

Gewapend geopolymeerbeton in licht constructieve toepassing

Tim Dijkmans, Herdis Heinemann, Adri Vervuurt

21 January 2025

[Start presentation](#)

Uitgangspunten 4 geselecteerde projecten

- Kennis opdoen over prestaties in de praktijk op middellange termijn
 - 5 (of optioneel 10 jaar) monitoren
 - Materiaalkundig én constructief onderzoek
 - > prestatie individuele casussen
-
- Organisatie van het onderzoek
 - TNO voor inspectie en labonderzoek
 - Nebest voor veldmetingen
 - In overleg met opdrachtgevers, aannemers en leveranciers van de projecten
 - Rijkswaterstaat (GPO) review



Details van de 4 projecten

1. Selectieve Onttrekking IJmond (SOIJ)

Geopolymeerbeton: Afdekplaten vispassage
Opdrachtgever: Rijkswaterstaat (GPO)
Aannemer: Van Hattum en Blankevoort
Leverancier: A. Jansen Beton (SQAPE technologie)

2. Gemaal Windesheim

Geopolymeerbeton: Keerwanden
Opdrachtgever: Waterschap Drents Overijsselse Delta
Aannemer: Pannenkoek GWW
Leverancier: Bosch Beton

3. Poldergemaal Ringwiel Uitstroomlocatie

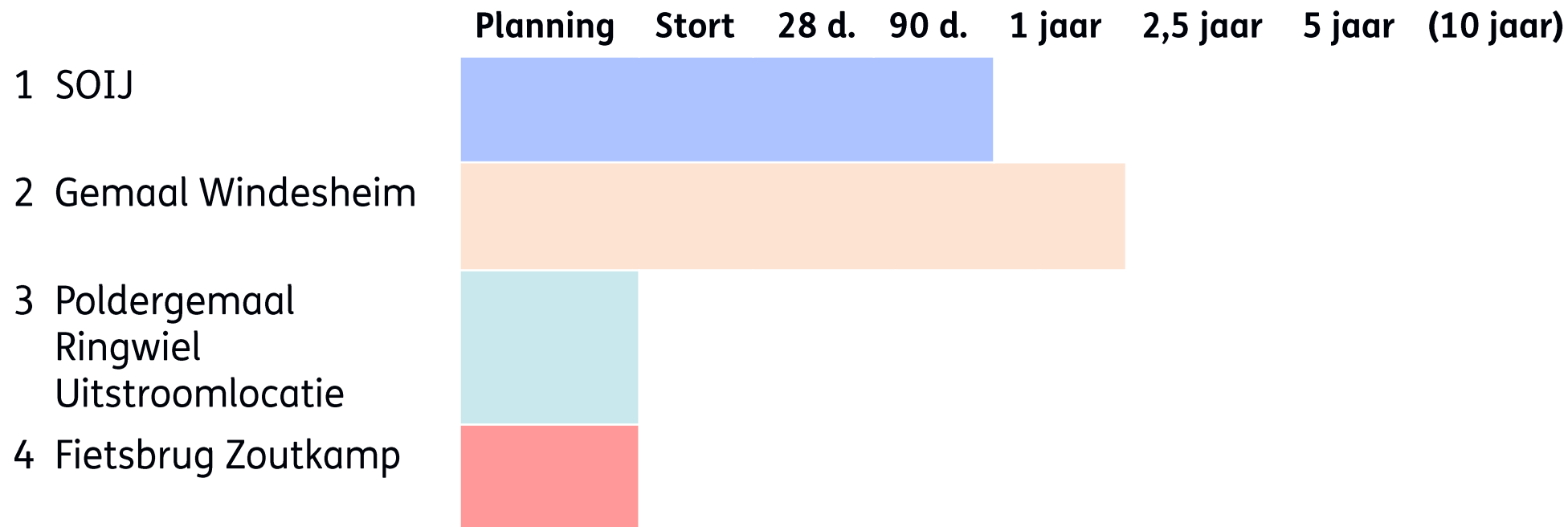
Geopolymeerbeton: Wanden en vloeren pompput
Opdrachtgever: Wetterskip Fryslân
Aannemer: Schot Infra
Leverancier: Fabiton (Nieuwton technologie)

4. Fietsbrug Zoutkamp

Geopolymeerbeton: Hangschorten tbv metselwerk
Opdrachtgever: Provincie Groningen
Aannemer: Friso Civiel
Leverancier: Kijlstra (Nieuwton met mengsel van TU Delft)



Overzicht projecten



Classificatie bindmiddel

	Type		Hoogoven- slak	Natuurlijk puzzolaan		Vliegas		Gerecycleerd e fijne fractie	Kalksteen	Ondergeschikte Aanvullende bestanddelen
				Natuurlijk	Gecalcineerd	Si-rijk	Ca-rijk			
				S	P	Q	V	W	F	L
AB	Slak-vliegas	AB-SV/A	0-35			65-100				0-5
		AB-SV/B	35-64			36-65				0-5
		AB-SV/C	64-80			20-36				0-5
		AB-SV/D	81-100			0-19				0-5
	Slak-gerecycleerde fijne fractie	AB-SF/D	81-100					0-19		0-5
	Gecalcineerde klei	AB-Q/D			95-100					0-5
	Eventueel toe te voegen klassen (zie tekst)									

Tabel 1.Voorgestelde classificatie (in %) van geactiveerde bindmiddelen in het kader van de proeftuin op basis van componenten, zonder de activator aanduiding. Zie hiervoor tabel 2

Activator	Type			
Basis	Loog	Waterglas	Carbonaat	Sulfaat
Na	Na _I	Na _W	Na _C	Na _S
K	K _I	K _W		
Ca				Ca _S
M (gemengd)	Combinatie van relevante aanduidingen			

Tabel 2.Voorgestelde classificatie van activatoren in het kader van de proeftuin, toe te voegen aan de aanduiding op basis van componenten

LET OP: dit is geen norm – alleen voor interpretatie en visuele inspecties binnen proeftuin

Bron: T. Nijland (2023) Voorzet voor de classificatie van alkali geactiveerde bindmiddelen voor beton. TNO rapport 10958

Overzicht van inspecties en tests

Inspecties
Uitvoering- en periodieke inspecties
Visuele inspecties
Bemonstering
Halfcelpotentialmetingen en elekt. Weerstand
Terugslaghamer metingen

Test	Norm/aanbeveling
Volumieke massa	EN 12390-7
Vrijwillige water opname, wateropname onder vacuüm en porositeit	EN13755 i.c.m. RILEM CPC11.3
Druksterkte	EN 13791:2019 , EN 12504-1, EN 12390-3
Elasticiteitsmodulus	EN 12390-13
Splijttreksterkte	EN 12390-6
Ultrasone geluidssnelheid	EN 12504-4
Elektrische weerstand (TEM)	RILEM TC 154-EMC recommendation
Chlorideprofiel	Volhardt conform de procedure van Rijkswaterstaat (2006)
Carbonatatie diepte	EN 14630:2006 EN 12390-10
Microstructuur	Nijland & Larbi (2010)
Buigsterkte	NEN-EN 12390-5
Ankerproef	fib modelcode 2020
Terugslaghamermetingen	NEN-EN 12504-2: 2021



Project 1 - SOIJ Inspectie 28 dagen



Project 2 – Gemaal Windesheim



Project 2 – Gemaal Windesheim 28 dagen

21 January 2025



Project 2 – Gemaal Windesheim 1 jaar



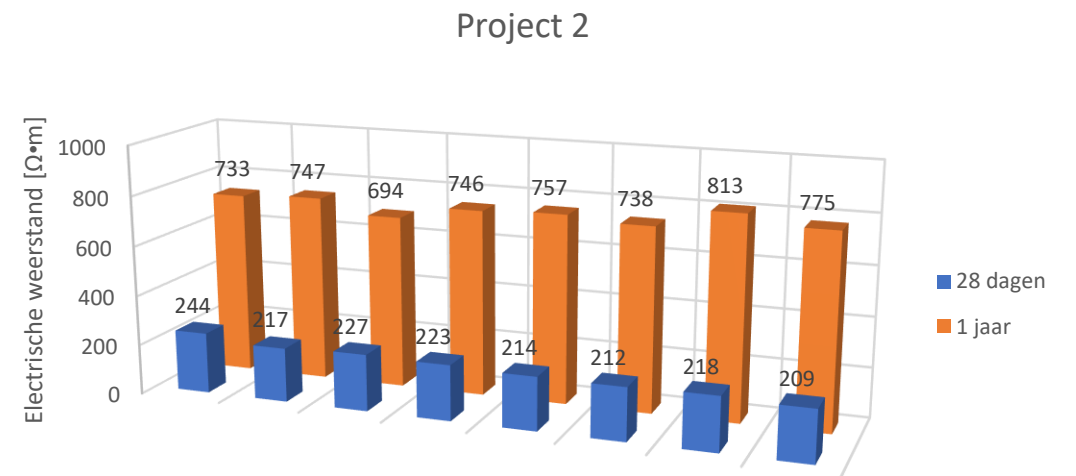
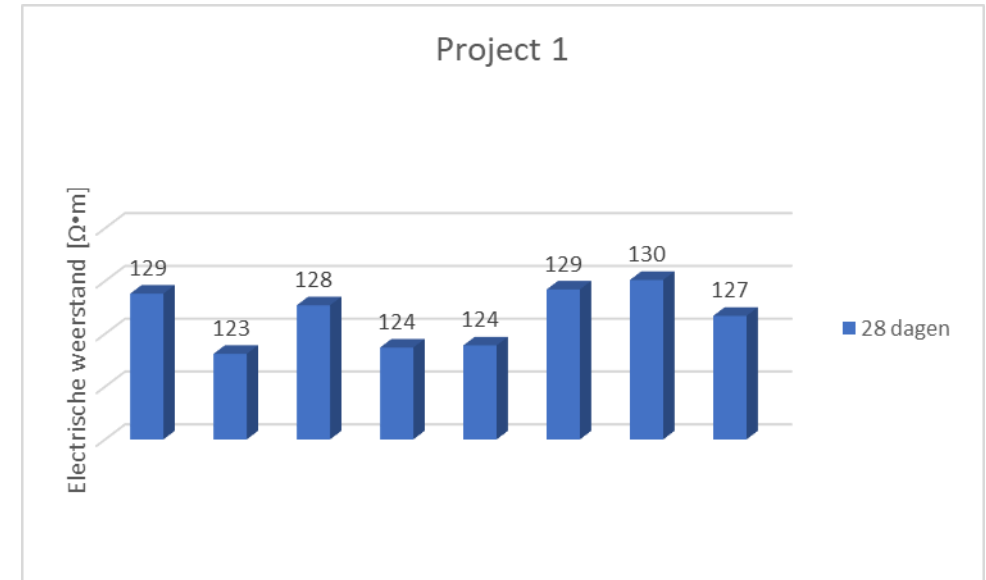
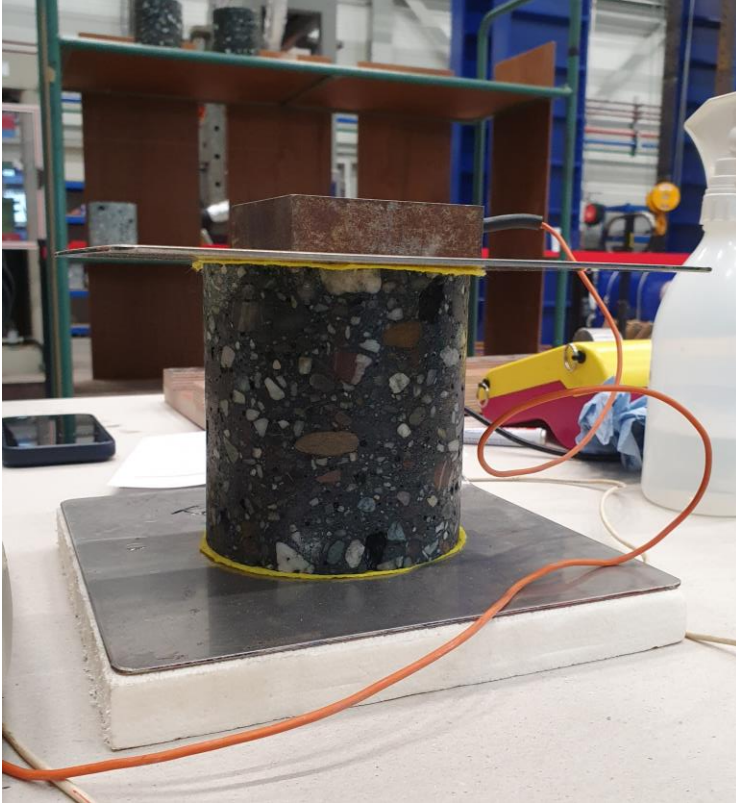
Oppervlakte



Carbonatatie



TEM

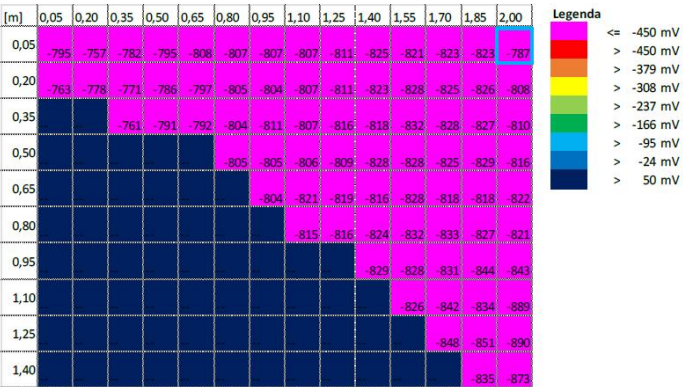


Potentiaalmetingen Project 2 28 dagen en 1 jaar

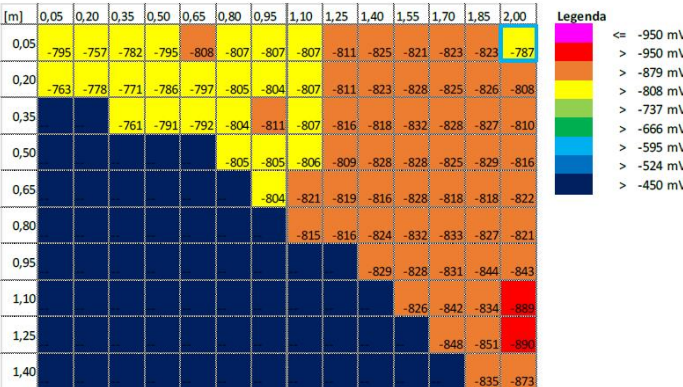


Rapportage

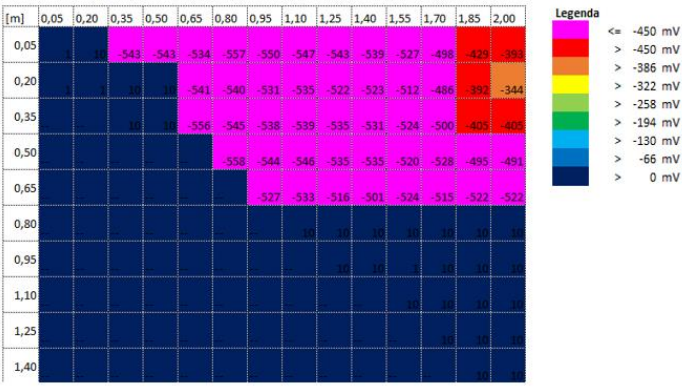
pagina 5 van 7
P53743-Windesheim-231218



Figuur 4.1: Kleurenkaart met traditioneel ingesteld meetbereik.



Figuur 4.2: Kleurenkaart met aangepaste instelling meetbereik.





Eerste resultaten constructieve proeven geopolymeerbeton

Adri Vervuurt

Achtergrond en proefopzet

Doel

Nagaan in hoeverre (tijdsafhankelijke)
(ontwerp)regels van toepassing zijn

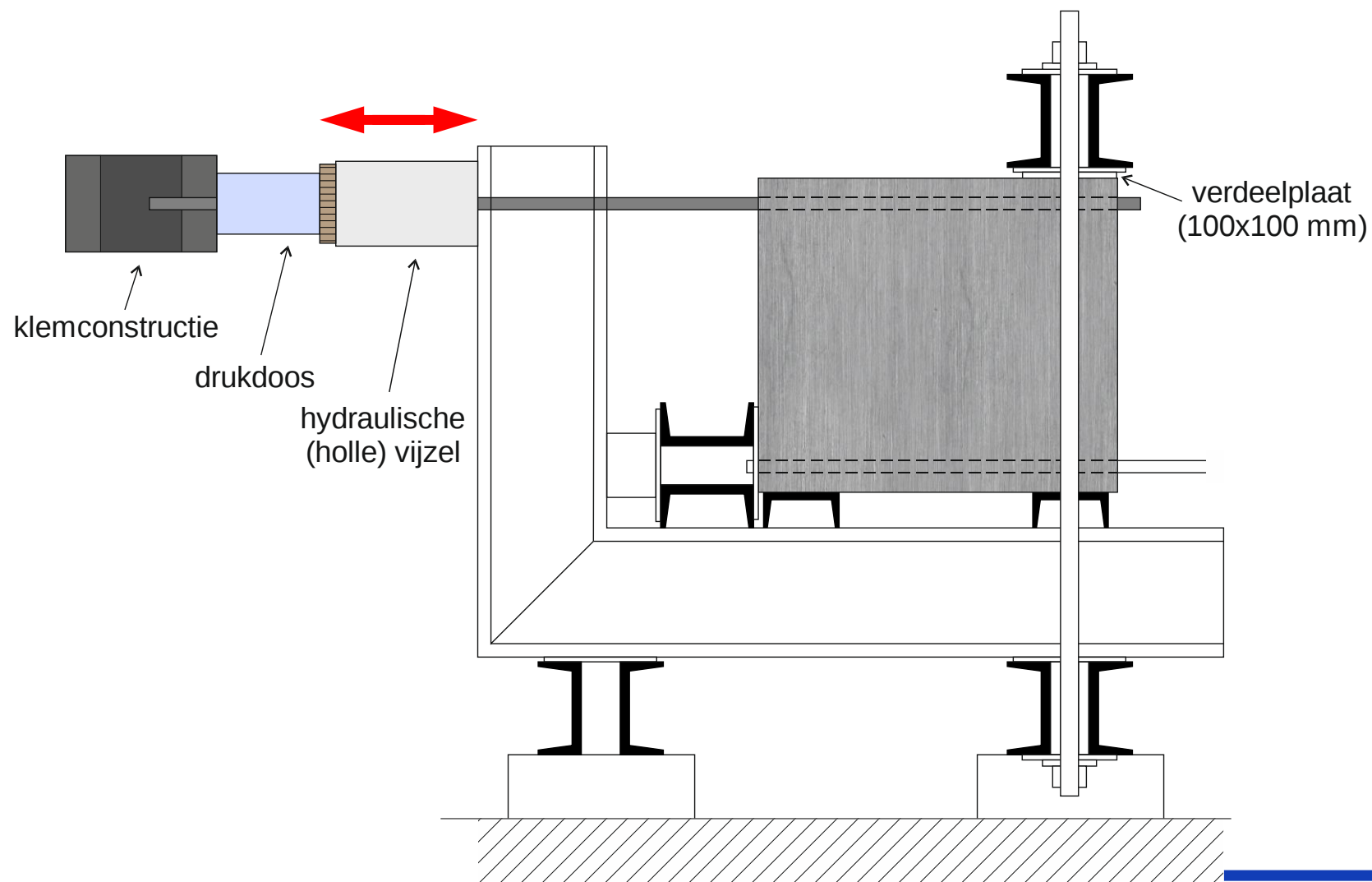
Gedrag constructief betonnen elementen.

Op basis van kennis en ervaring met
traditioneel constructief beton

- ***Verankeringsproeven, conform de fib Modelcode 2020***
- *Vierpuntbuigproeven*



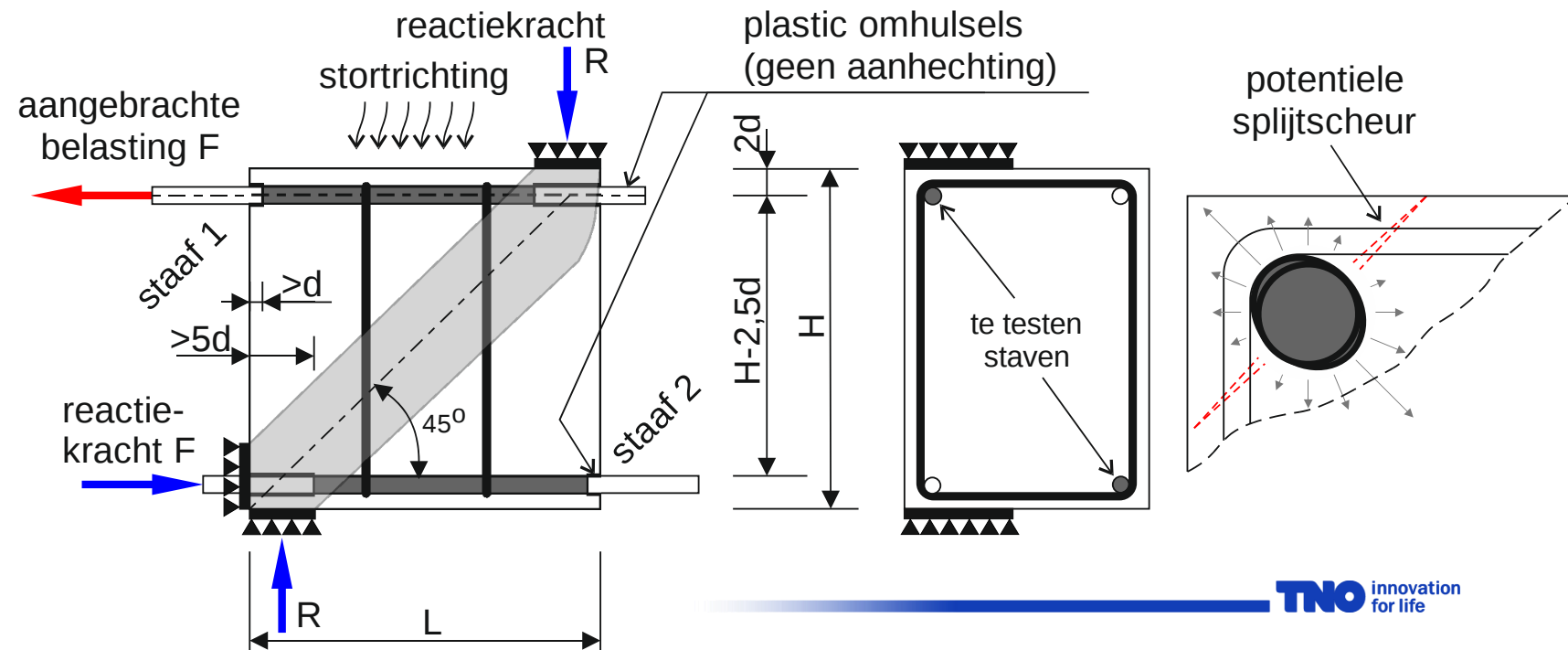
Proefopstelling



Verankeringsproeven

Bezwijkmechanismes in proeven

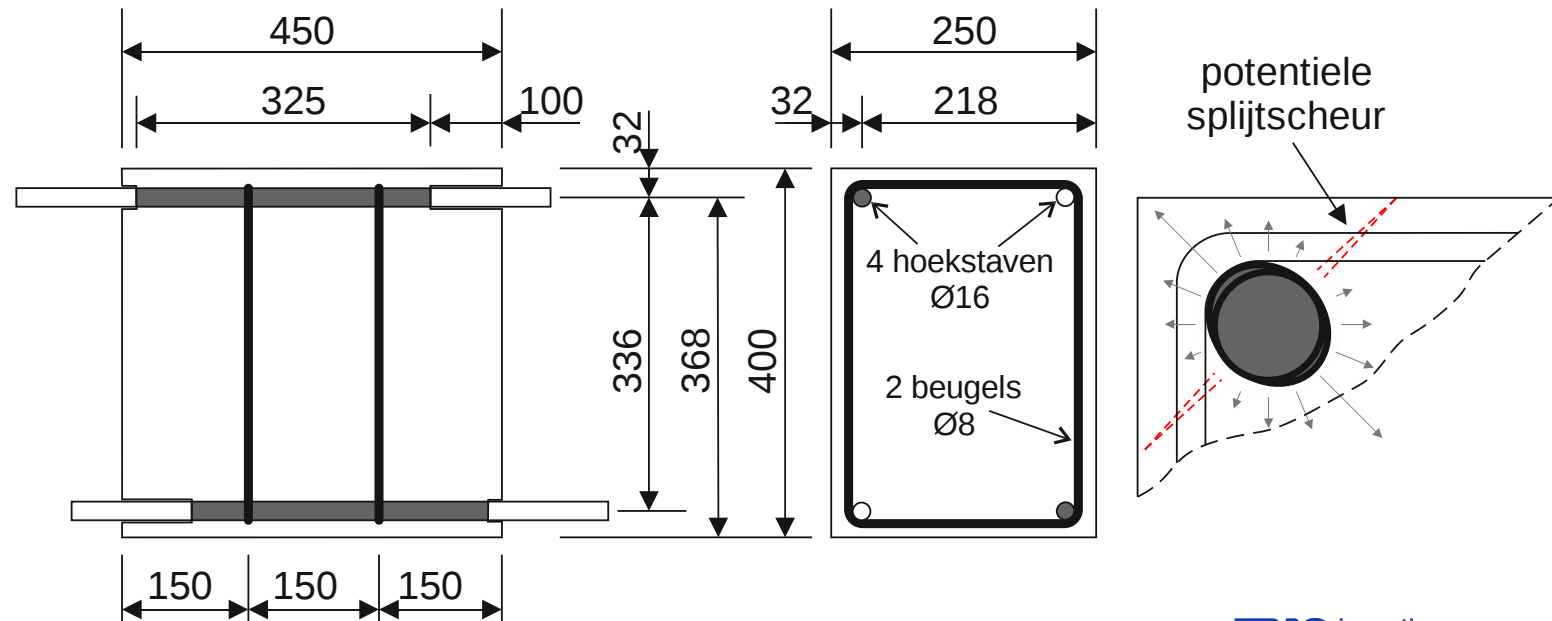
- 1) Splitting failure
- 2) Pull-out failure
- 3) Combinatie van 1 en 2
- 4) Slip failure



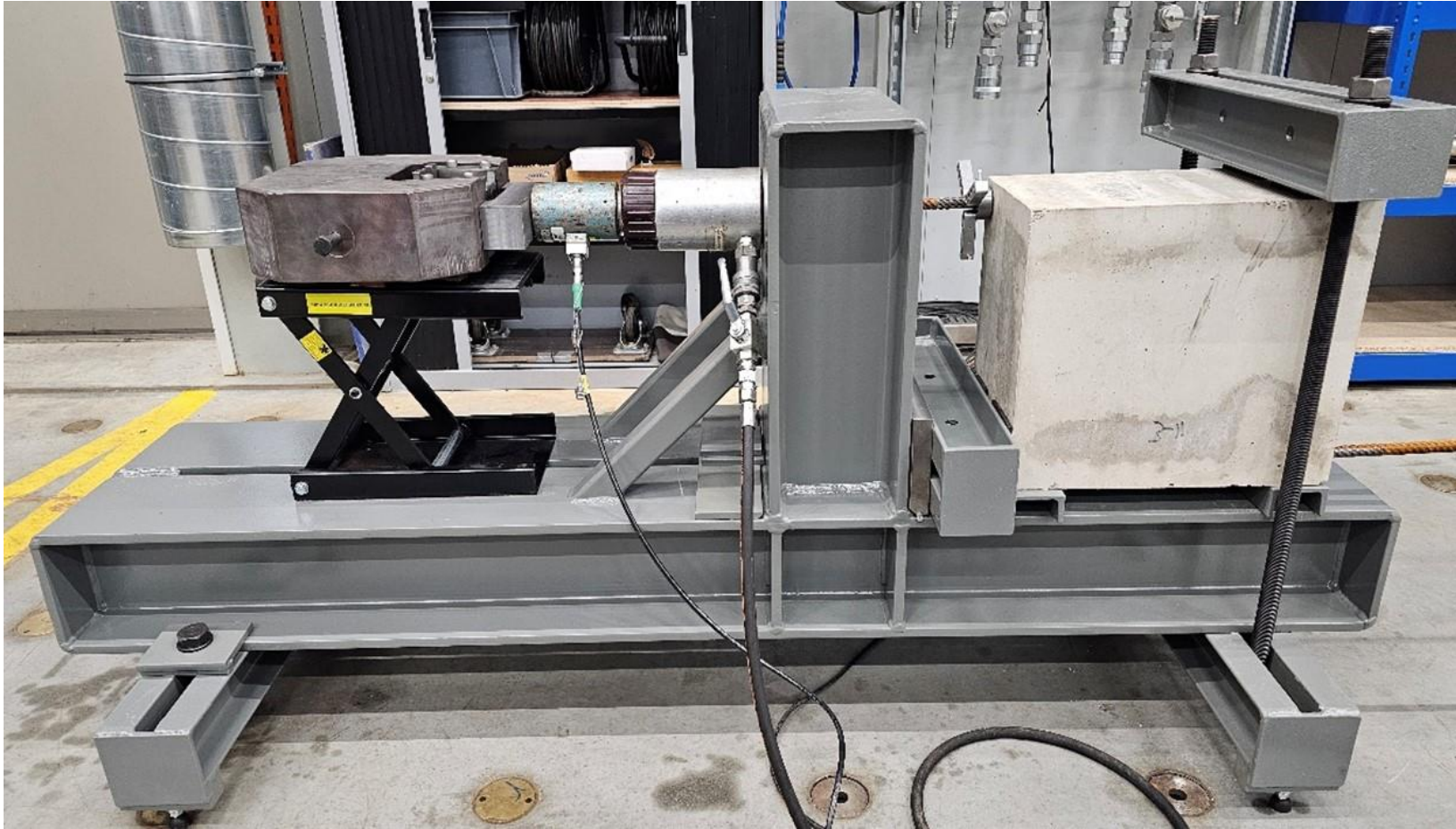
Verankeringsproeven

Bezwijkmechanismes in proeven

- 1) Splitting failure.
- 2) Pull-out failure.
- 3) Combinatie van 1 en 2
- 4) Slip failure



Proefopstelling



Bepaling in *fib* Modelcode 2020

Bepalingen voor verankeringen en overlappingsen in *fib* Modelcode 2020 (en in NEN-EN 1992) mogen worden toegepast indien de **staalspanning in de wapening bij bezwijken niet lager is dan 85%** van de voorspelde gemiddelde staalspanning op basis van:

$$f_{stm} = 54 \left(\frac{f_{cm}}{25} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{l_b}{\emptyset} \right)^{0.55} \cdot \left(\frac{25}{\emptyset} \right)^{0.2} \cdot \left[\left(\frac{c_{min}}{\emptyset} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_{min}} \right)^{0.1} + k_m \cdot K_{tr} \right]$$

Waarin

f_{cm}	is de gem. cilinderdruksterkte
l_b	= 325 mm
$c_{min} = c_{max}$	= 24 mm
k_m	= 12
K_{tr}	= 0.02
$\emptyset$	= 16 mm

Voor de voorspelde kracht in de wapening geldt dan

$$F_{stm} = \eta_2 \cdot A_s \cdot f_{stm}$$

Waarin

η_2	= 1.0 voor de onderstaaf
η_2	= 0.7 voor de bovenstaaf

Proevenschema

Opslag buiten :

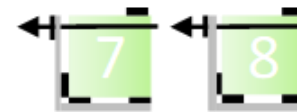
7 verankeringsproefstukken, 9 drukproefstukken, 9 splijtproefstukken



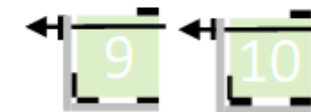
3 druk- en 3
splijttrek
proeven



3 druk- en 3
splijttrek
proeven



3 druk- en 3
splijttrek
proeven



3 druk- en 3
splijttrek
proeven



reserve

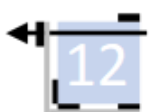
Geconditioneerde opslag (20 °C / 65 % RH):

5 verankeringsproefstukken, 9 drukproefstukken, 9 splijtproefstukken

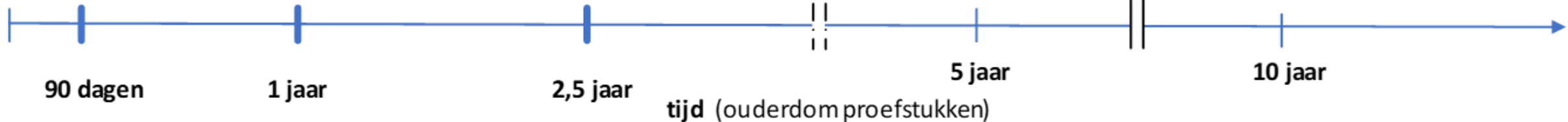


6 druk- en 6
splijttrek
proeven

3 druk- en 3
splijttrek
proeven



reserve



Uitgevoerde constructieve proeven (t=90 dgn)

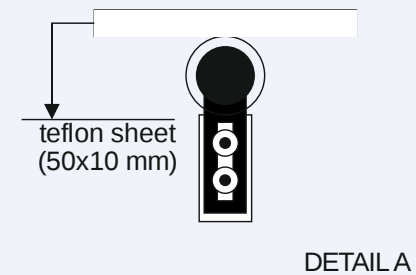
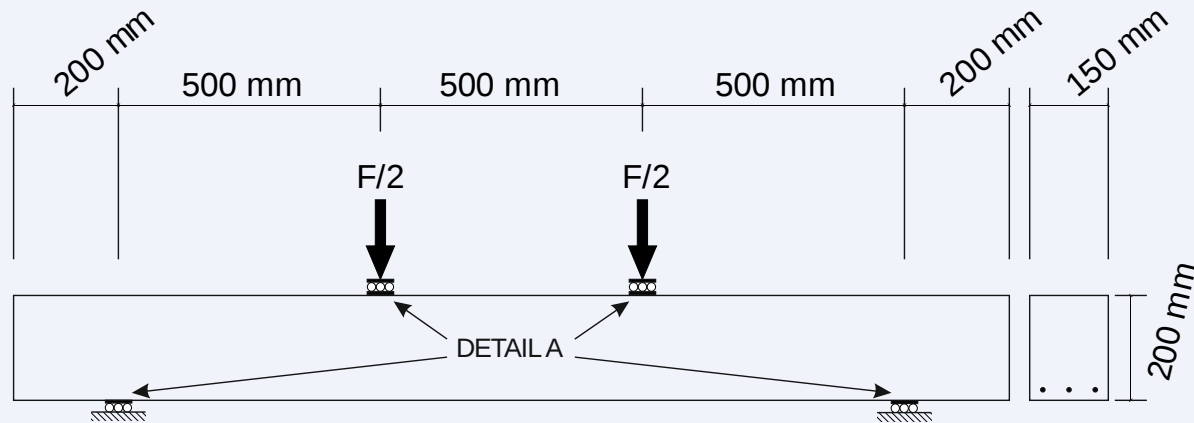
1. Verankeringsproeven
2. 4-punt-buigproeven

Resultaten materiaalproeven (t=90 dgn)

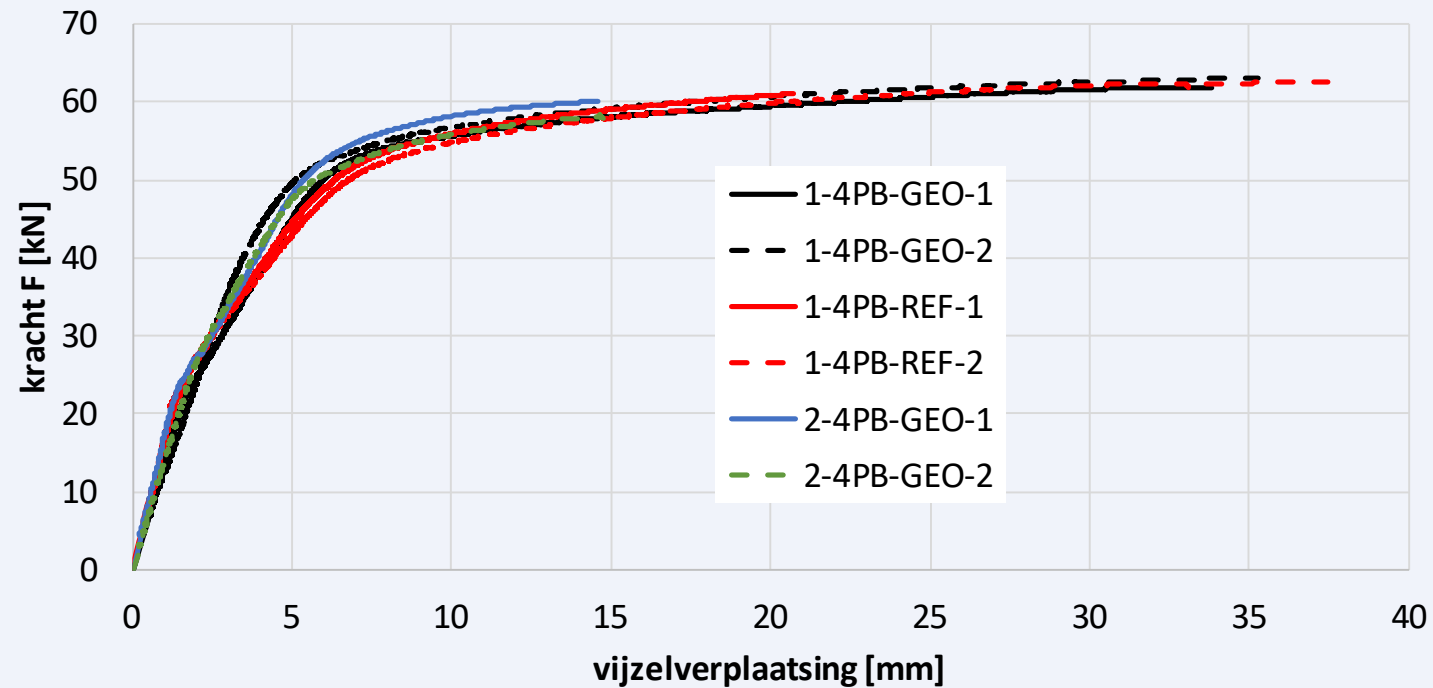
		druk- sterkte	splijttrek- sterkte
Project 1	Verankerings- en vierpuntbuigproeven	61.7 (3.1)	4.24 (0.40)
	Referentiebeton	36.9 (7.5)	3.59 (0.27)
Project 2	Vierpuntbuiging	53.9 (1.8)	3.69 (0.67)
	Verankeringsproeven	53.9 (1.7)	3.93 (0.48)

Vierpuntbuigproeven

- 200x150 mm, 1500 mm overspanning (3x500 mm)
- 3 staven rond 8, dekking 15 mm
- $F_{\max} = \pm 60 \text{ kN}$

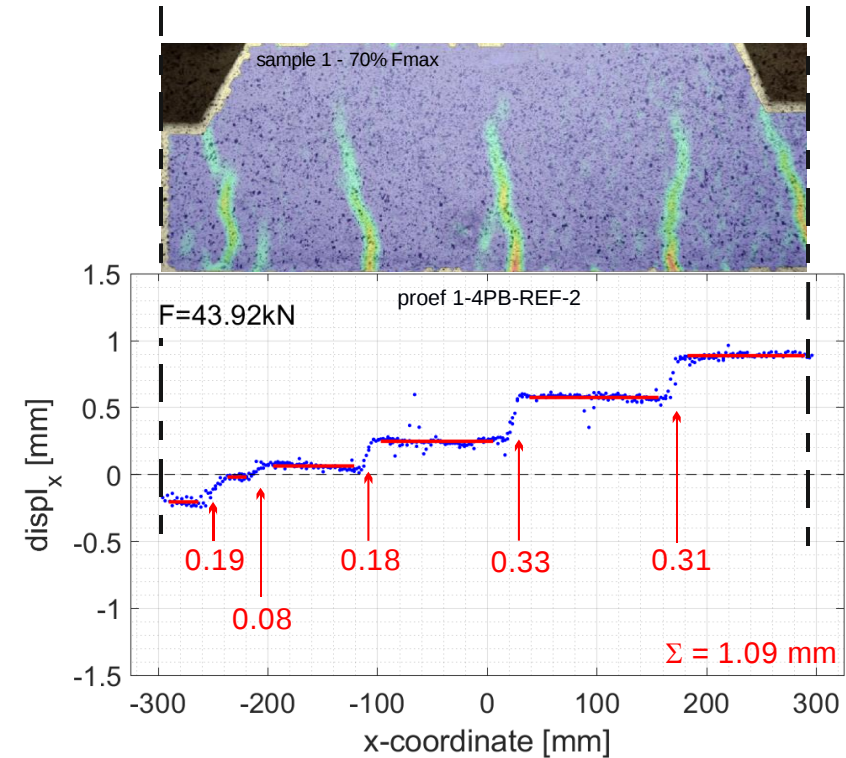
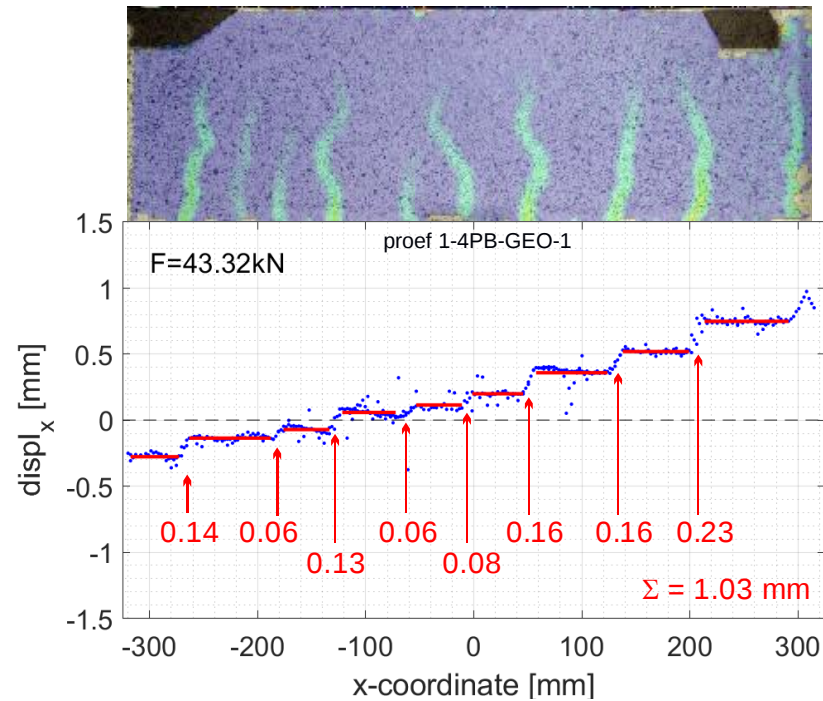


Resultaten vierpuntbuigproeven



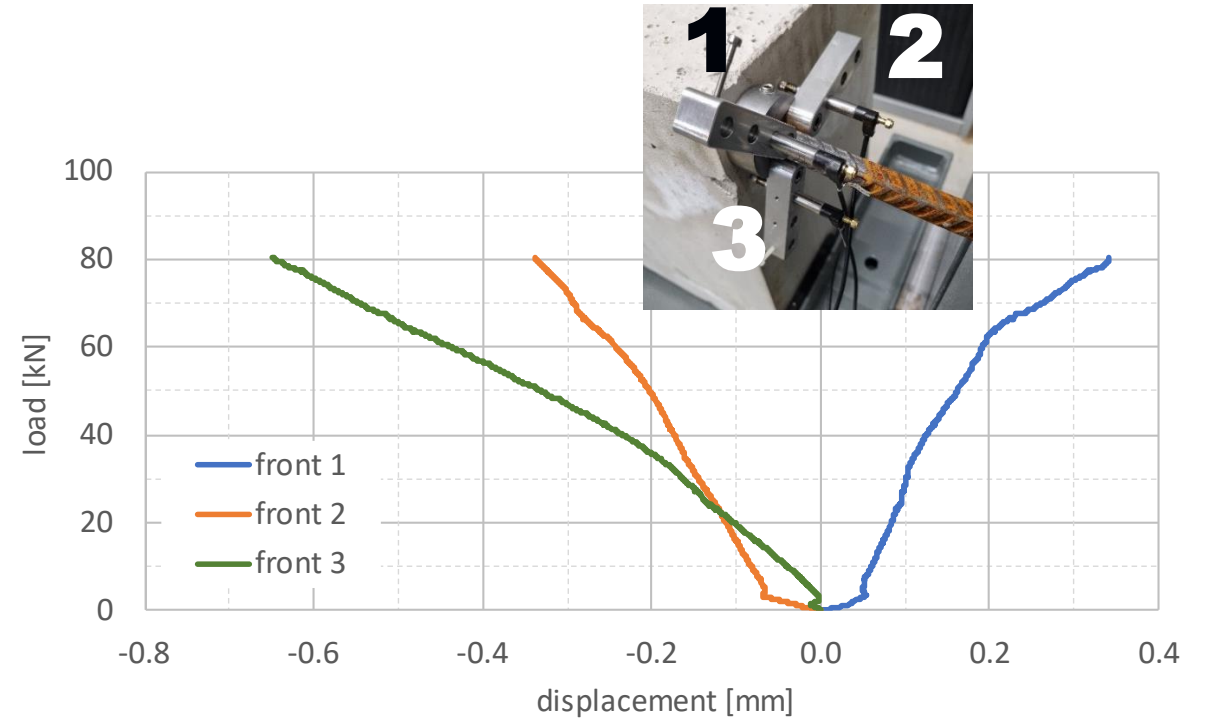
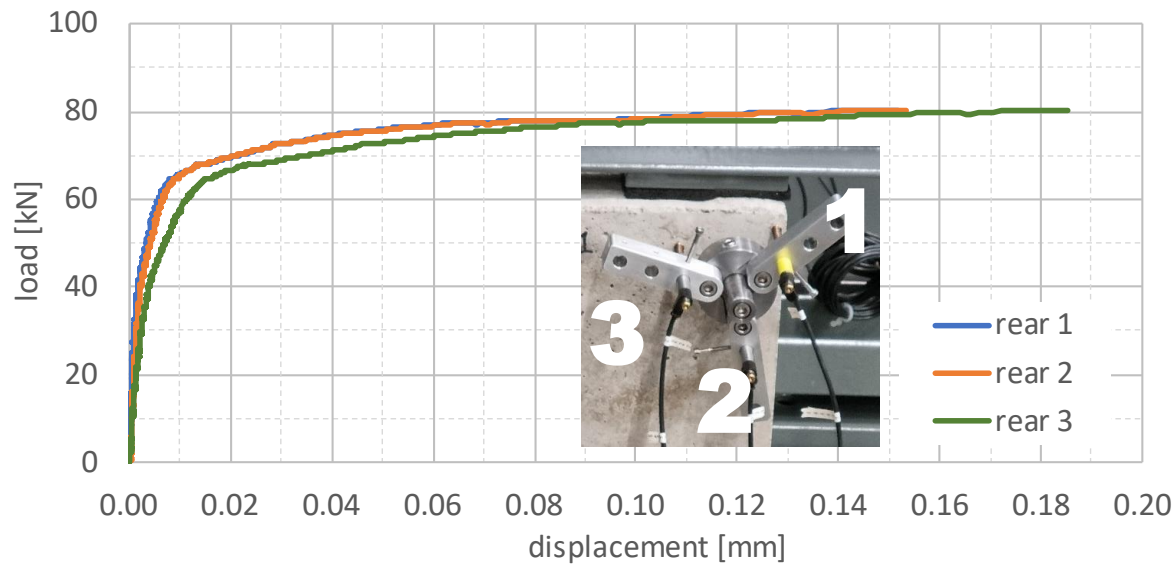
		$F_{\max} (1)$	$F_{\max} (2)$
Project 1	GEO	61.9	62.7
	REF	61.0	62.7
Project 2	GEO	60.1	58.2

Resultaten vierpuntbuigproeven (DIC)



VOORBEELD

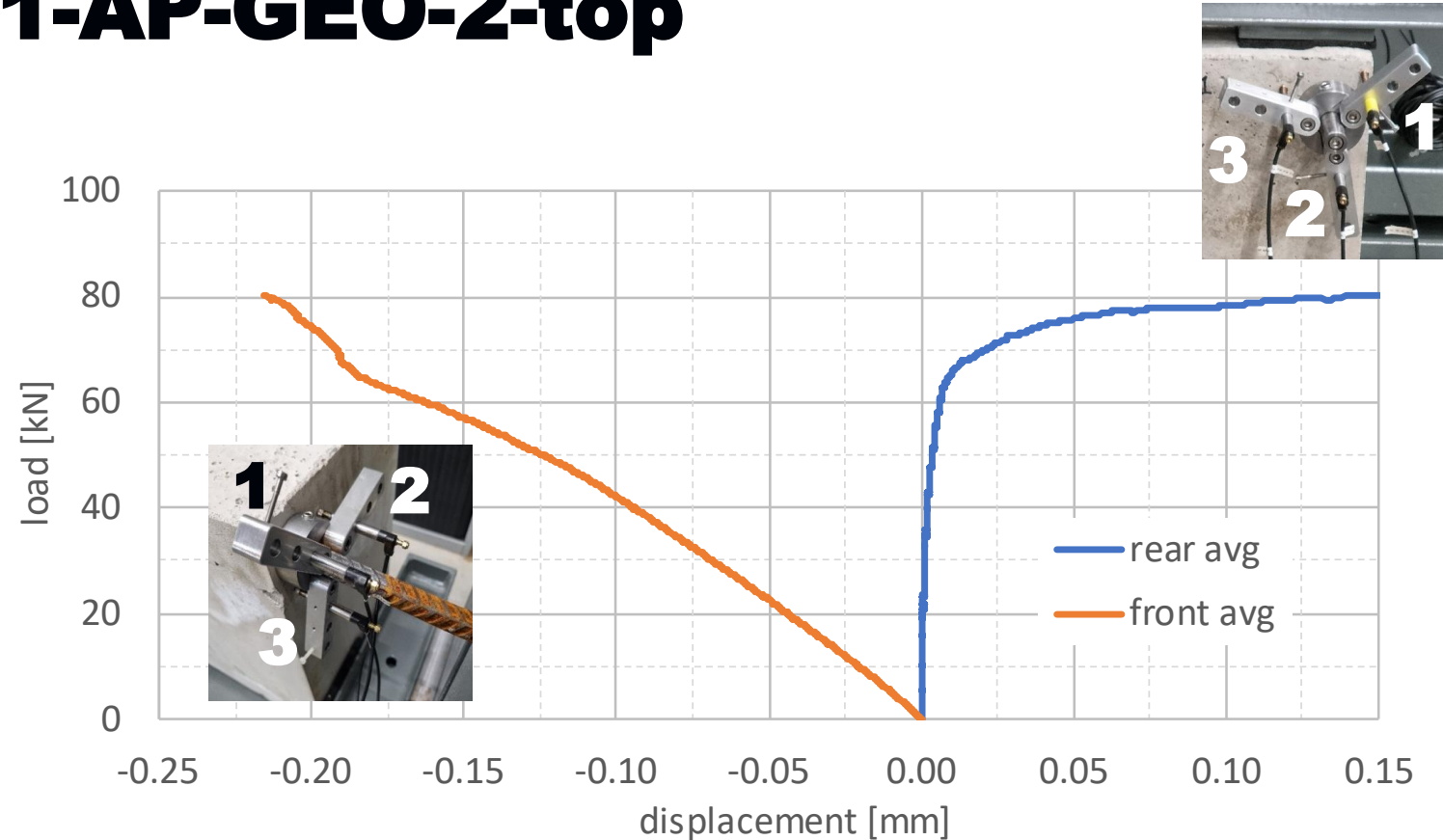
Resultaten proef 1-AP-GEO-2-top



VOORBEELD

Resultaten proef 1-AP-GEO-2-top

- Aanvankelijk vooral uittrekking aan de voorzijde
- Vanaf $0,8F_{\max}$ lokalisatie en uittrekking aan de achterzijde



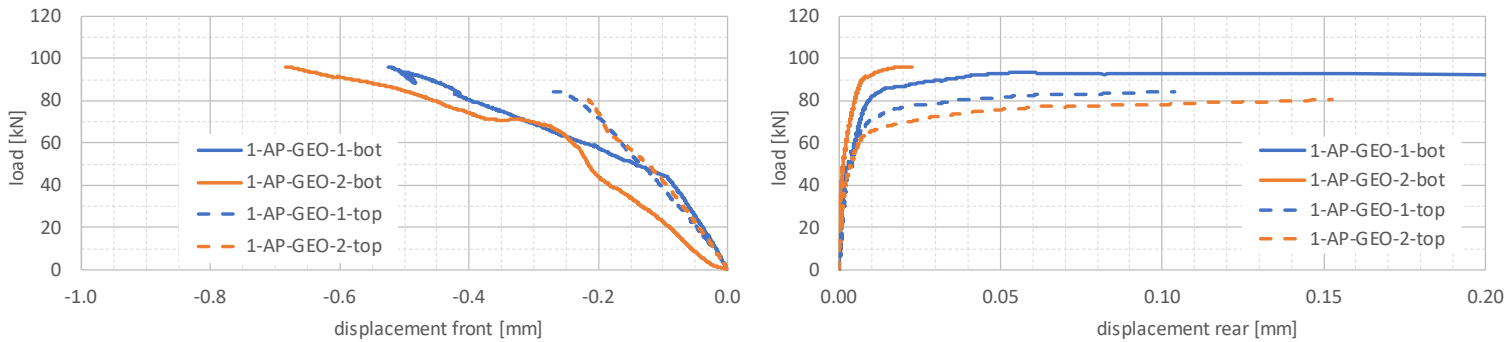
VOORBEELD

Resultaten proef 1-AP-GEO-2-top

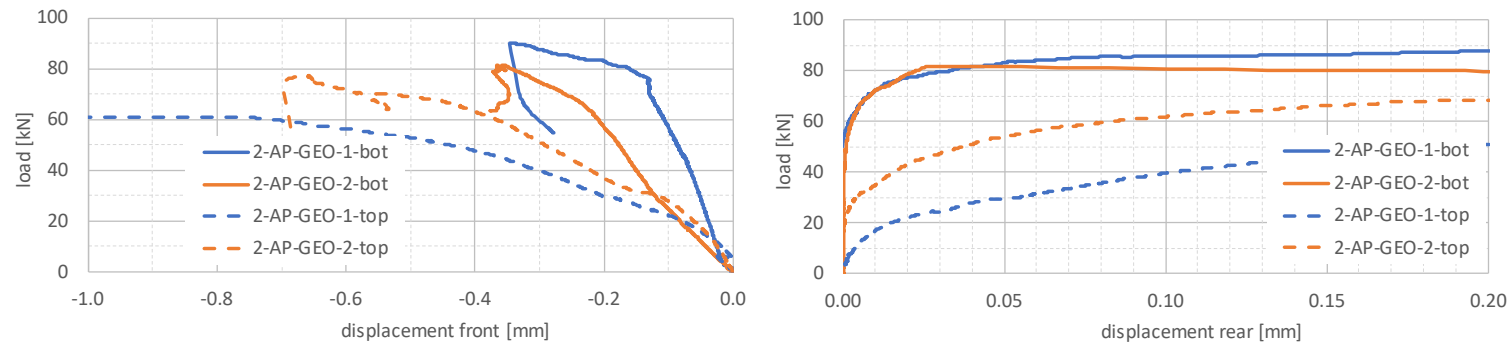


VOORBEELD

Resultaten alle verankeringsproeven

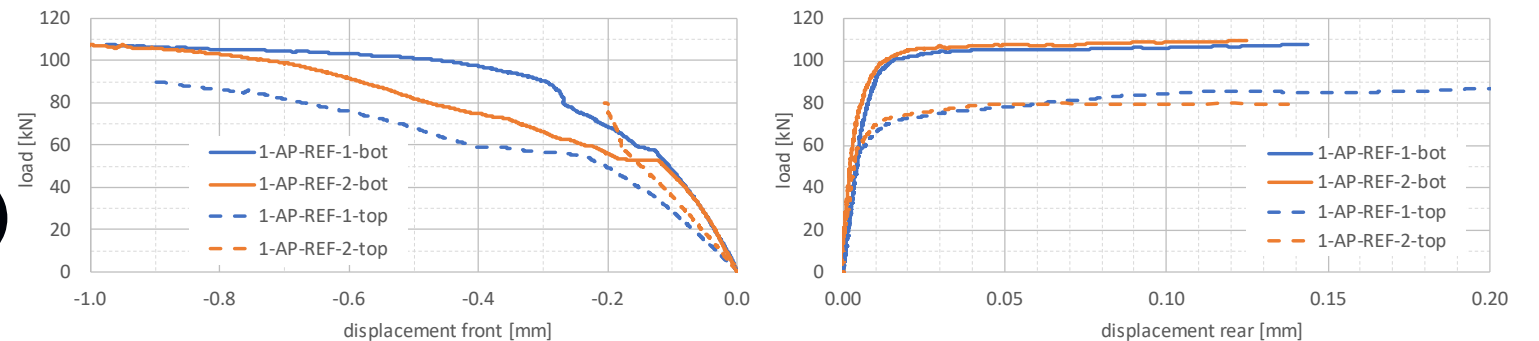


project 1



project 2

**project 1
(referentiebeton)**



Resultaten verankeringsproeven

	$F_{\text{max,top}}$ test 1 test 2		$F_{\text{max,bot}}$ test 1 test 2	
Project 1	84.4	80.3	96.2	96.2
Project 2	89.6	79.7	107.6	109.7
Referentiebeton	61.2	77.6	90.3	81.7

Resultaten verankeringsproeven

$$F_{stm} = \eta_2 \cdot A_s \cdot 54 \left(\frac{f_{cm}}{25} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{l_b}{\emptyset} \right)^{0.55} \cdot \left(\frac{25}{\emptyset} \right)^{0.2} \cdot \left[\left(\frac{c_{min}}{\emptyset} \right)^{0.25} \cdot \left(\frac{c_{max}}{c_{min}} \right)^{0.1} + k_m \cdot K_{tr} \right]$$

		$\frac{F_{max,test}}{\eta \cdot F_{stm}} > 0.85$			
	f_{cm} [MPa]	bovenstaaf		onderstaaf	
		test 1	test 2	test 1	test 2
Project 1	61.7	1.15	1.09	0.92	0.92
Project 2	53.9	1.26	1.12	1.06	1.08
Referentiebeton	36.9	0.95	1.20	0.98	0.89

Voorlopige conclusies

- Na aanloop-oefeningen succesvolle verankeringsproeven
- Voor alle proeven geldt op t=90 dagen

$$\frac{F_{max,test}}{\eta \cdot F_{stm}} > 0.85$$

Op basis hiervan mogen bepalingen voor verankeringen en overlappings in *fib* Modelcode 2020 (en in NEN-EN 1992)

