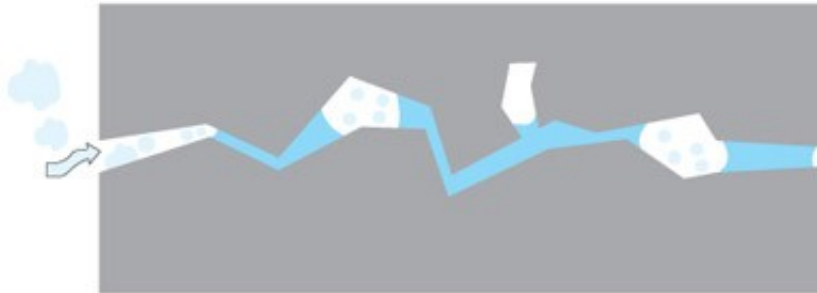
→ wijkend vochtfront
(‘droogfront’)



4b3 beton en water *hygroscopisch vochtgehalte*

= evenwichtsvochtgehalte : in evenwicht met relatieve vochtigheid van de omgeving (R.V.)

R.V. ↑



verzadigingsvochtgehalte : ± 150 liter / m³

capillair vochtgehalte: ± 115 liter / m³
(= maximaal "natuurlijk" vochtgehalte)

condensatie (vochttransport door capillariteit)



dampdiffusie

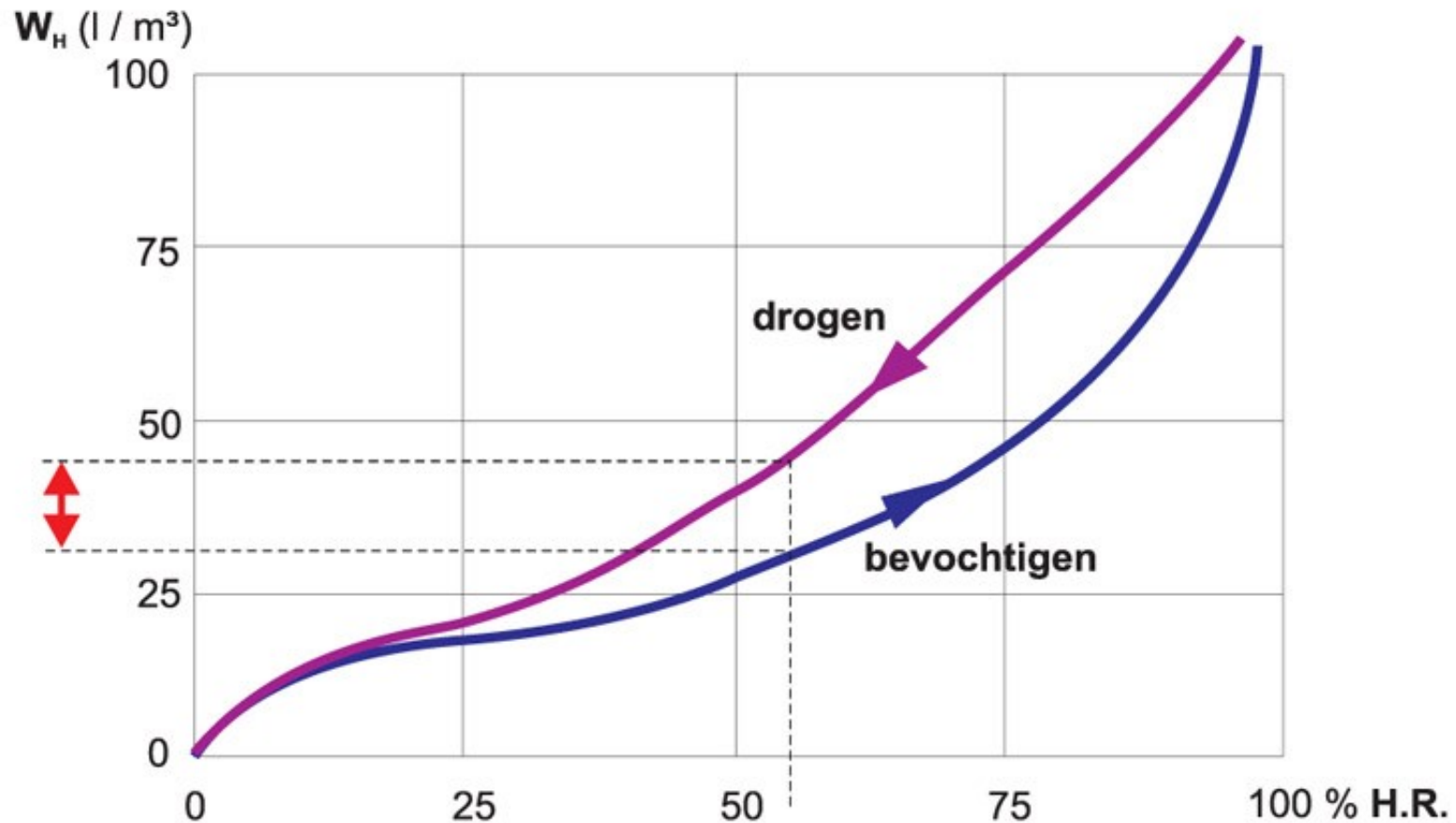


kritisch vochtgehalte : ± 110 liter / m³
(kleiner in geval van fijne poriën,
groter in geval van grote poriën)

R.V. ↓



4b3 beton en water *hygroscopisch vochtgehalte*

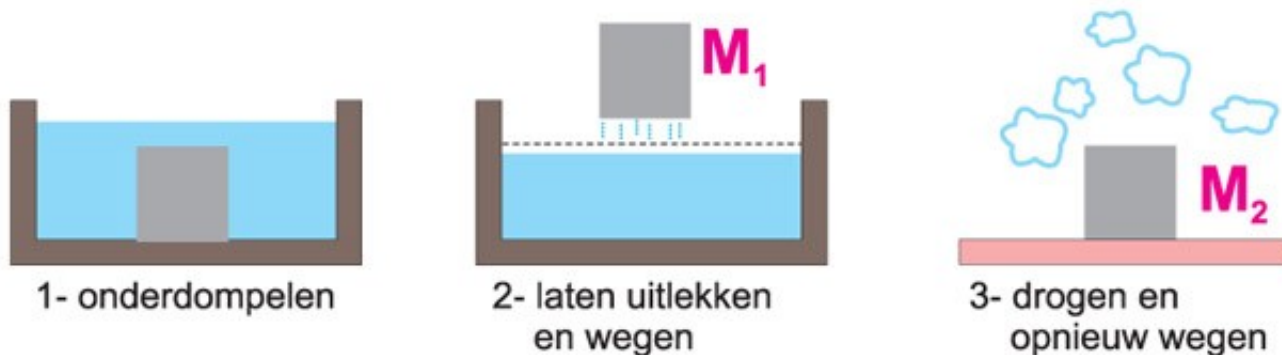


bij gelijke luchtvochtigheid bevat beton meer vocht tijdens drogen
dan tijdens bevochtigen:
d.w.z drogen is moeilijker dan bevochtigen !

4b3 beton en water *porositeitsproeven*

— waterabsorptie door onderdompeling: **relatieve porositeit V (%)**

*zeer goed beton: $V \sim 10\%$
middelmatig beton: $V \sim 20\%$*



$$V = A \cdot \rho$$

$$A = \text{absorptie (\%)} = (M_1 - M_2) / M_2$$

$$\rho = \text{volumemassa} = (\text{kg/dm}^3)$$



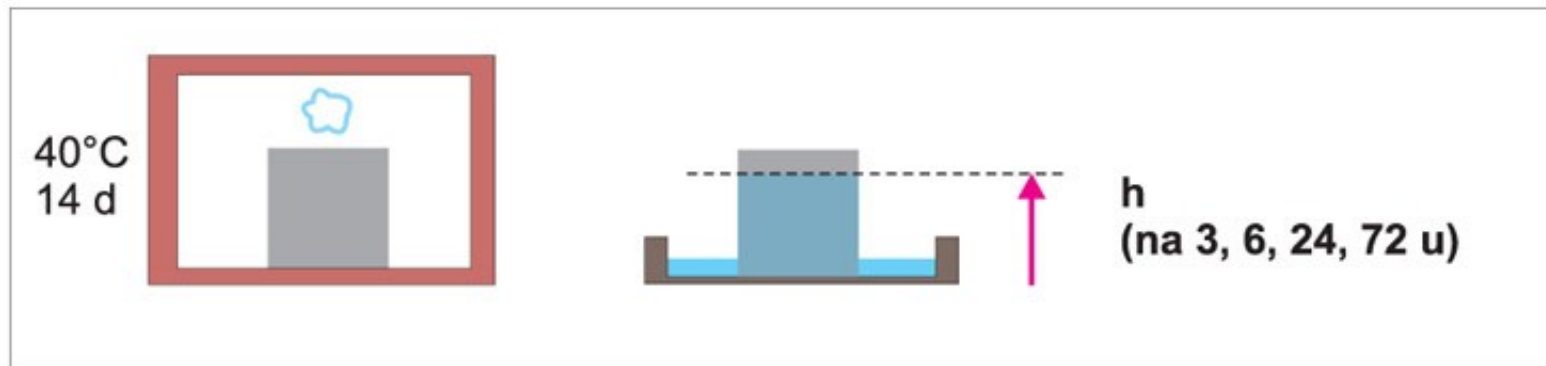
RELATIEVE POROSITEIT
= toegankelijke capillairen



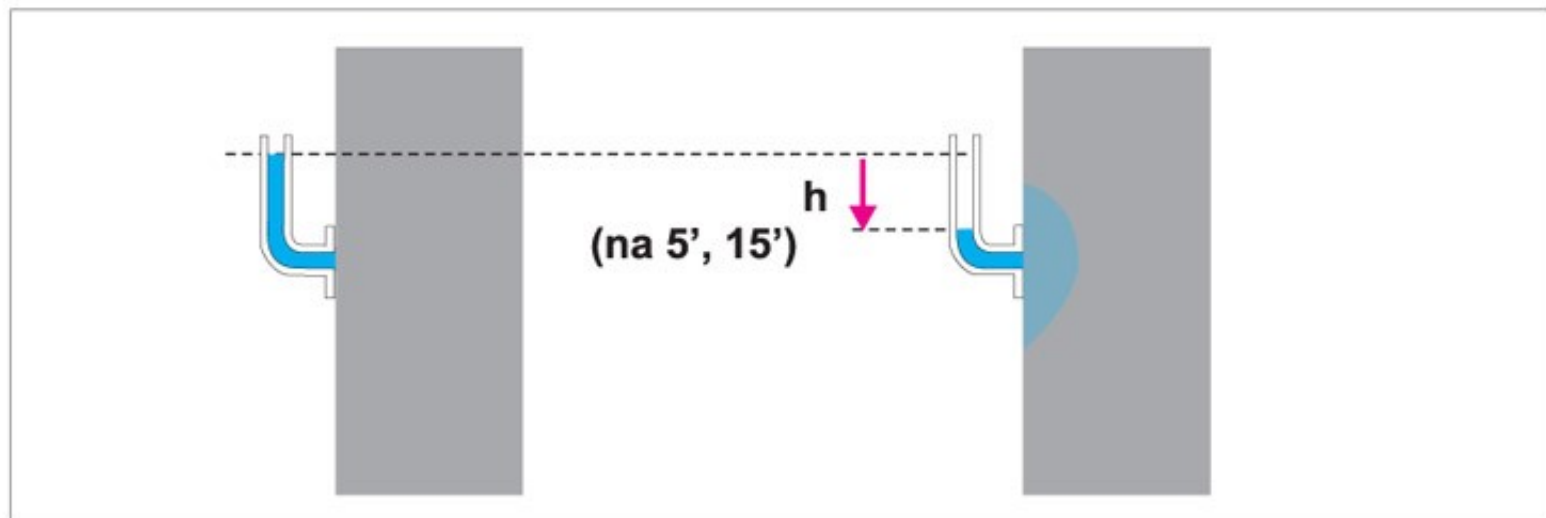
absolute porositeit
= ALLE poriën

4b3 beton en water *porositeitsproeven*

— waterabsorptie door capillariteit



— oppervlakteporositeit



4b3 beton en water *porositeit en waterdoorlatendheid*

BETON:

goed beton

jong beton,
middelmatig beton

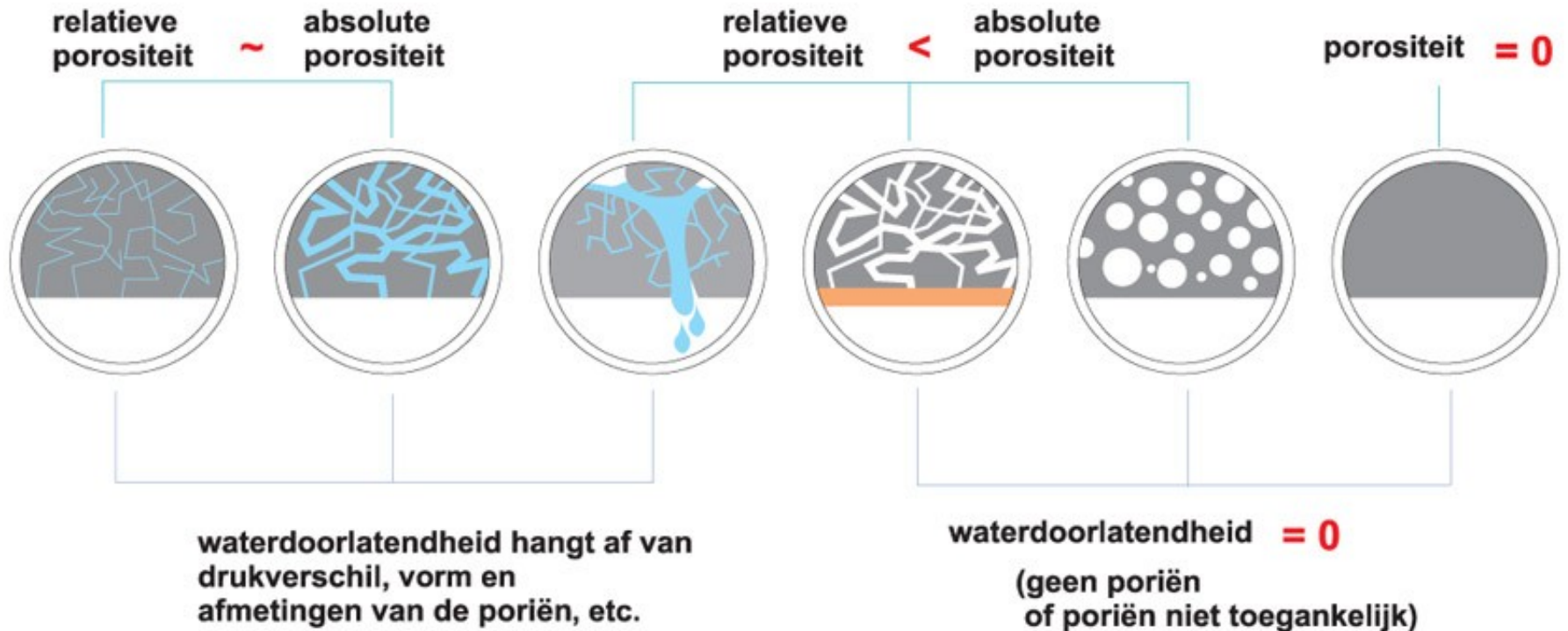
korrelbeton

beton met
verflaag,
coating

ANDERE MATERIALEN:

b.v. foam glas

*b.v. metaal,
plastic*



4b3 beton en water *porositeit en waterdoorlatendheid*

1



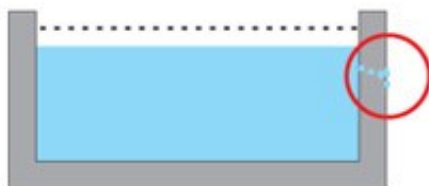
waterdicht beton
EN waterdichte constructie
("lek" = enkele liter per JAAR)

2

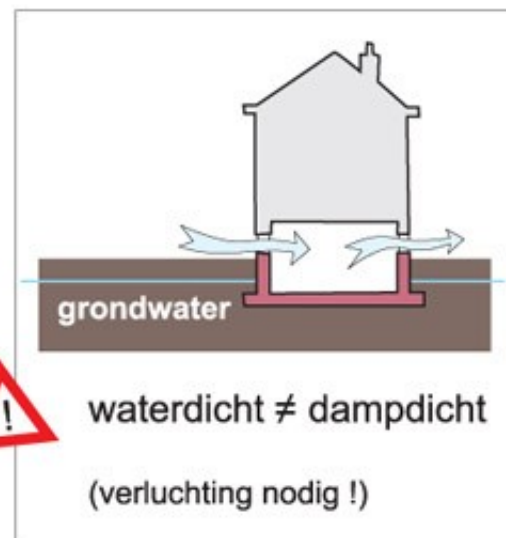
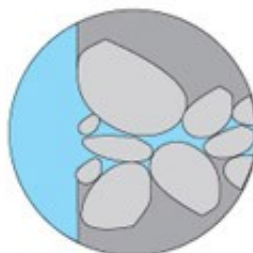


waterdicht beton
MAAR lekke constructie (bv. door krimpscheur...)

3



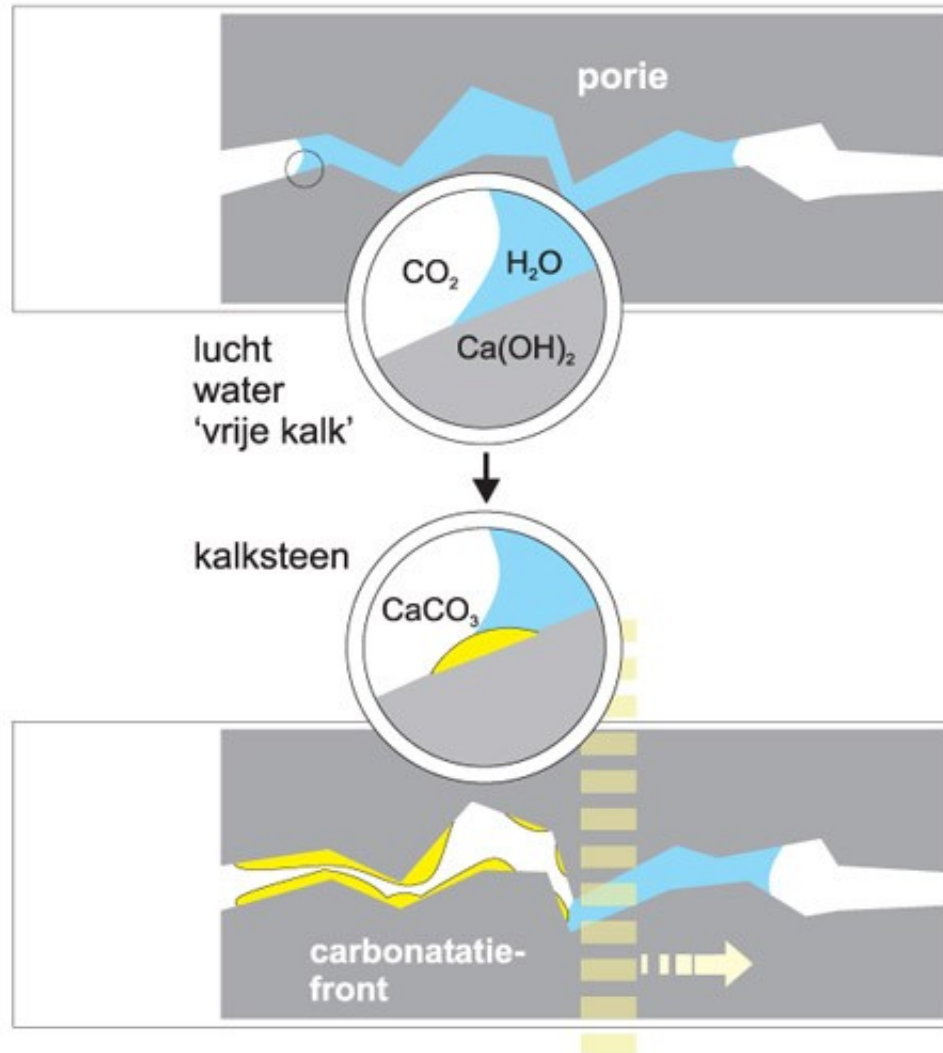
waterdoorlatend beton (bv. grindnest, hoge W/C-factor...)
EN DUS lekke constructie



4b2

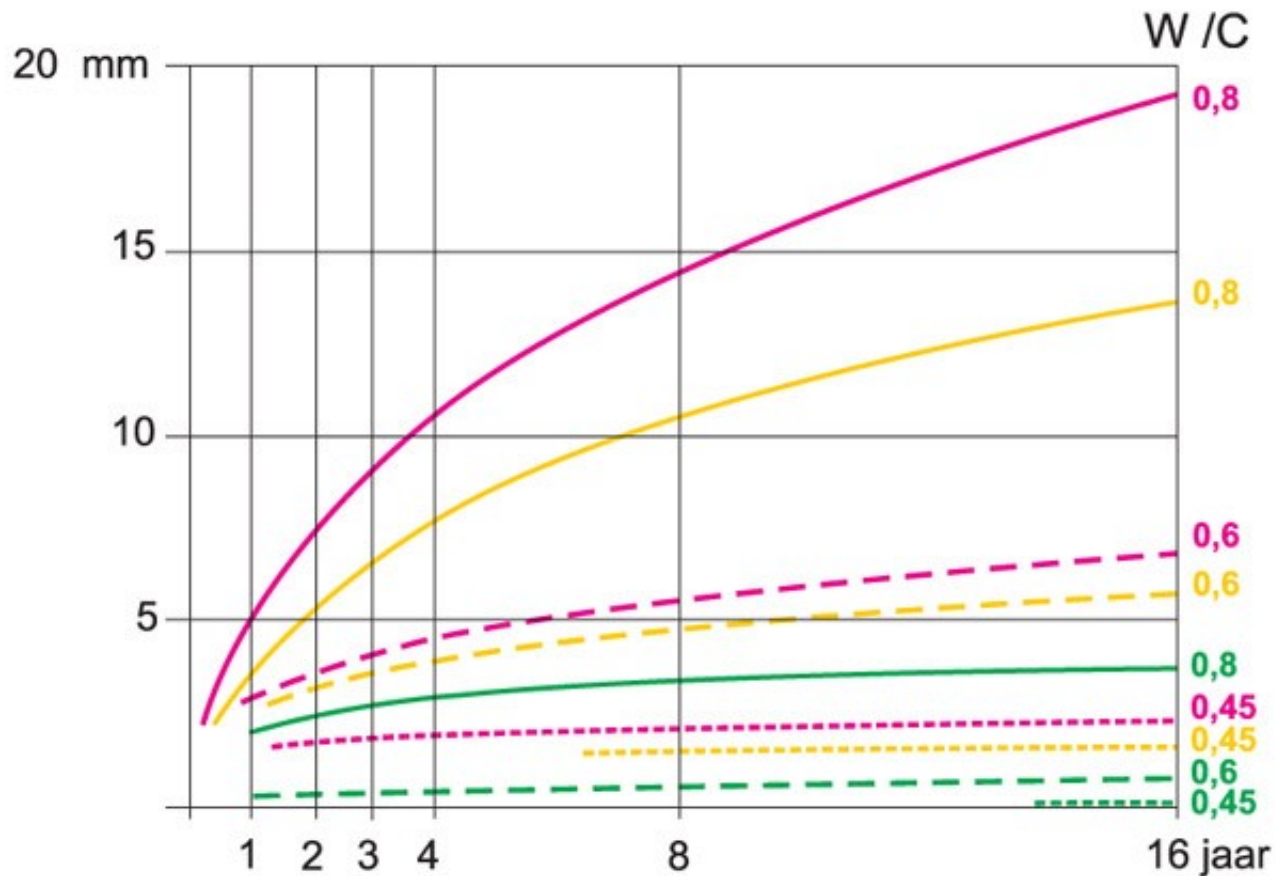
4b4 carbonatatie

carbonatatiefrent



4b4 carbonatatie

carbonatatie diepte

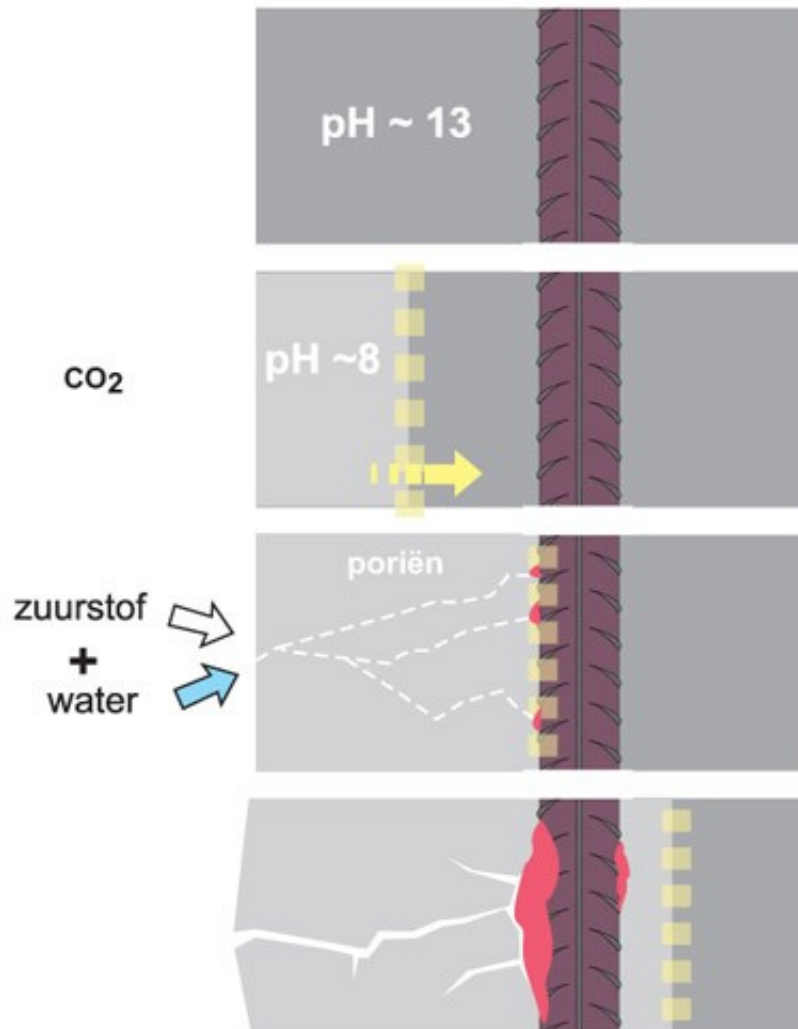


- labo (20°C, 65% R.V.)
- buiten, beschut
- buiten, onbeschut

.....→
(dichtslibbende poriën = vertragend effect)

4b4 carbonatatie

wapeningscorrosie



'passivering'
(gehydrateerd cement = basisch milieu)

voortschrijdend carbonatatiefreont

begin van roestvorming
risico groter bij:

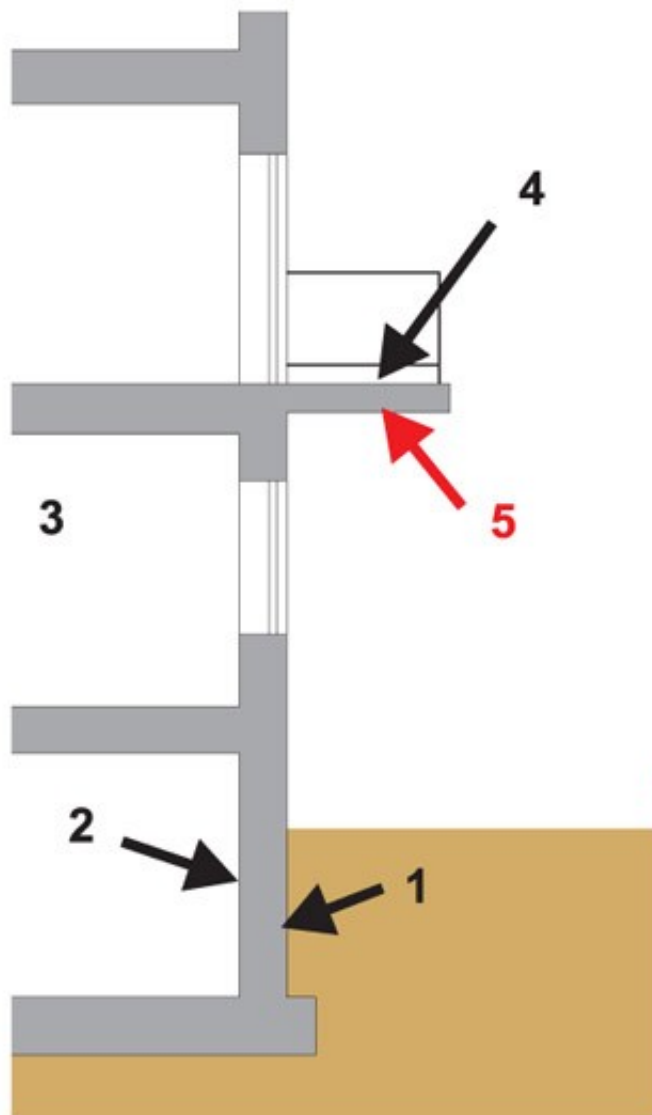
- *geringe betondekking*
- *poreus beton (hoge W/C-factor)*
- *onvoldoende verdicht beton*



roestvorming (= expansieve reactie)
⇒ barsten, afbrokkeling

4b4 carbonatatie

corrosiegevaar: concrete gevallen

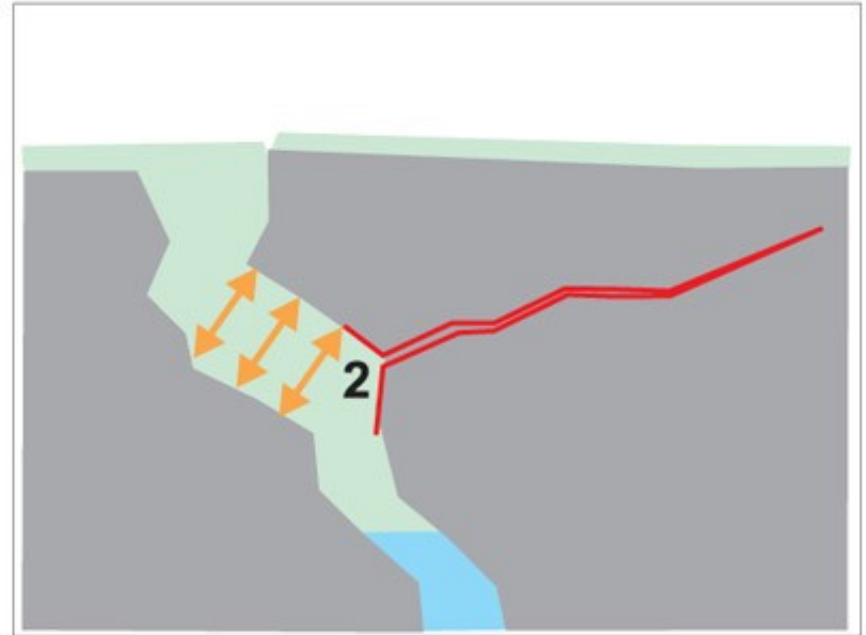


- 1- ondergronds of onder water
geringe carbonatatie (weinig of geen CO_2)
⇒ geen corrosie
- 2- kelder
carbonatatie met enigszins gunstig effect:
poriëndichting
- 3- binnenruimte
lage luchtvochtigheid
⇒ geen corrosie
- 4- buiten en onbeschat
indien zeer fijne poriën:
⇒ weinig zuurstof tot bij de wapening
⇒ beperkt corrosie-risico
- 5- **buiten en beschermt**
poriën afwisselend nat (luchtvochtigheid)
en droog (zuurstof tot bij wapening):
⇒ **corrosiegevaar !**
(in geval van poreus beton of
onvoldoende betondekking)

4b5 beton en vorst *aantastingsmechanisme*



1- **brede poriën**
(jong beton,
beton van matige kwaliteit)
verzadigd met water

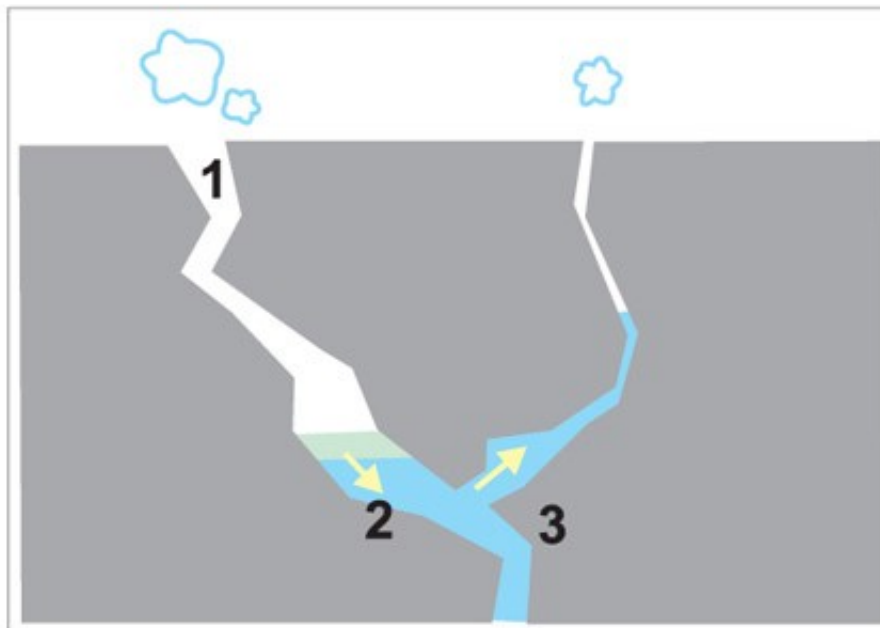


2- in geval van **plotse vorst**: afschilfering
(*'scaling'*)



4b5 beton en vorst *beschermingsmaatregelen*

- niet betonneren bij zeer koud weer ($\geq +5^{\circ}\text{C}$ gedurende de eerste 72 u)
- cement gebruiken uit klasse **42,5R** of **52,5N** of **52,5R**
- beton realiseren met **fijne poriën** ($\text{W/C} \downarrow$):



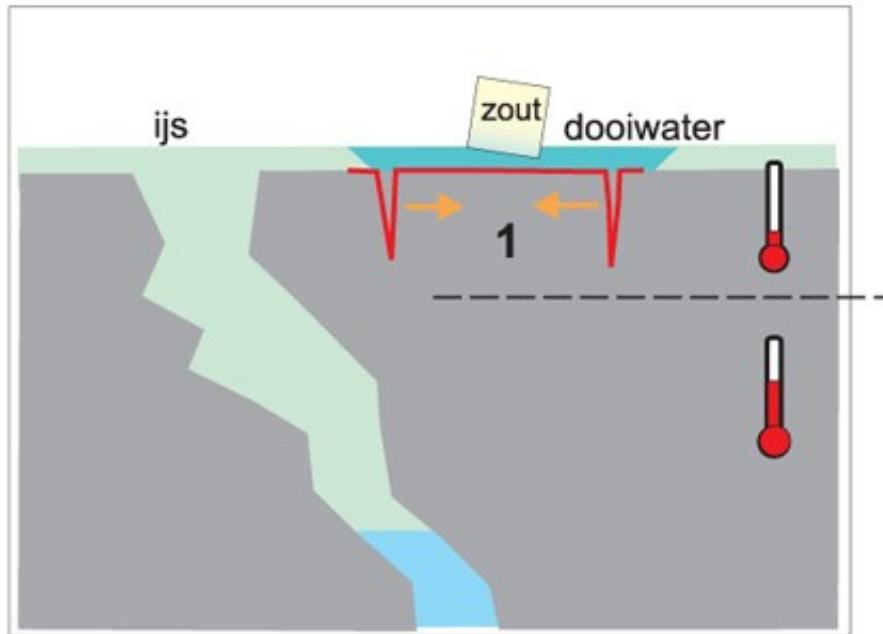
fijne poriën =

- 1- weinig of geen water aanwezig (laag hygroscopisch vochtgehalte)
- 2- vriespunt $\ll 0^{\circ}\text{C}$ (water staat onder druk door capillaire adhesie)
- 3- ontsnappingsroutes bij intredende vorst (diffusie, verdamping)

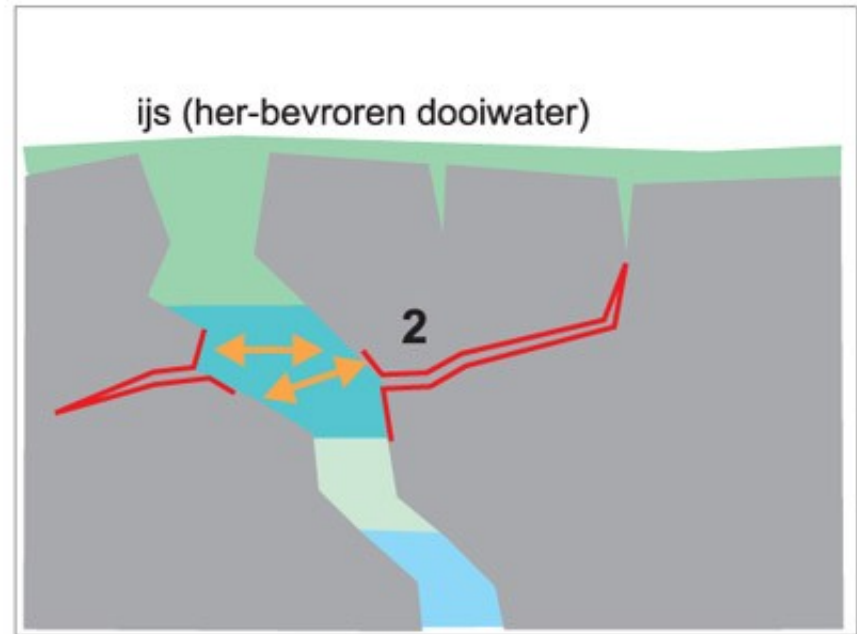


ook de granulaten moeten bestand zijn tegen vorst !

4b5 beton en vorst *dooizouten - aantastingsmechanisme*



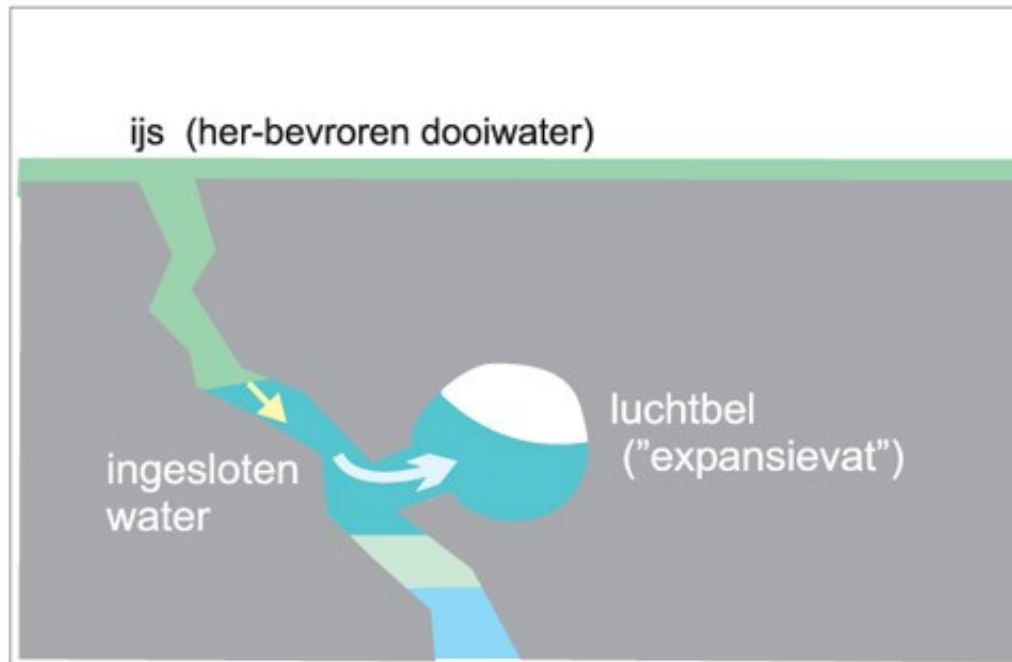
- 1- zouten lossen op, ijs smelt
(*endotherme reactie*)
⇒ plotse afkoeling van oppervlaktelaag
(*temperatuurschok*)
⇒ trekspanningen, scheurvorming...



- 2- ingesloten water bevriest
⇒ verhinderde uitzetting
⇒ scheurvorming, afschilfering...

4b5 beton en vorst *dooizouten - beschermingsmaatregelen*

- **compact** beton realiseren (W/C ↓ ⇒ fijne poriën)
met voldoende **sterkte** (voldoende cement ⇒ hogere treksterkte)
- een **luchtbelvormer** toevoegen tijdens het mengen
(volume ingebrachte lucht = 3 à 6 %)



luchtbelvormers
= daling van sterkte
met 10 tot 15 %

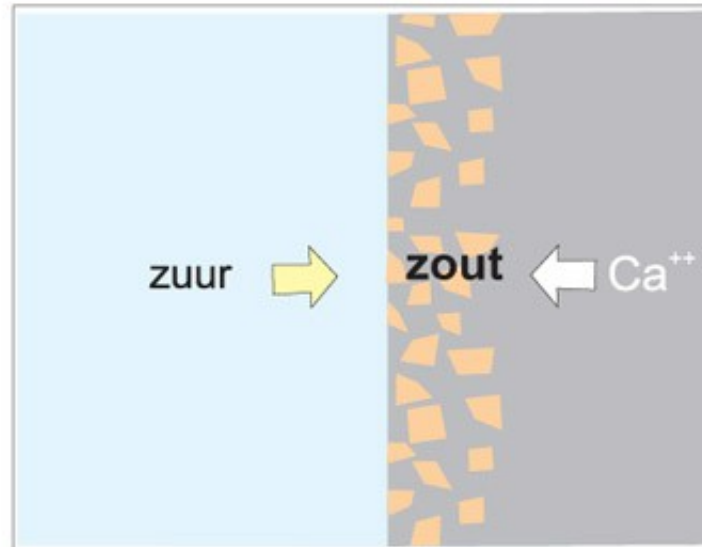


gehalte aan lucht en
tussenafstand tussen
de luchtbellens
controleren

4b6 beton en agressieve stoffen *zuren*

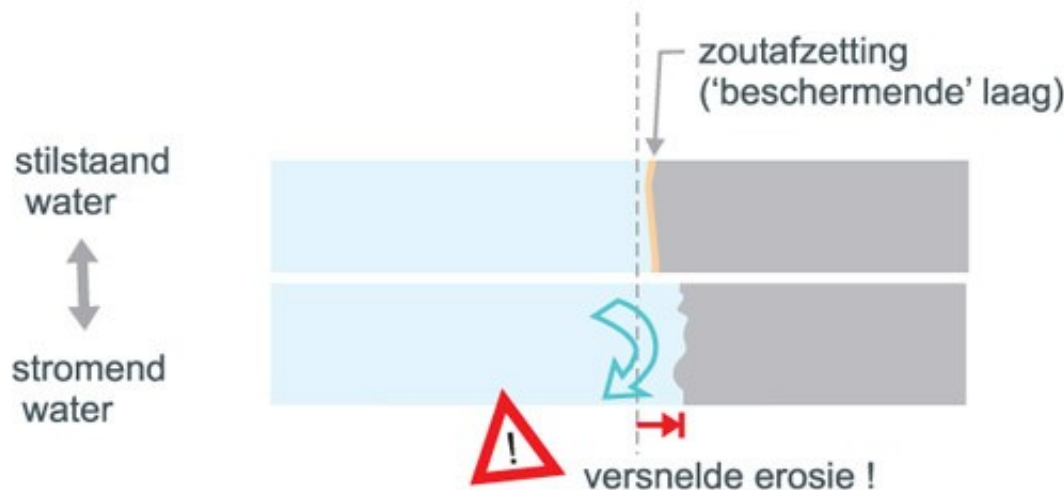
oorsprong:

- zure regen
- scheikundige producten
- gistingsproducten afkomstig van fruit, groenten, melk...
- afvalwaters: huishoudelijk, industrieel...



maatregelen ter voorkoming/bescherming:

- W/C ↓
- hoger cementgehalte
- coating
- overdimensionering ('opofferingsdikte')



1c

2b1

4b6 beton en agressieve stoffen *sulfaten*

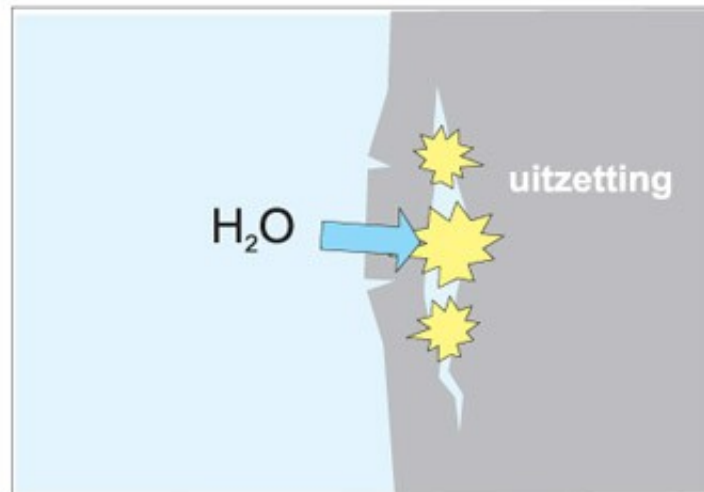
oorsprong:

- zeewater
- grondwater met sulfaten, meststoffen...



maatregelen ter voorkoming/bescherming:

- HSR-cement
- W/C ↓
- hoger cementgehalte
- coating



1c

2b1

4b6 beton en agressieve stoffen *chloriden*

oorsprong:

van buitenaf:

- zeewater
- zeelucht
- dooizouten

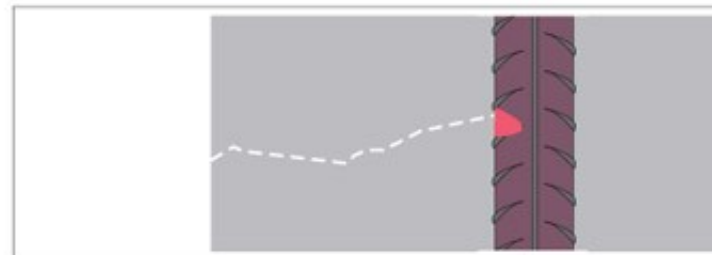
van binnenuit:

- zeegranulaten
- versnellers



maatregelen ter voorkoming/bescherming:

- W/C ↓
- betondekking overdimensioneren
- coating



“putcorrosie”



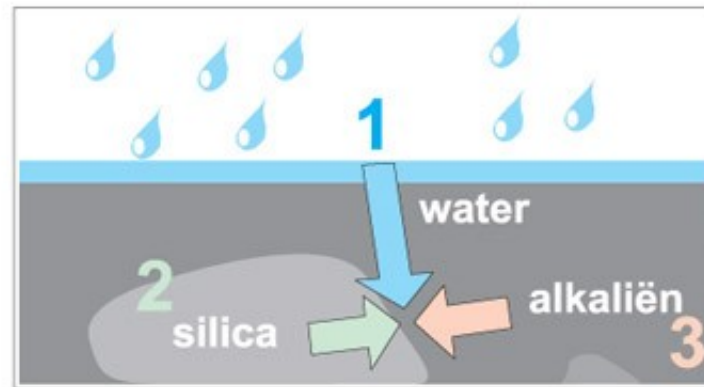
gevaar voor plotse breuk !

4b7 beton en alkali-silicareactie

oorsprong:

aan **3 voorwaarden** moet **TEGELIJK** voldaan zijn:

- 1-** vochtige omgeving
- 2-** reactieve granulaten
- 3-** hoog alkali-gehalte

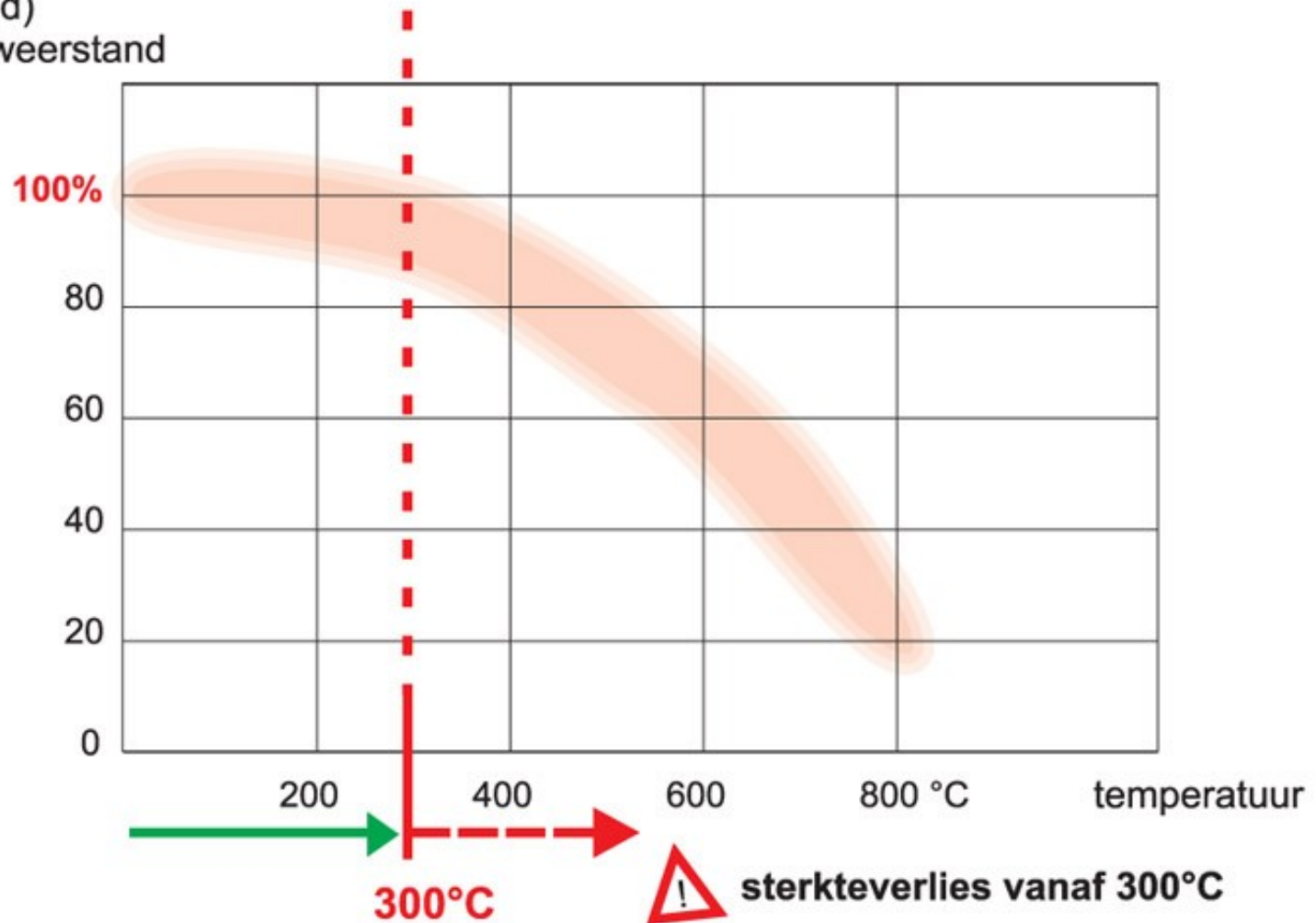


maatregelen ter voorkoming/bescherming:

- **LA-cement**
- compact beton (W/C ↓)
- niet-reactieve granulaten (controle door gespecialiseerd labo)

4b8 beton en brand *hoge temperaturen en druksterkte*

% (gemiddeld)
van de drukweerstand
bij 20°C



4b8 beton en brand *brandweerstand*

MATERIAAL



brandgedrag
klassen A1... F
(beton = A1 = niet brandbaar)



ELEMENT



brandweerstand
 R_f (REI)

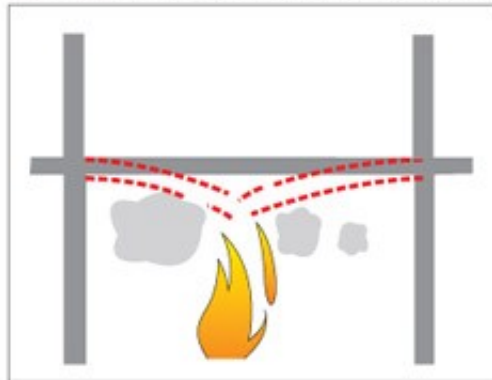


GEBOUW

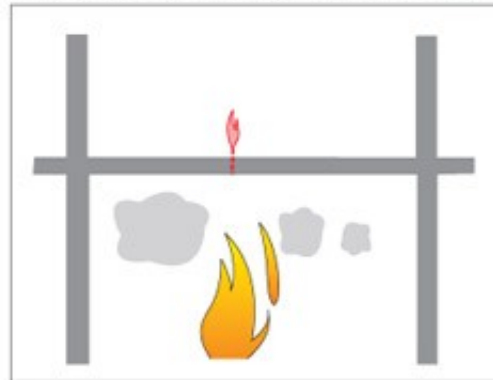


- ontwerp / berekening volgens Eurocodes (beton : EC2)
- 'Fire Safety Engineering'

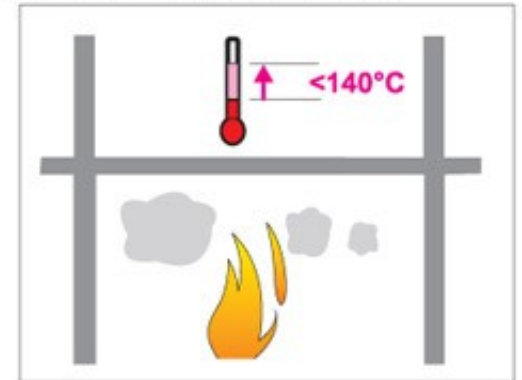
tijd tijdens dewelke het element (bv. een vloer) voldoet aan 3 criteria bij ISO-brand :



1 behoud van stabiliteit



2 ondoorlatendheid
t.o.v. vlammen en
gassen



3 thermisch isolerend

voorbeeld: vloerplaat of wand van beton met dikte 10-15 cm : $R_f = 60-120$ min.



belang van betondekking op wapeningen !

3a2



Hoelang het beton
zal standhouden ??...
We BRANDEN
van ongeduld om het te weten ...!

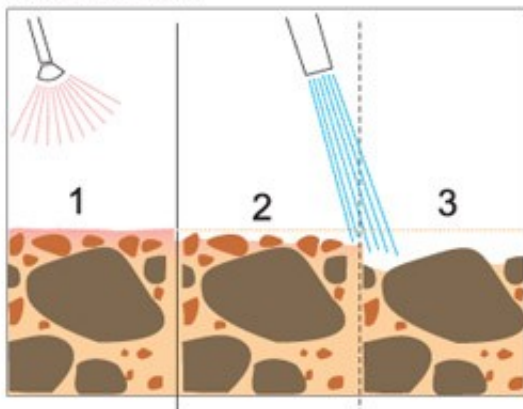


Sommige betonelementen hebben een brandweerstand van 4 uur.

4c1 uitzicht *technieken voor behandeling van betonoppervlak*



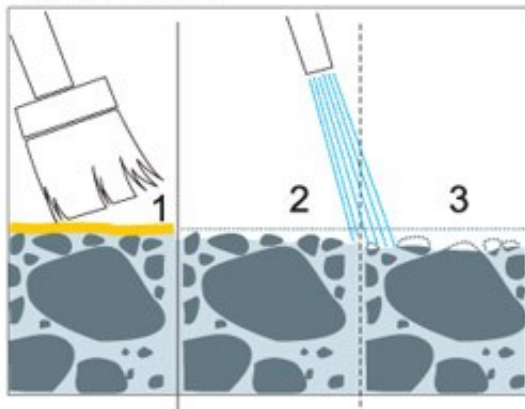
uitwassen



1- bindingvertrager
op vers beton of op bekisting
2/3 - afspoelen
resultaat afhankelijk van
indringingsdiepte



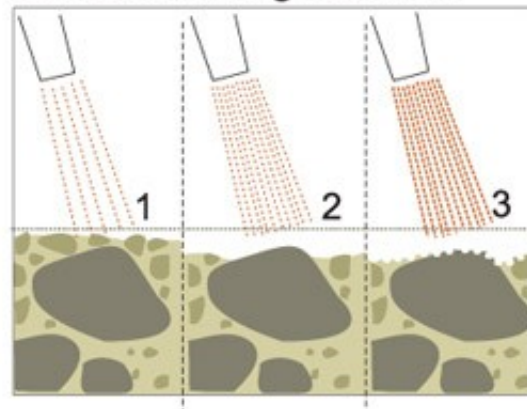
zuurbeitsen



1- zuur op verhard beton
(aanbrengen als pasta of
onderdompelen in zuurbad)
2/3- afspoelen
resultaat afhankelijk van
aantastingsdiepte en
zuurbestendigheid van de
granulaten



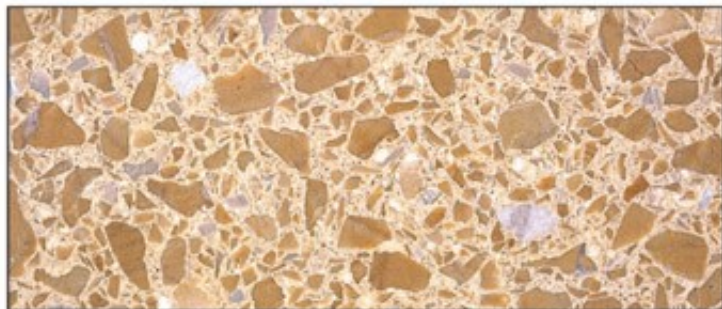
zandstralen / gritstralen



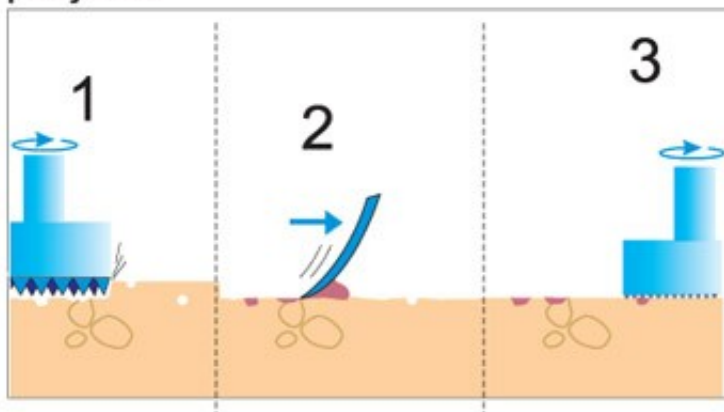
resultaat afhankelijk van
hydratatiegraad,
hardheid granulaten, type staalgrit,
duur, enz.

 effect van de behandeling steeds proefondervindelijk verifiëren !

4c1 uitzicht *technieken voor behandeling van betonoppervlak*



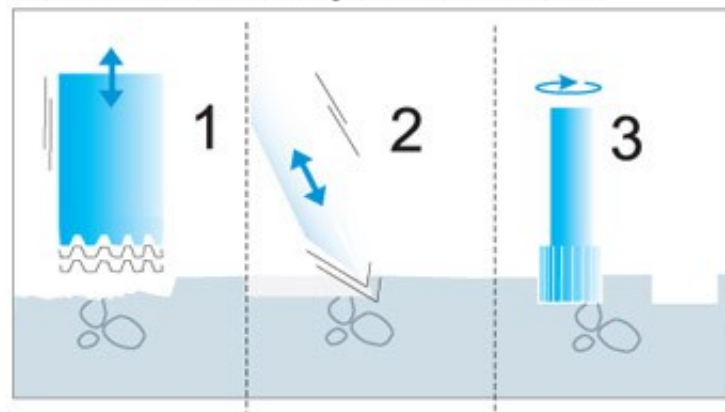
polijsten



- 1- slijpen
- 2- dichten (krassen, luchtbellens,...)
- 3- polijsten
(eventueel tot marmerglans, afwerken met beschermingsproduct)

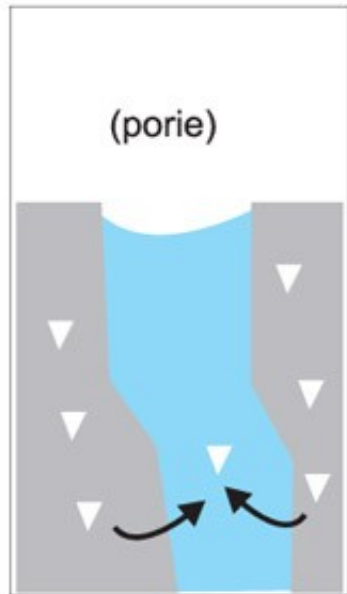


boucharderen, frijnen, frezen...

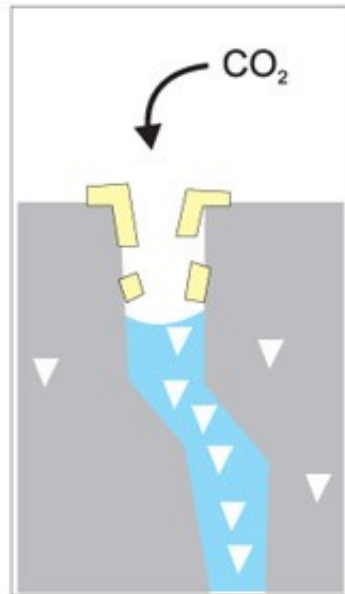


- bewerken met
- 1- bouchardeerhamer
 - 2- beitel
 - 3- frees

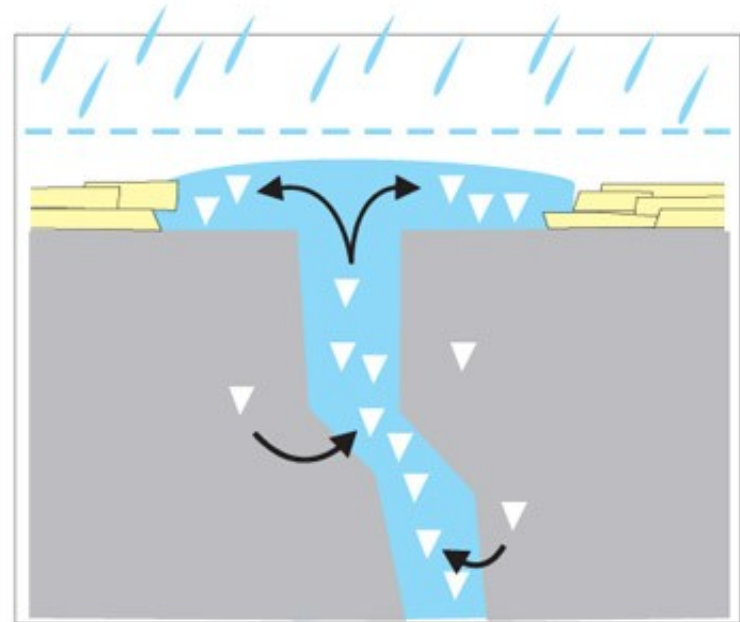
4c1 uitzicht *kalkuitslag*



- 1- hydratatie
⇒ vorming van
vrije kalk
 Ca(OH)_2



- 2- kalkafzetting,
vorming van
kalksteen CaCO_3



- 3- regen of condensatie: vrije kalk verspreidt zich
= **PRIMAIRE UITSLAG**
- 4- vrije kalk migreert naar oppervlak in later
stadium (via scheuren, holtes...)
= **SECUNDAIRE UITSLAG**

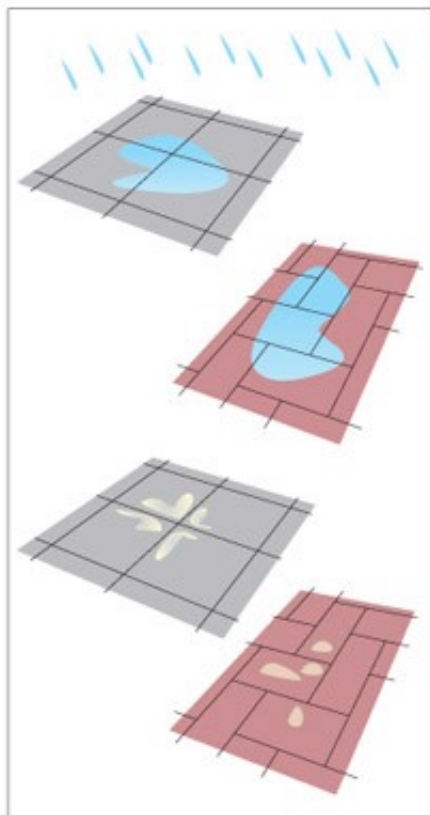


niet verwarren met 'uitbloeiingen'
(= zoutafzettingen, bijv. op baksteenmetselwerk)

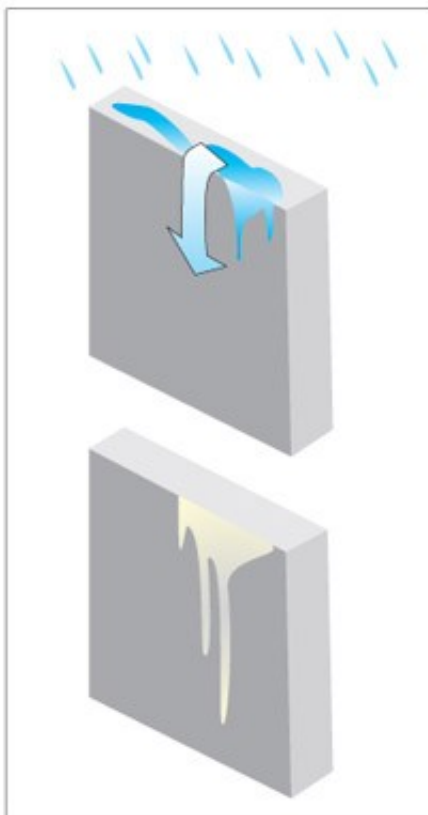
4c1 uitzicht *kalkuitslag*

primaire uitslag

(op jong beton : vlekken, sluiers, strepen...)



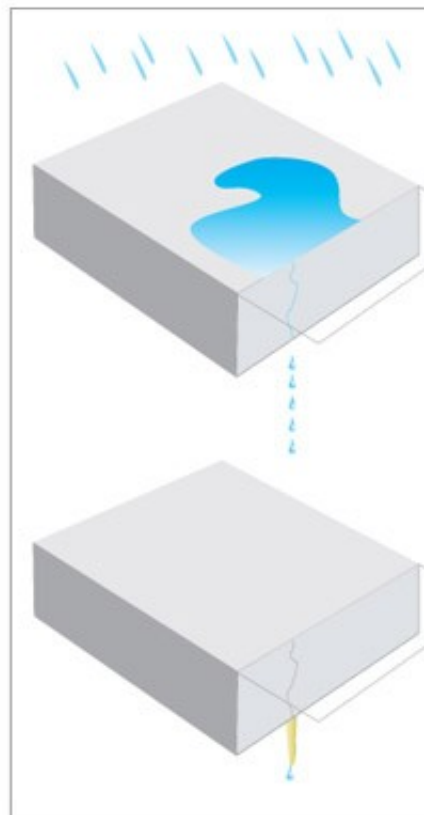
stilstaand water



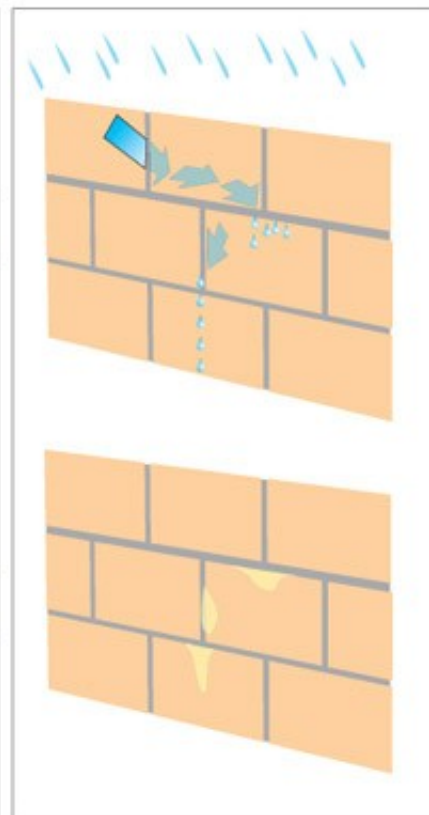
afstromend water

secondaire uitslag

(op lange termijn : stalactieten, korsten...)



water sijpelend door
scheurtjes,
grindnesten...

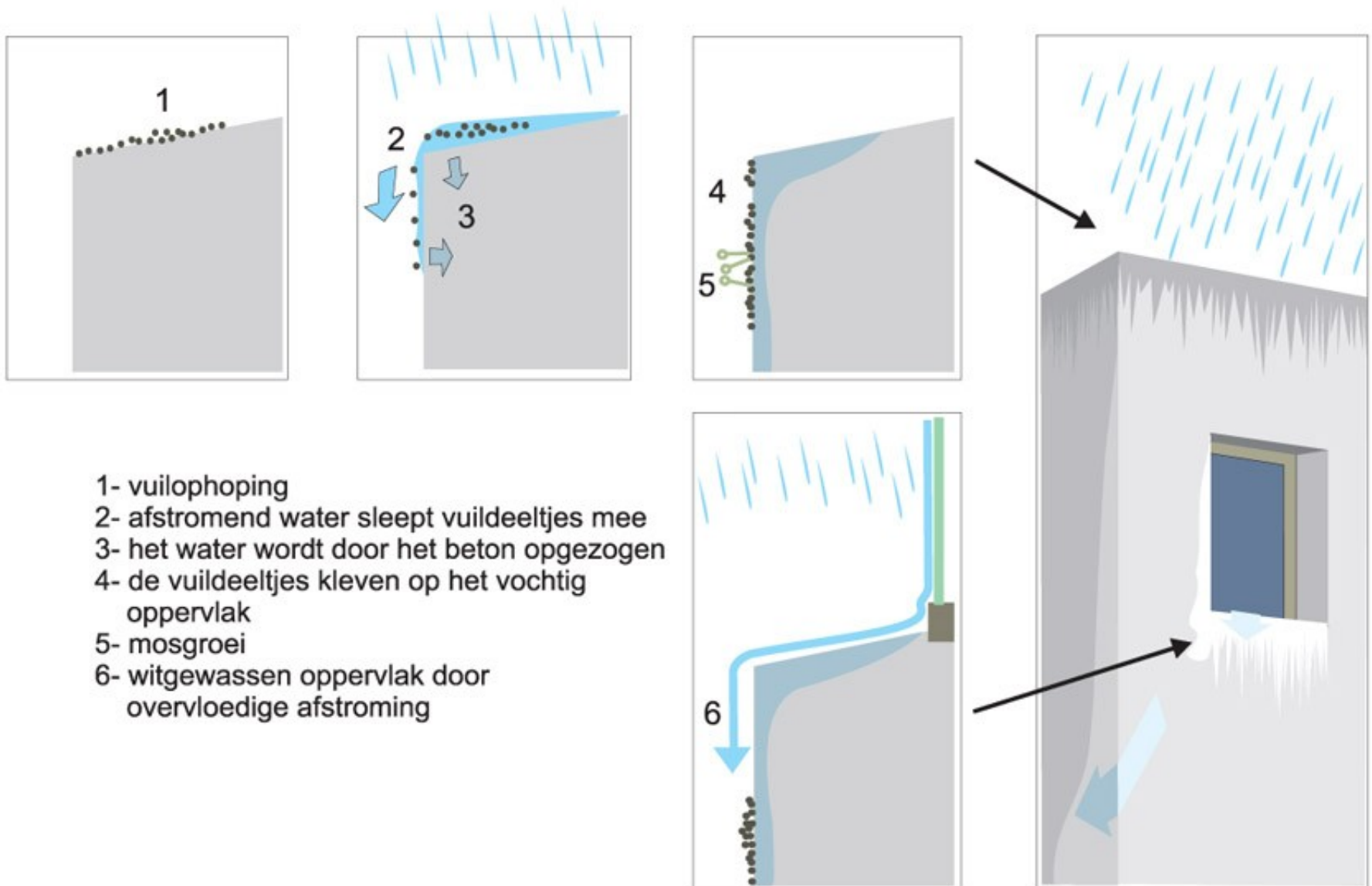


water sijpelend door
krimpscheurtjes,
slecht gevulde of
losgeraakte voegen...



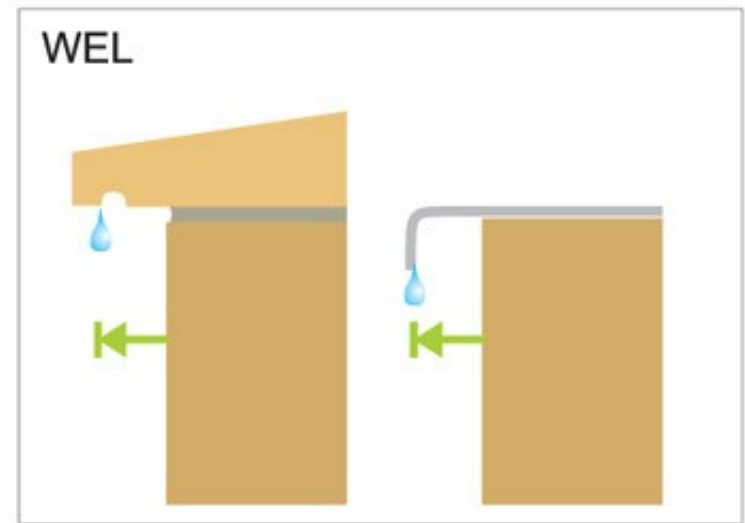
eventuele behandeling met zoutzuuroplossing (HCl, 1 à 3%)

4c1 uitzicht *vervuiling*



4c1 uitzicht *vervuiling*

● ontwerpdetails, bijv.:



● oppervlaktebehandeling:

- impregneren met hars (waterdicht maar ademend)
- aanbrengen van beschermende film
- aanbrengen van afwasbare film
(bijv. anti-graffiti: nieuwe film aanbrengen na elke reinigingsbeurt)

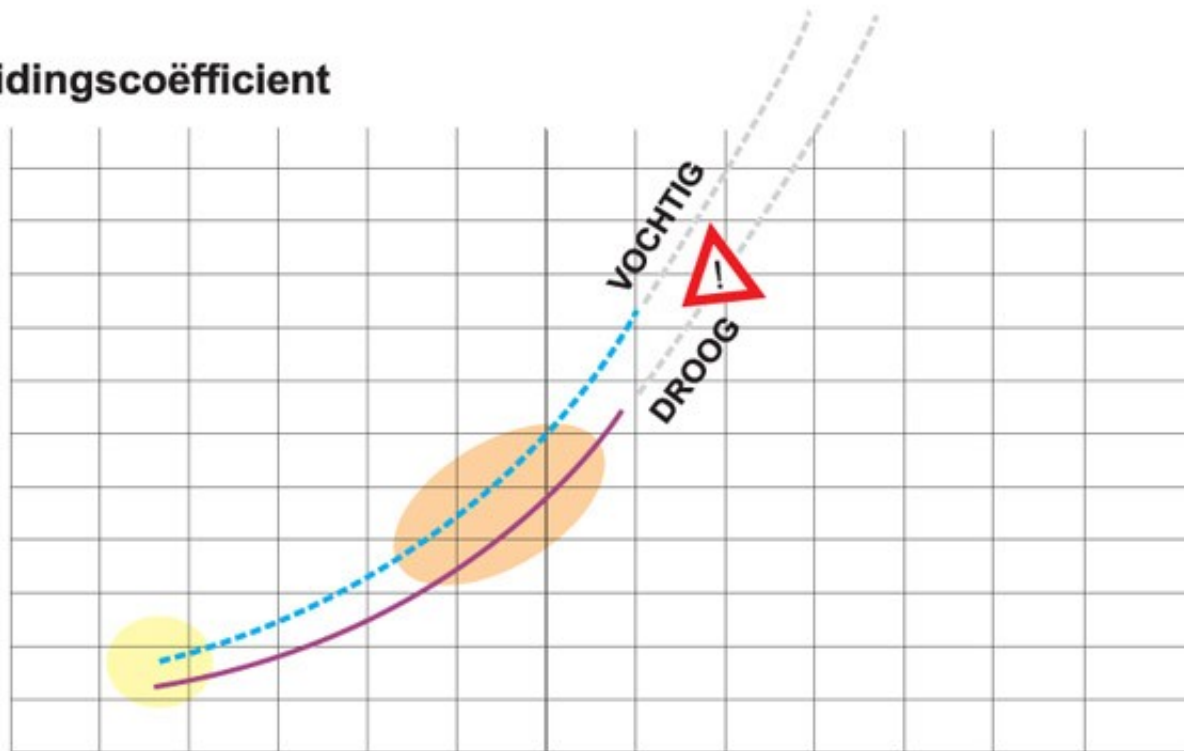
4c2 thermische eigenschappen

isolatie

warmtegeleidingscoëfficiënt

λ (W / mK)

1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0



400 600

cellenbeton

1200 1400

lichte granulaten

open compact

2200 2400

gewoon beton

volumieke massa ρ_b
(kg/m³)

(vergelijk met andere materialen:)

kurk : 0,05 - 0,1

hout : 0,3 - 0,5

ijzer: ~ 80

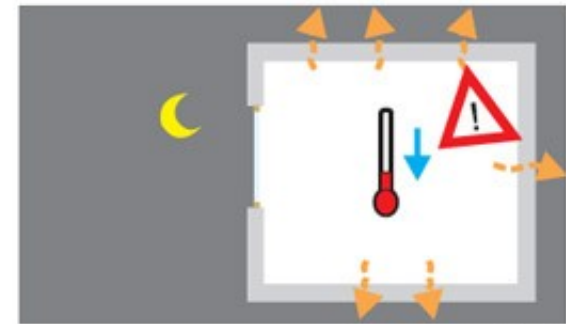
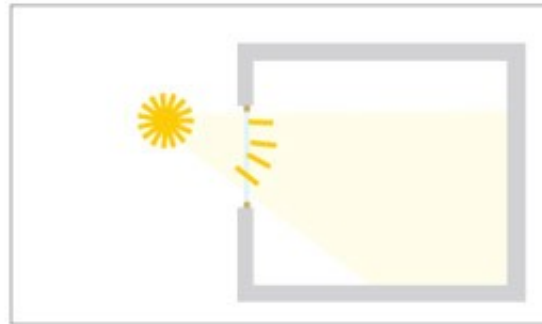
koper: ~ 400

	binnen	buiten
ongewapend	1,3	1,7
gewapend	1,7	2,2

4c2 thermische eigenschappen

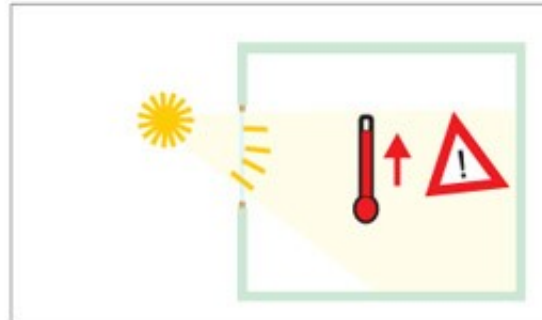
thermische capaciteit

zware constructie
zonder isolatie

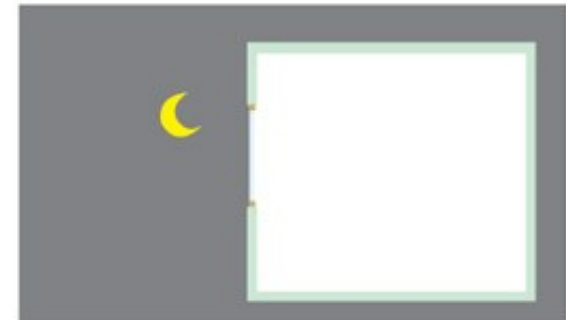


verwarming noodzakelijk

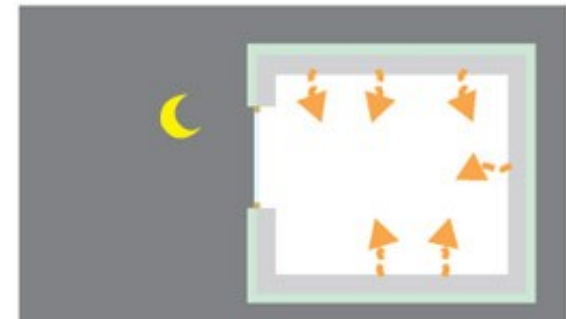
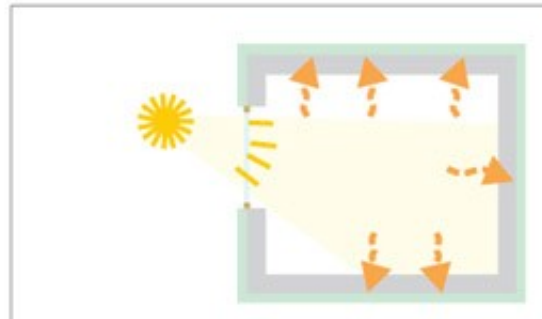
lichte constructie
met isolatie



koeling noodzakelijk

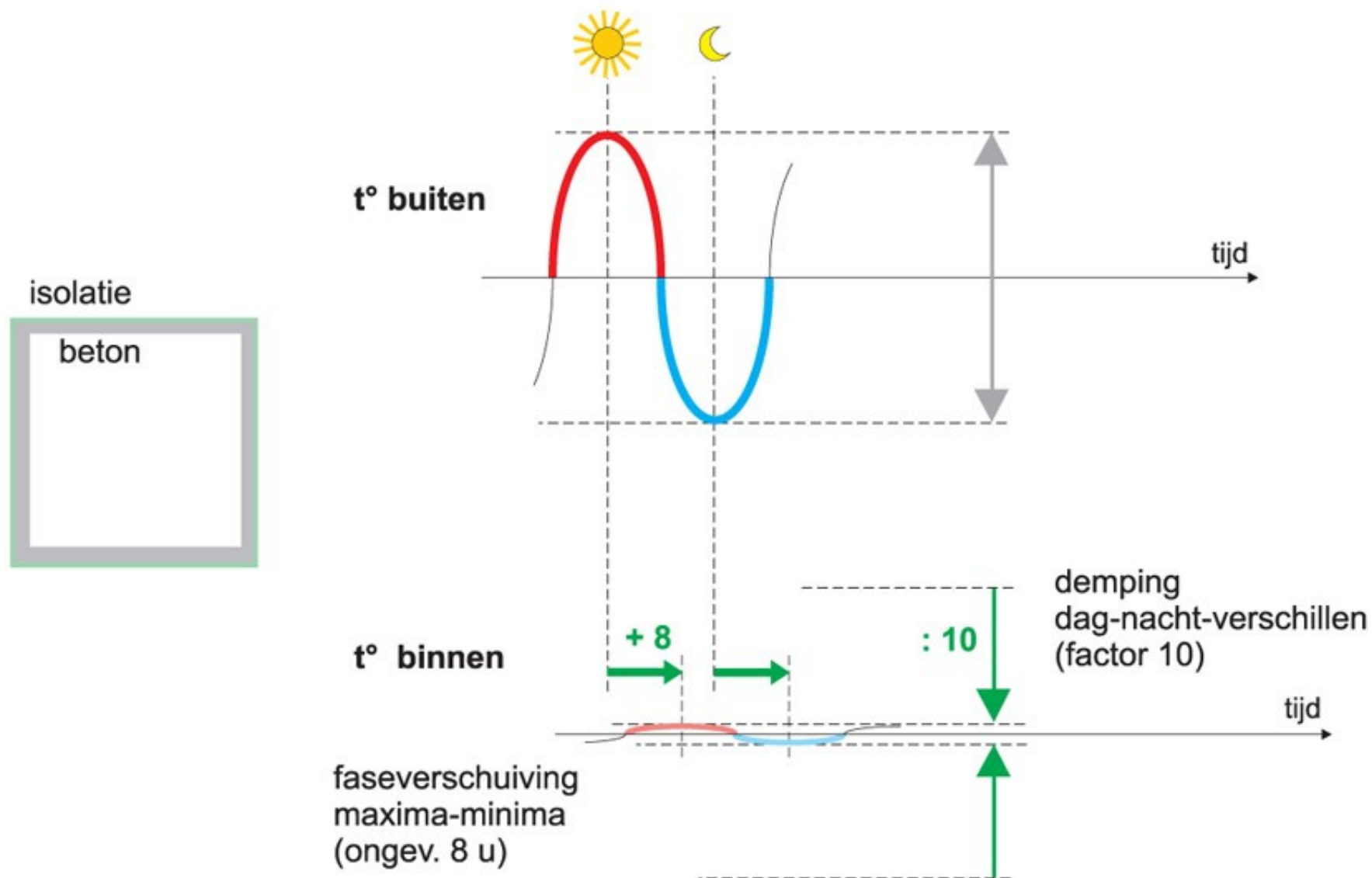


massa
+
isolatie
(aan de **buitenzijde**)

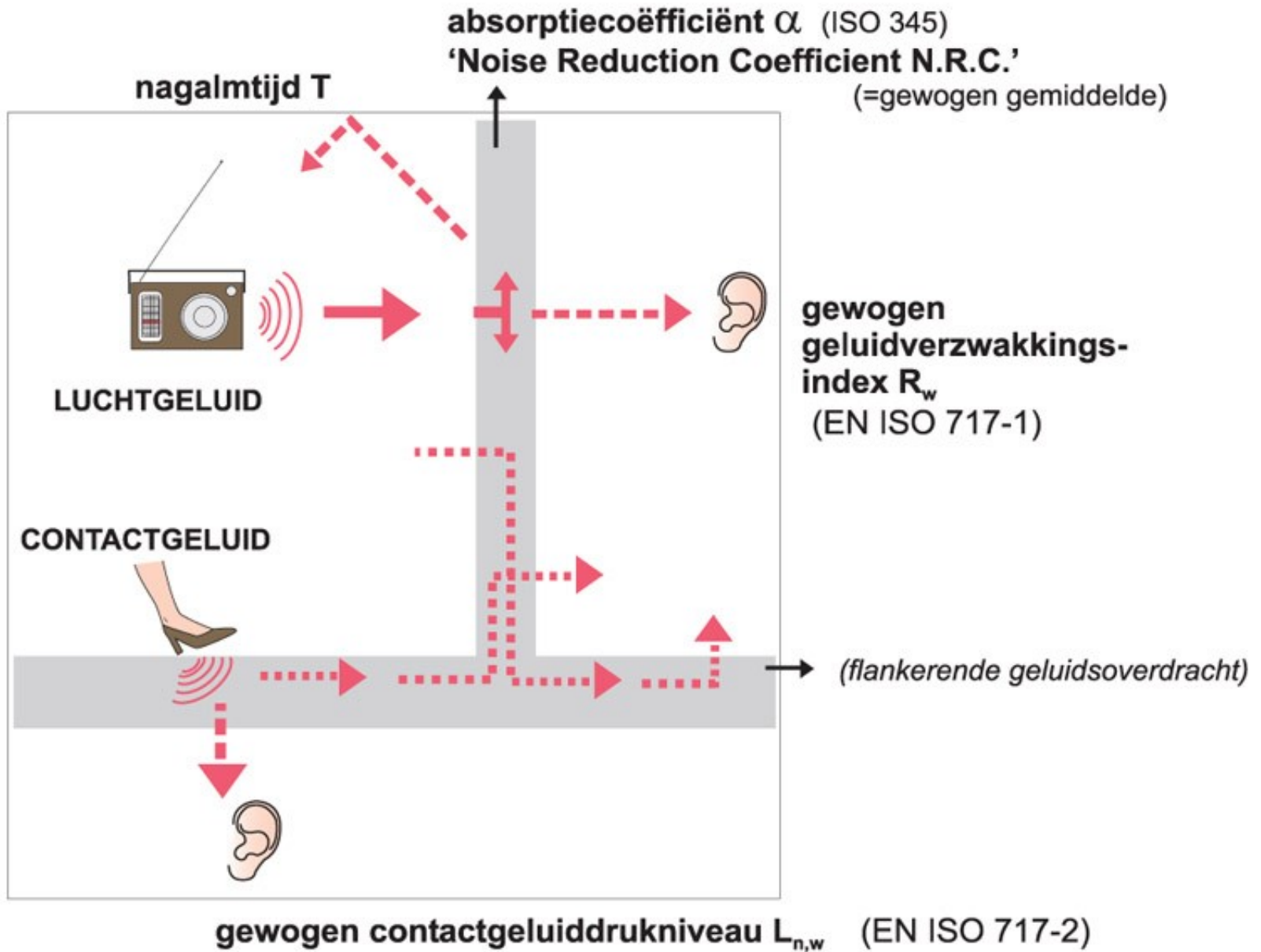


4c2 thermische eigenschappen

thermische inertie



4c2

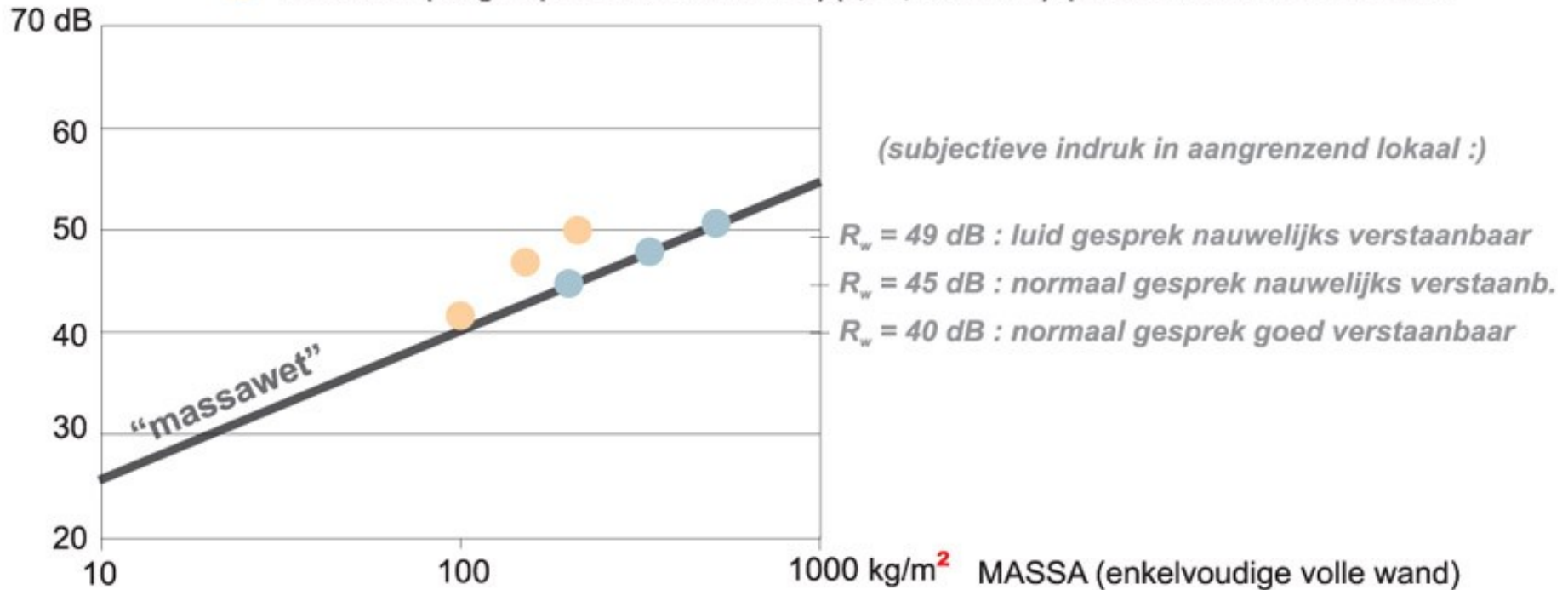


4c2 akoestische eigenschappen *isolatie (luchtgeluiden)*

GELUIDVERZWAKKINGSINDEX R_w (voorbeelden)

● gewoon beton (9, 14, 19 cm dik): volgt massawet

● licht beton (bv. geëxpandeerde kleikorrels) (9, 14, 19 cm dik): presteert beter dan massawet



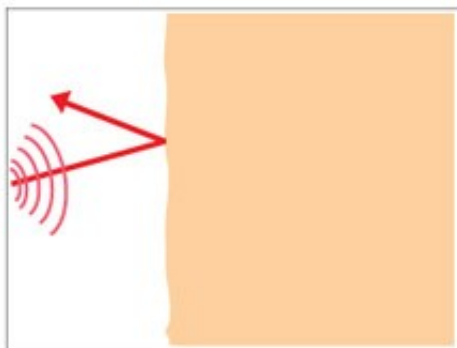
- R_w is eigenschap van wand, vloer... !

⇒ opgelet voor "geluidstekken" (scheuren, spleten, metselwerk: slecht gevulde voegen...)
en "akoestische bruggen" (bv. ankers, leidingen...)

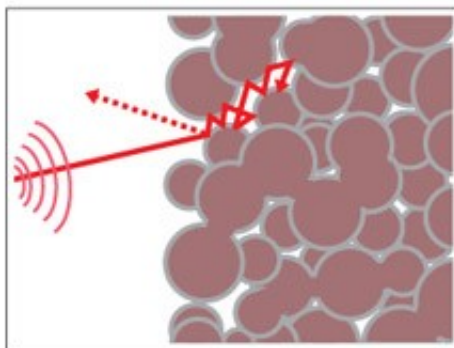
- contactgeluiden : dempen aan de bron (tapijt, zwevende vloer...)

4c2 akoestische eigenschappen *absorptie (luchtgeluiden)*

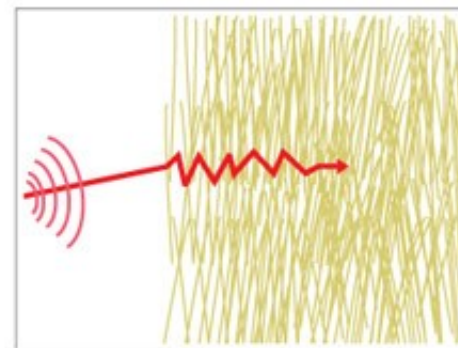
ABSORPTIECOEFFICIENT α (voor verschillende golflengtes: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz)



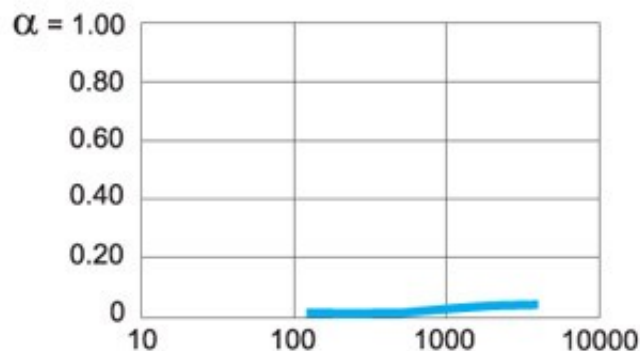
glad beton, glad metselwerk,
gladde pleisterlaag



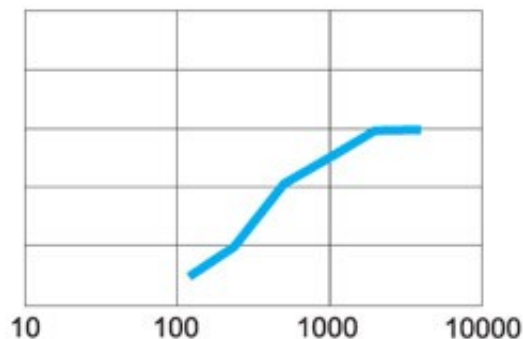
beton met open structuur
(geëxpandeerde klei)



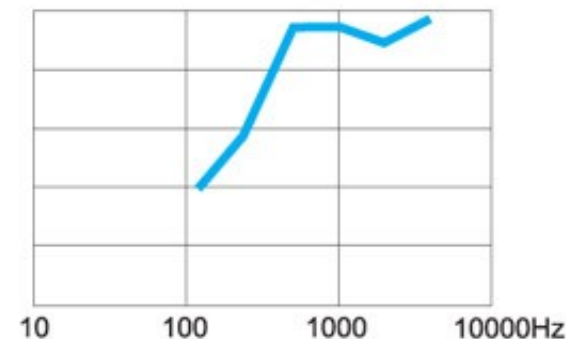
glaswol / rotswol
(40mm)



N.R.C. = 0.03
("Noise Reduction Coefficient")



N.R.C. = 0.45



N.R.C. = 0.80



verf- of pleisterlaag doen
absorptie teniet !



absorptie $\neq$ isolatie !
 $\Rightarrow$ indien nodig ook
luchtdicht maken

Normen & Technische Voorschriften:

NBN B15-001 : Beton - Prestaties, productie, verwerking en conformiteitscriteria

NBN B15-002 : Eurocode 2: Berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen

Eurocode 2 - Part 1-2: Structural Fire Design of Concrete Structures

Verdere inlichtingen:

Betontechnologie (cursusboek + complement)

Brussel : Belgische Betongroepering (BBG), 1994 (1998)

BARON J. ; OLLIVIER J.P.

La durabilité des bétons

Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1992

CARLES-GIBERGUES A. ; PIGEON M.

La durabilité des bétons en ambiance hivernale rigoureuse

in : La durabilité des bétons, Presses Ponts et Chaussées, 1992

DOSSIER CEMENT

Brussel : FEBELCEM

NEVILLE A.M.

Properties of Concrete (Fourth and Final Edition)

Harlow : Longman, 1995

ACI Manual of Concrete Practice

Farmington Hills: ACI (American Concrete Institute), 1996

SOUWERBREN C.

Betontechnologie (9e herdruk)

Cement en Beton

Den Bosch : Stichting BetonPrisma, augustus 1995

Duurzaamheid en onderhoud van betonconstructies

CUR Rapport n° 172, juli 1994

