

Doel:

1. Invloed factoren krimp vanuit de betontechnologie op de autogene krimp benoemen vanuit de literatuur
2. Analyse van de verzamelde autogene krimp data
3. Creëren van een eenvoudig denkmodel op basis van de literatuur en de data analyse
4. Inzicht krijgen in de gevolgen voor de constructeur

**2: Data-analyse****3: modelleren****1: Literatuur studie****4: Constructeur**

Autogene krimp en ontwerp

Invloed van autogene krimp op het ontwerpen van constructies

26 Mei2023

Jeroen Meijdam / Harry Corporaal

Wanneer rekening houden met krimp

- Voegen
 - Voegprofielen
- Dilataties
 - Deuvels
 - Dilatatieprofielen
- Opleggingen
 - Oplegblokken
 - Oplegvilt
- Verhinderde vervormingen
 - Verhardingsbeheersing
 - Krimpwapening
 - Krimp in combinatie met andere belastingen

Wat is autogene krimp?

Autogene krimp is krimp die plaatsvindt tijdens het verhardingsproces van het beton zonder dat er interactie plaatsvindt met de omgeving.

Dit houdt in dat:

- De chemische krimp niet wordt meegenomen.
- Er geen vochtuitwisseling met de omgeving plaatsvindt.
- De temperatuur constant wordt verondersteld, zodat er geen krimp of zwellings plaatsvindt door temperatuur.
- De krimp wordt gemeten in $\mu\text{m}/\text{m}$.

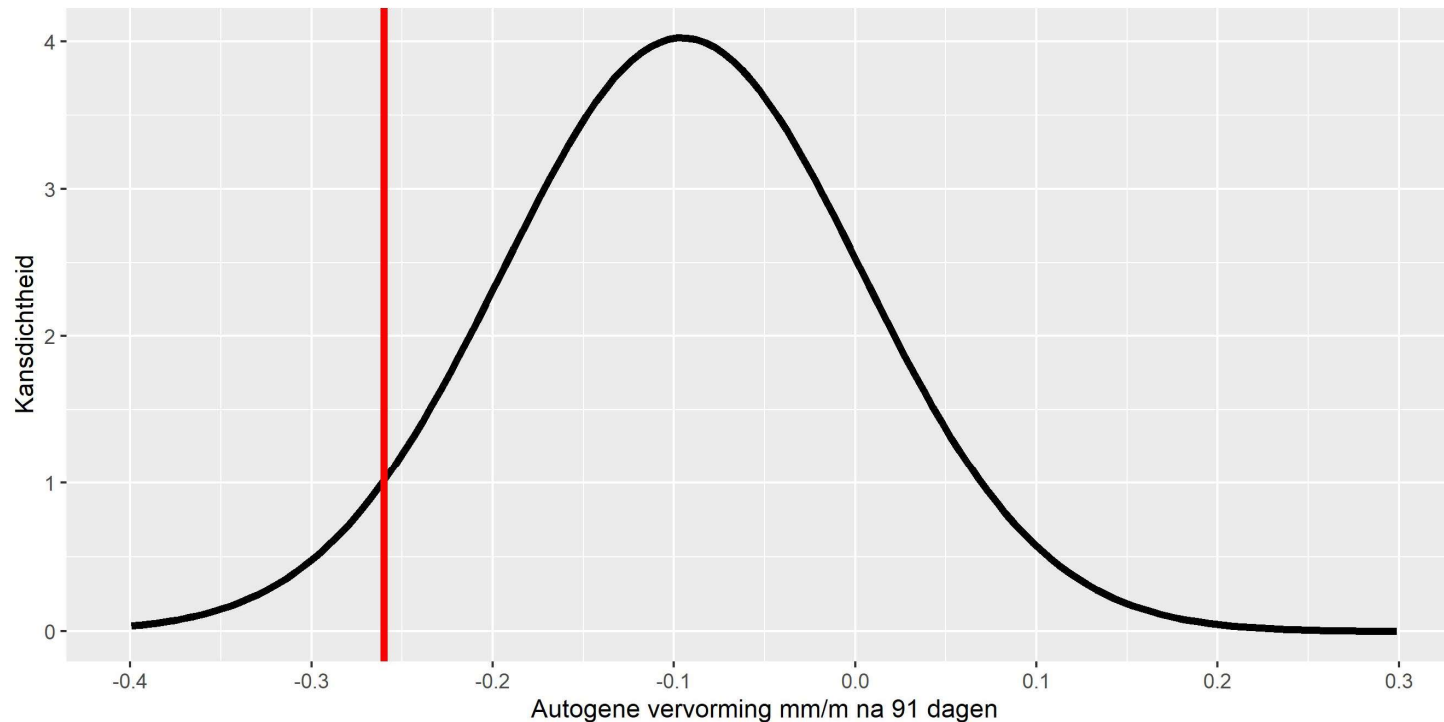
Gemeten waarden uit onderzoek Stutech

- Gemiddelde autogene krimp iets hoger dan volgens eurocode.
- Spreiding van de gemeten waarden is hoog.
- Waarden meer dan 0,30 mm/m in regulier beton worden gemeten
- De berekende waarde is niet geheel representatief om dat dit van alle mengsels de bandbreedte is

	Gemiddelde waarde	Standaard afwijking
Na 28 dagen	-0,06 mm/m	0,06 mm/m
Na 91 dagen	-0,096 mm/m	0,099 mm/m

Grafiek met overschrijdingskans

Normaalverdeling 91 dagen



**5%
overschreidingskans
na 91 dagen:
-0,26mm/m**

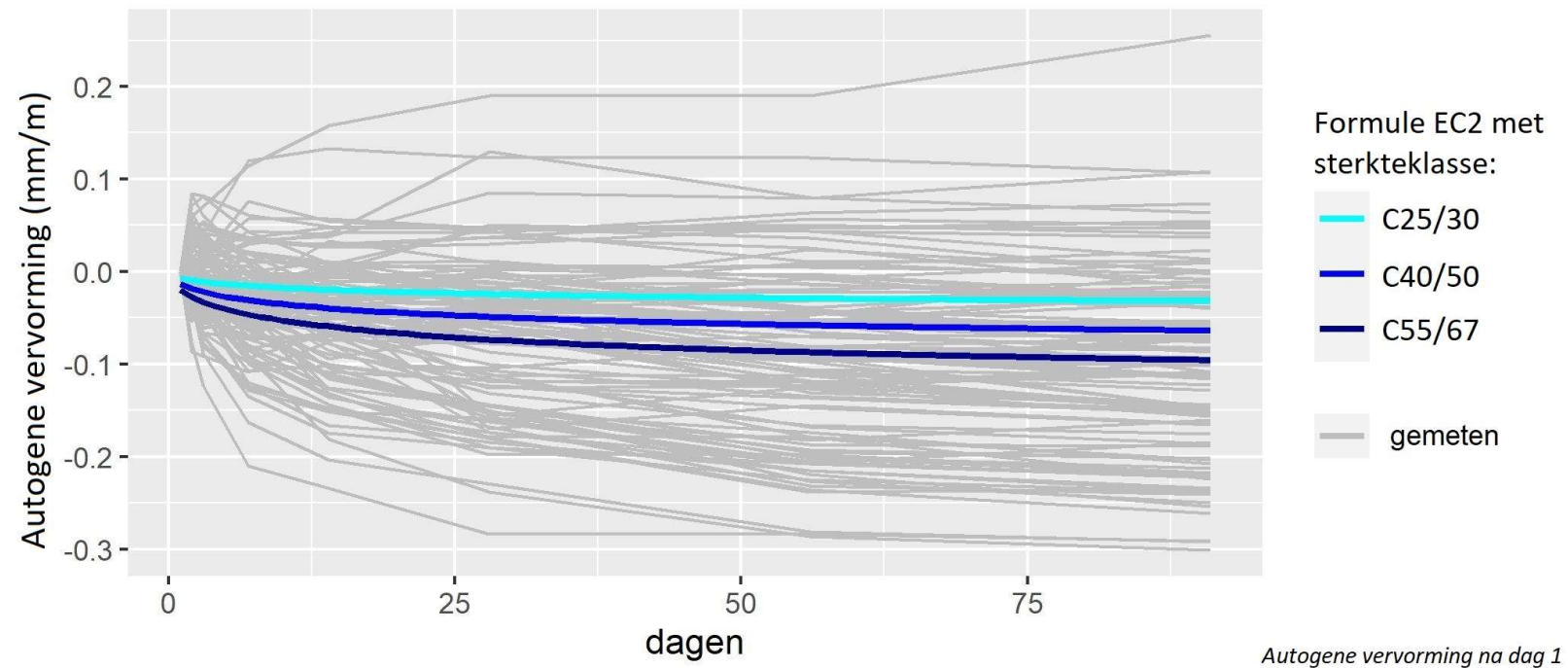
**NB. Vergelijkbaar
met een
temperatuurval van
ca. 31 C**

Gefit op basis van 110 metingen gemiddelde AK na 91 dagen
Gemiddelde = -0,096, Standaard afwijking = 0,099
Rekenwaarde = $-0,096 - 1,64 \times 0,099 = -0,26$

115 observaties (ID-nummers)
153 variabelen

13 januari 2023

Het plaatje bij de waarden



13 januari 2023

115 observaties (ID-nummers)
153 variabelen

Krimpvormen relevant voor ontwerp

- **Hydratatie warmte / krimp** **Volgt uit verhardingsbeheersing :**
betontechnoloog
- **Autogene krimp** **Gewoonlijk conform eurocode 1992-1-1**
- **Uitdrogingskrimp** **Gewoonlijk conform Eurocode 1992-1-1**

Krimp volgens de Eurocode

- De formules voor autogene krimp:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca}(\infty) \quad (3.11)$$

waar

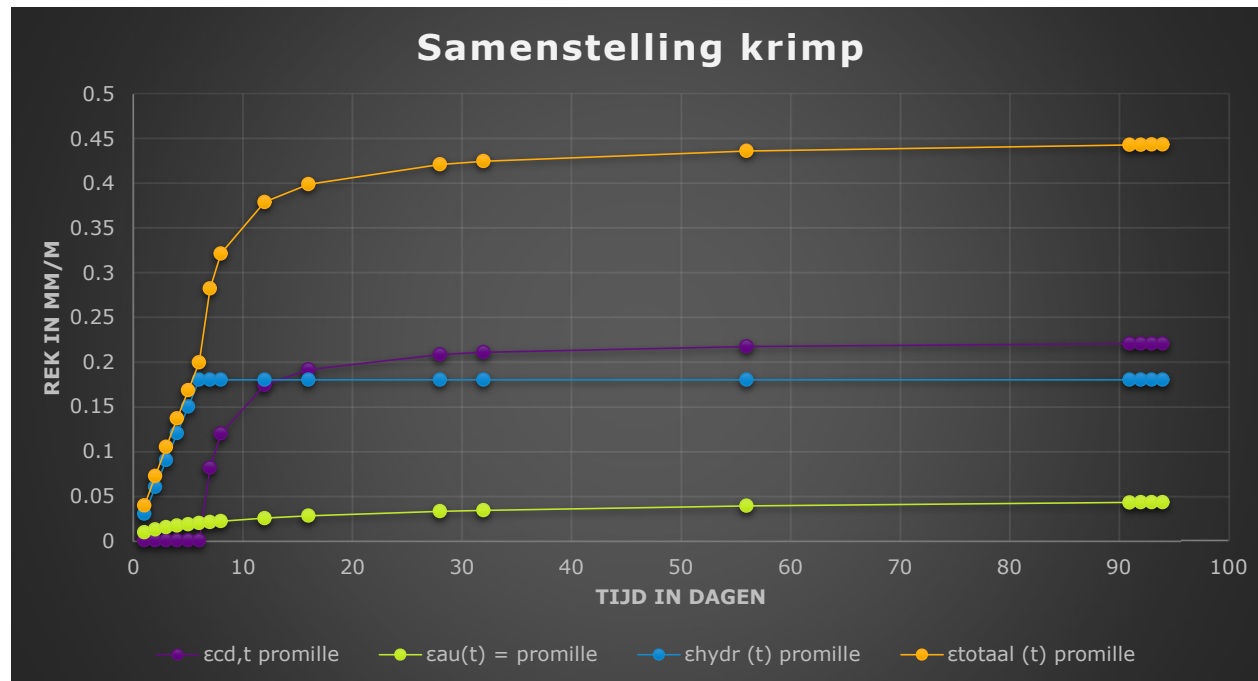
$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6} \quad (3.12)$$

en

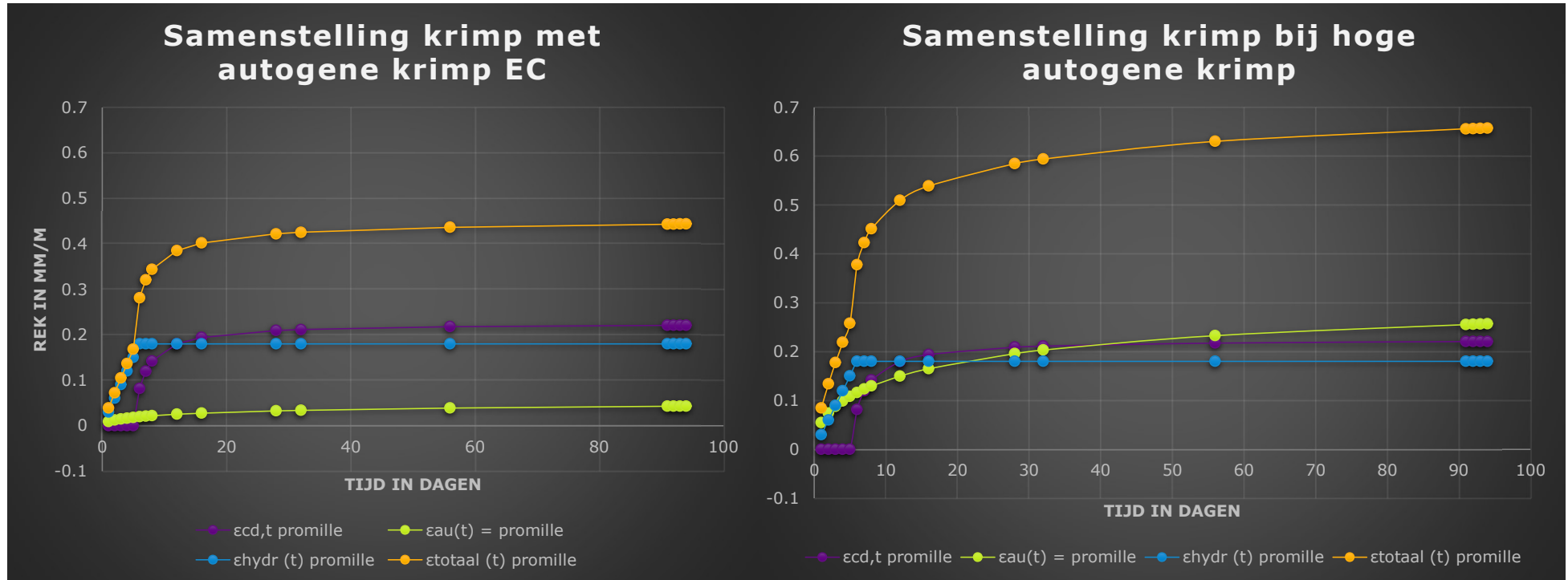
$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}) \quad (3.13)$$

Ontwikkeling van krimp in de tijd

- Vloer dikte 300mm
- Beton sterkteklasse C30/37
- RV = 80% Cementklasse N
- Opwarming na stort 15C
- Conform EC: $\epsilon_{au} = 0,05$ mm/m na 3 jaar
- Hoge autogene krimp = 0,26 mm/m na 91 dagen



Vergelijking lage en hoge autogene krimp



Voorbeeld berekening: Spoordek op rubberen opleggingen

L 70m B = 10m h=1000mm

Op voorbouwlocatie storten, en na 3 maanden op oplegblokken vizelen.

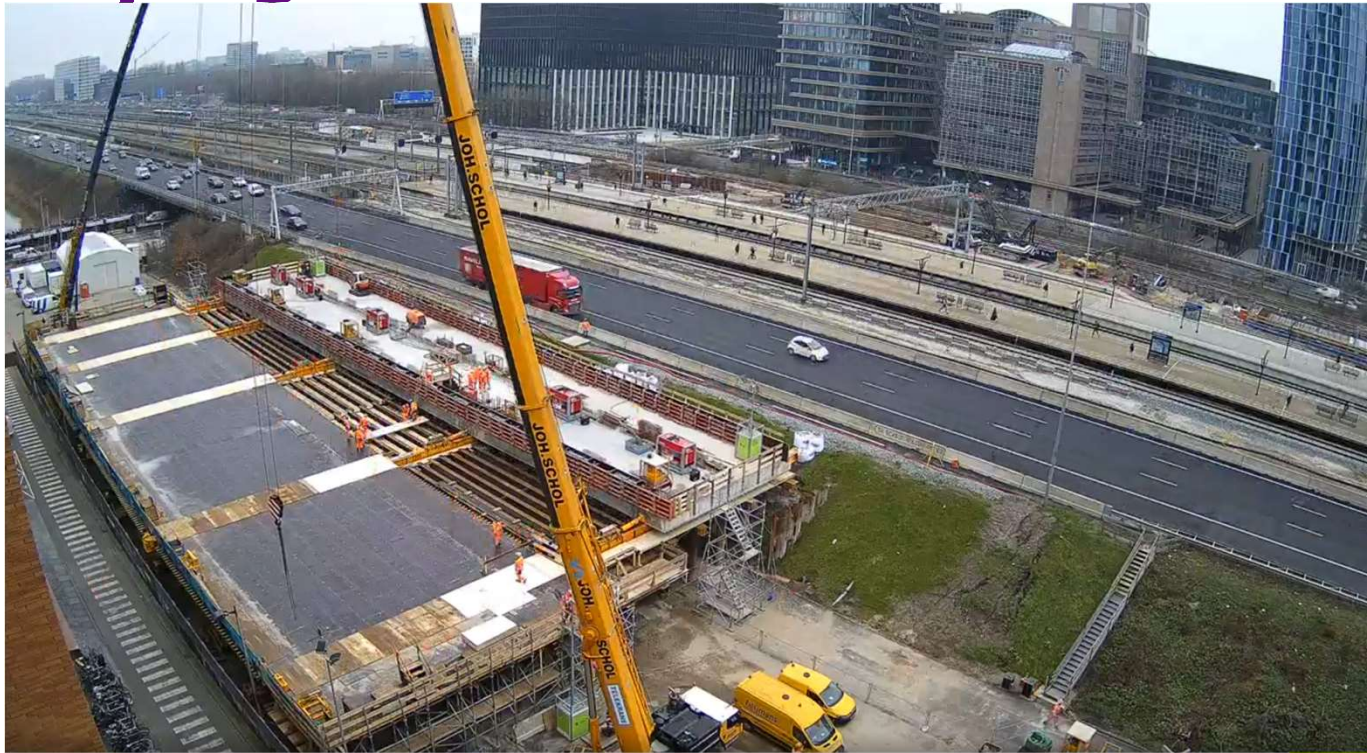
Betonsterkteklasse C35/45

Cement kwaliteit N

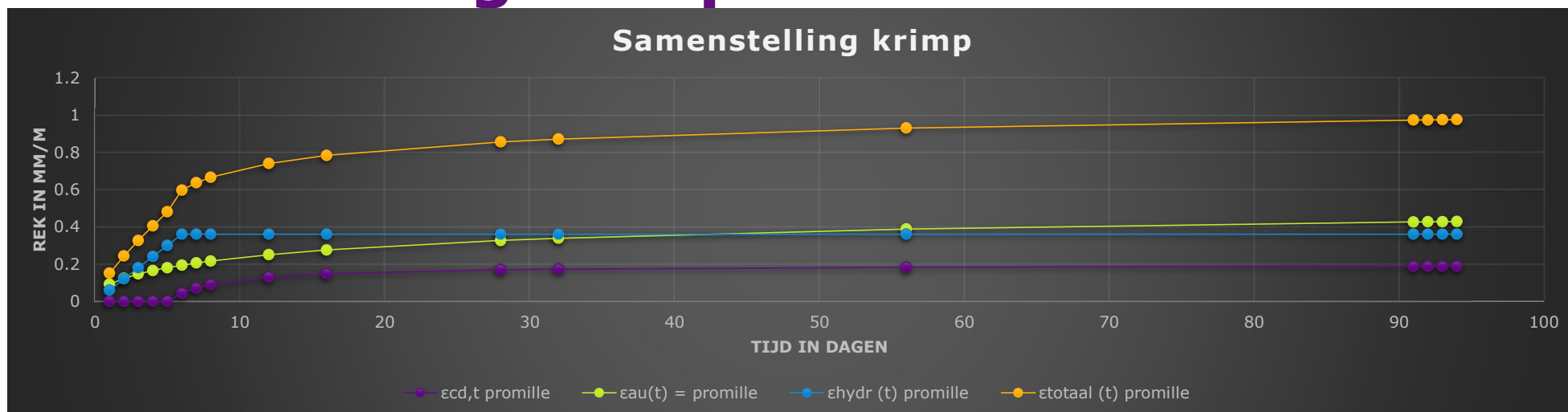
Relatieve luchtvochtigheid = 80%

Voorbeeld berekening Spoordek: Verplaatsing op oplegblok.

- Spoordek $l = 70\text{m}$
- Inschuiven na x dagen
- Dek op opleggingen plaatsen
- Wat is de verplaatsing van de bovenzijde van het oplegblok na plaatsing dek tot 3 jaar later?



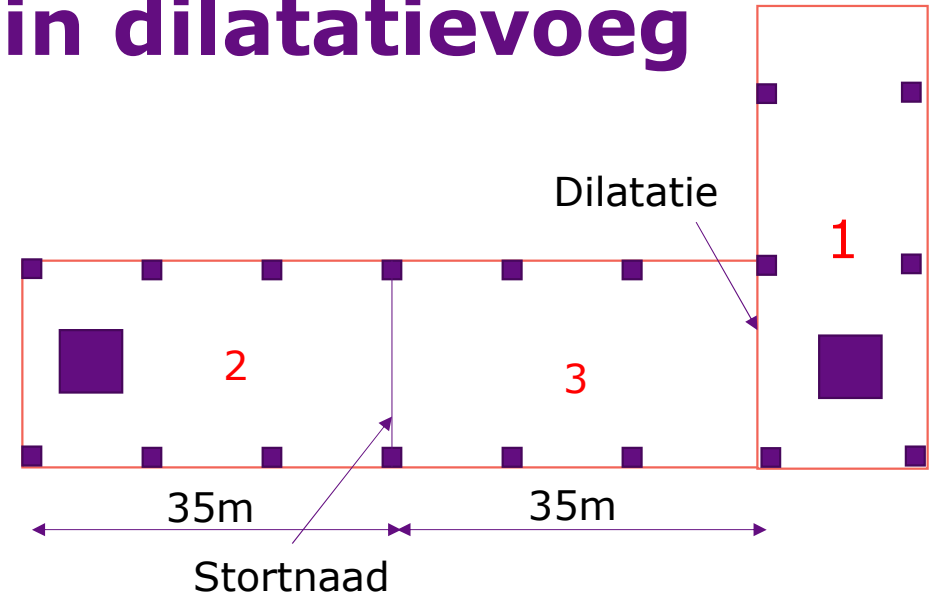
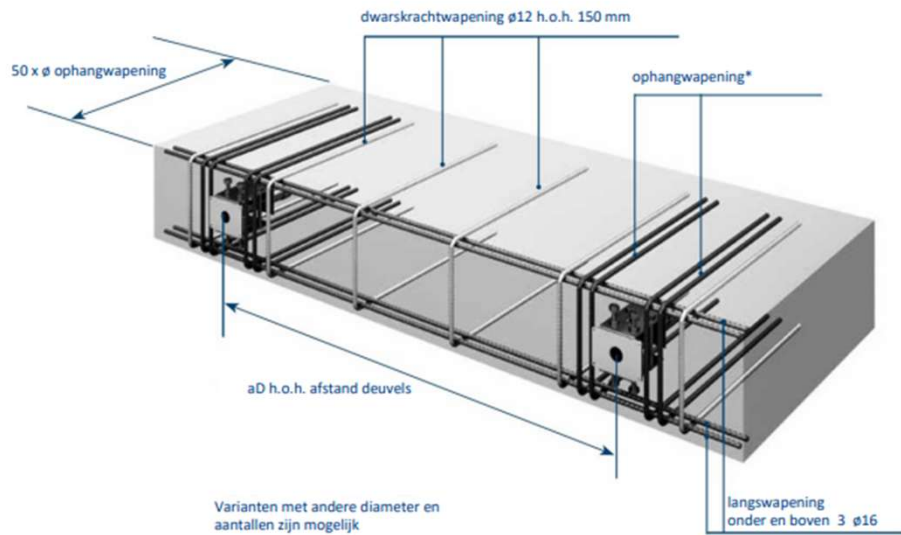
Voorbeeld berekening Spoordek: Samenstelling krimp



Verkorting	Na 1 maand	Na 3 maanden	Na 3 jaar
Dek totaal	60 mm	68 mm	74 mm
Per oplegging	30 mm	34 mm	37 mm
Verschil	7 mm	3 mm	0 mm

Voorbeeld: Cret deuvel in dilatatievoeg

Maximale wapening in plaatrand

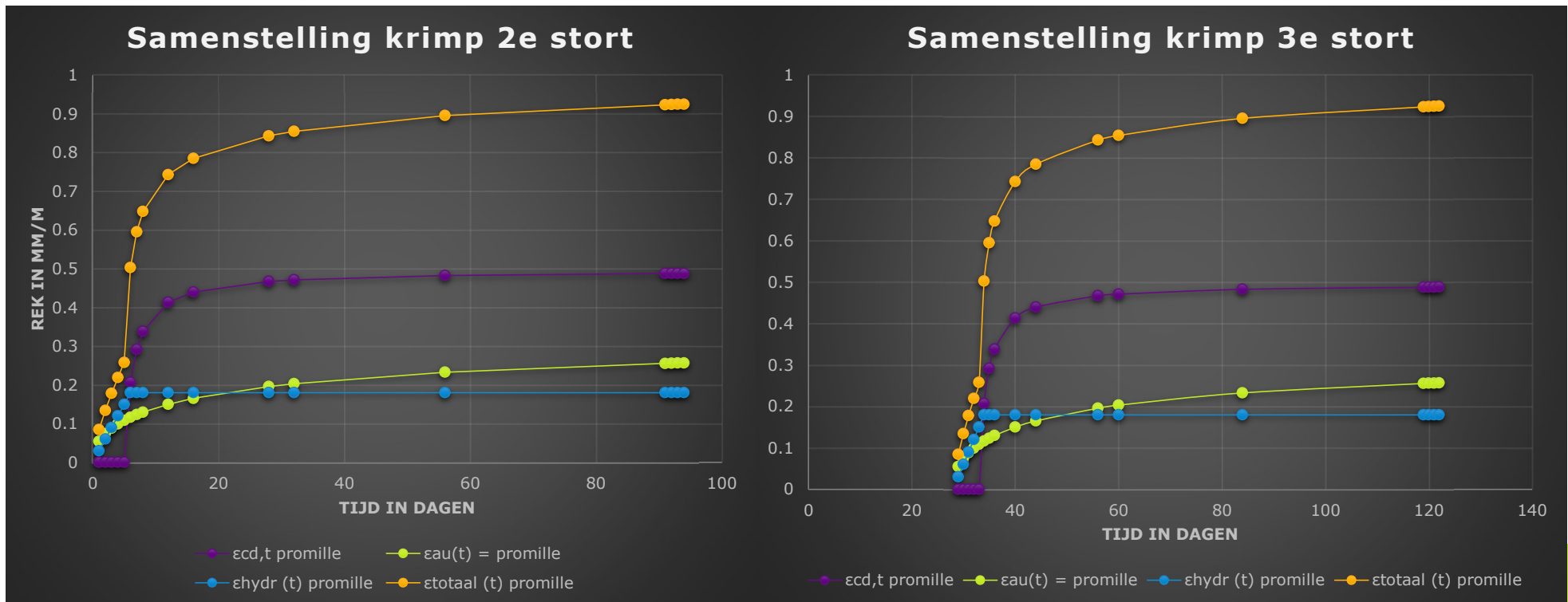


Krimp stort 1 verwaarloosd

Stort 2 begint op $t = 0$

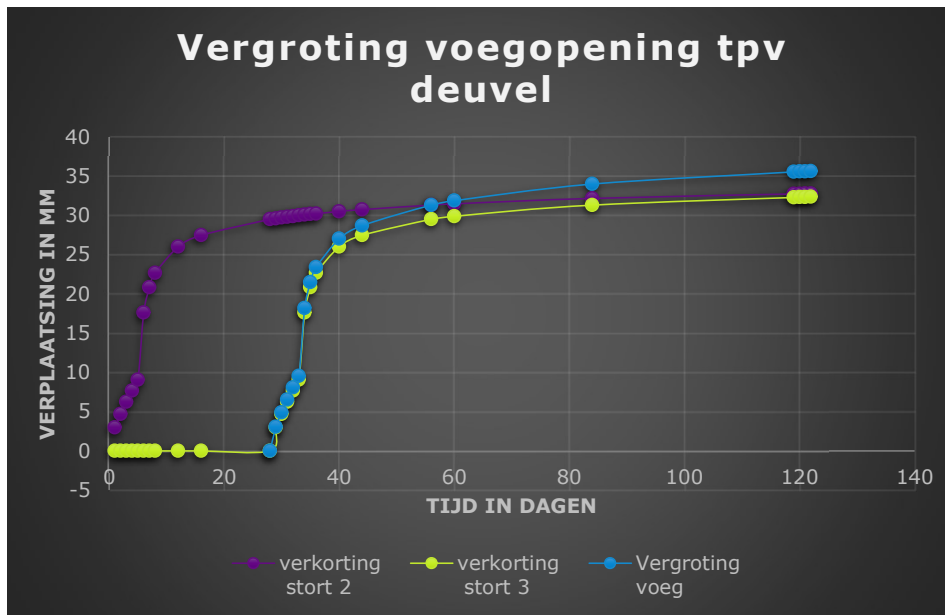
Stort 3 wordt uitgevoerd op $t = 28$ dagen

Voorbeeld Cret deuvels / krimp



13 januari 2023

Verplaatsing voeg tpv CRET deuvel



Verplaatsing op voeg na 91 dagen

- Hoge autogene krimp: $u = 38\text{mm}$
- Conform Eurocode: $u = 27\text{mm}$

Initieel voeggrootte is 10mm, totale voeggrootte:

- Hoge autogene krimp: $u = 48\text{mm}$
- Conform Eurocode: $u = 37\text{mm}$

Draagvermogen CRET 10 deuvel

Rekenwaarde bij betonkwaliteit C30/37

vloerdikte	F _{RD} kN											a _{D, min} (mm)		
	e ≤ 10 mm	e = 15 mm	e = 20 mm	e = 25 mm	e = 30 mm	e = 35 mm	e = 40 mm	e = 45 mm	e = 50 mm	e = 55 mm	e = 60 mm	ρ = 0,2%	ρ = 0,5%	ρ = 1,0%
h = 160	35,0	32,9	31,0	29,2	27,5	26,0	24,6	23,3	22,1	20,9	19,9	516	473	375
h = 180	36,8	34,5	32,4	30,4	28,6	26,9	25,4	24,0	22,7	21,5	20,4	469	429	341
h = 200	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	420	384	305
h = 220	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	374	343	272
h = 240	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	341	311	247
h = 250	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	331	300	238
h = 260	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	321	290	230
h = 280	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	304	272	216
h = 300	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	289	256	203
h = 320	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	276	242	192
h = 340	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	264	230	182
h = 350	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	258	224	178
h = 360	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	253	219	174
h = 380	37,5	35,1	32,9	30,9	29,0	27,3	25,7	24,2	22,9	21,7	20,6	243	209	166

Minimale draaglengte deuvel in beton 130 mm, deuvels 300 mm lang zijn dus toepasbaar tot maximale voegbreedte 40 mm, enz.

Voor voegbreedte >60 mm zijn andere deuvels leverbaar. FRd is gebaseerd op een betondekking van 25 mm op de wapening.

Bij grotere betondekking de waarden van een kleinere vloerdikte aanhouden.

Bijvoorbeeld: vloerdikte = 200, dekking is 30 mm, FRd waarde aanhouden van vloerdikte h=190 mm.

Verschil =
12% in
draag
vermogen

Andere stort-
volgorde
???????

13 januari 2023

Verhardingsbeheersing

. Na 10 dagen bedraagt de autogene krimp bij 95% overschrijdingskans ,sau ca. 0,15 ‰. Dus **Extra temperatuursval van 15° C excl. relaxatie**

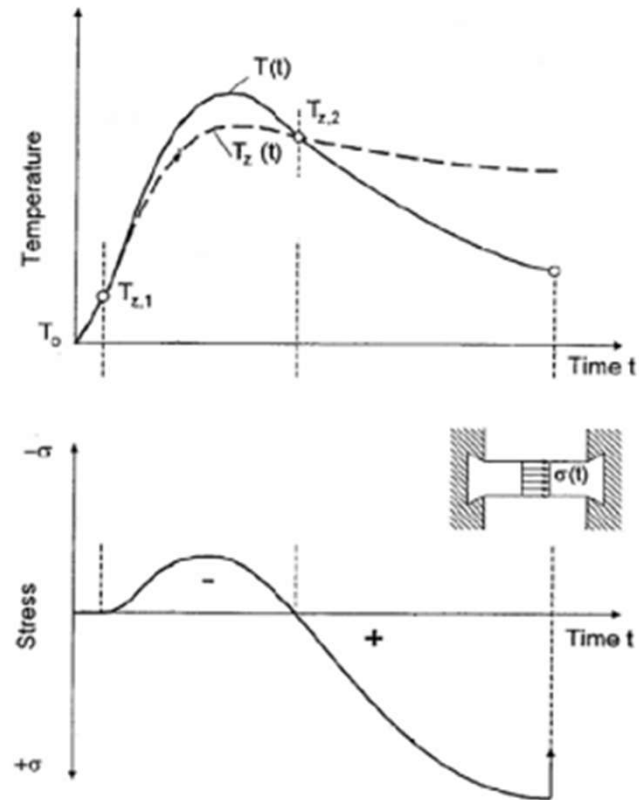
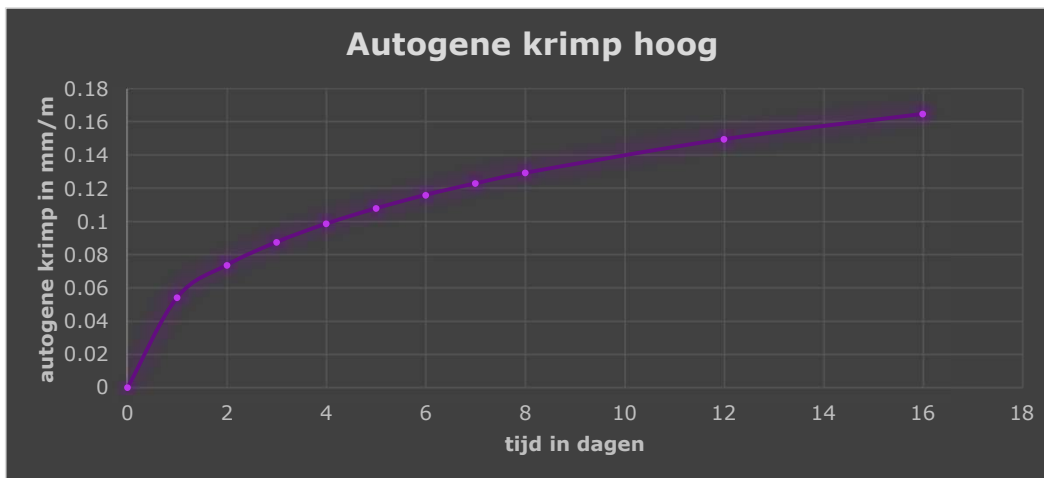


Figure 2: Illustration of temperature and stress evolution.

Scheurwijdte berekening

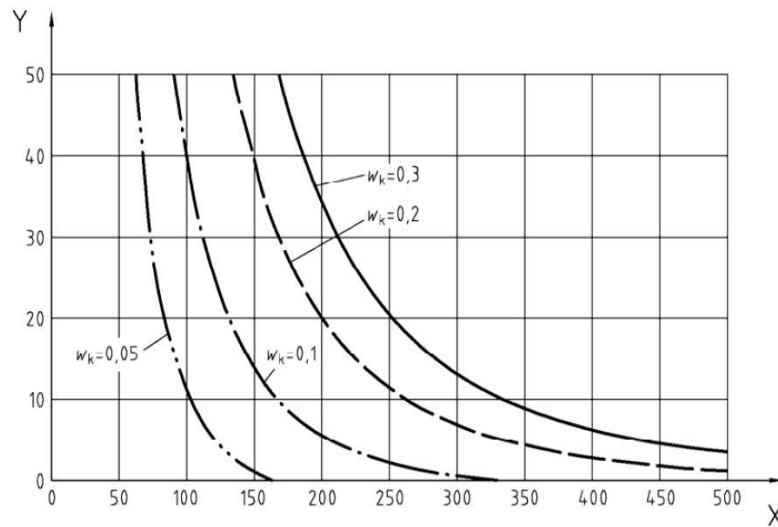
Scheurwijdte in verhardende fase, scheuren 1 week na de stort:

Geen invloed, want berekend volgens CROW methode of "Roze boek".

Na in gebruik name constructie:

Krimp optellen bij gemiddelde rek van de scheurwijdte controle.

Invloed autogene krimp op krimpwapening



Key

X reinforcement stress, σ_s (N/mm²)
Y maximum bar diameter (mm)

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

- Autogene krimp: $\epsilon_{au} = 0,26$ mm/m na 91 dagen.
- Stel $\Phi 20$ mm B500B: $w = 0,2$
- $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{200 \text{ N/mm}^2}{210000 \text{ N/mm}^2} = 0,95 \text{ mm/m}$
- Extra krimpwapening ca. 30%**
- Invloed verhinderingsgraad?
- Invloed kruip?

Elementaire vragen:

- **Is er een verband tussen autogene krimp en uitdrogingskrimp?**
- **Wat is de kruip en relaxatie van autogene krimp?**
- **?**

Oplossingen volgens de EC2 1992-1-1

2.3.3 Vervormingen van beton

(1)P De gevolgen van vervormingen door temperatuur, kruip en krimp moeten bij ontwerp en berekening in beschouwing zijn genomen.

(2) De invloed van deze effecten wordt normaal gesproken afgedekt door te voldoen aan de toepassingsregels van deze norm. In beschouwing behoren ook te zijn genomen:

- het minimaliseren van vervorming en scheurvorming ten gevolge van vroegtijdige beweging en van kruip en krimp door de samenstelling van het betonmengsel;
- het minimaliseren van vervormingsverhinderend door toepassing van oplegmateriaal of voegen;
- indien verhinderde vervormingen aanwezig zijn, er voor te zorgen dat er bij ontwerp en berekening rekening mee is gehouden.

Werkwijze volgens Stutech 69



Concrete oplossingen voor de constructeur:

Stufib / Stutech Studiecel: **Autogene krimp en de constructeur**