

**TOELICHTING
MONITORINGSPROGRAMMA
GEOPOLYMEREN BETONCONSTRUCTIES
JEROEN KRUIHOF, JOOP BOVEND'EERDT**

vrijdag 26 mei 2023

› INHOUD

MONITORINGSPROGRAMMA GEOPOLYMEREN BETONCONSTRUCTIES

- 10:00 WELKOM
- 10:05 DOEL & WERKWIJZE
- 10:10 MONITORINGSPROGRAMMA
- 10:20 SUCCESFACTOREN
- 10:30 CONCEPT KLASSE INDELING
- 10:50 PLANNING
- 11:00 PAUZE
- 11:15 TOELICHTING PER PROJECT
- 11:45 AFSLUITING & AFSPRAKEN VERVOLG

A person in a dark suit is holding a large, unfolded map in front of their face, completely obscuring it. The map is a detailed road map with various colors and text. The person is standing in a field of tall, golden grass with some red poppies. The sky is a deep blue with some light clouds. The overall scene suggests a sense of direction and planning.

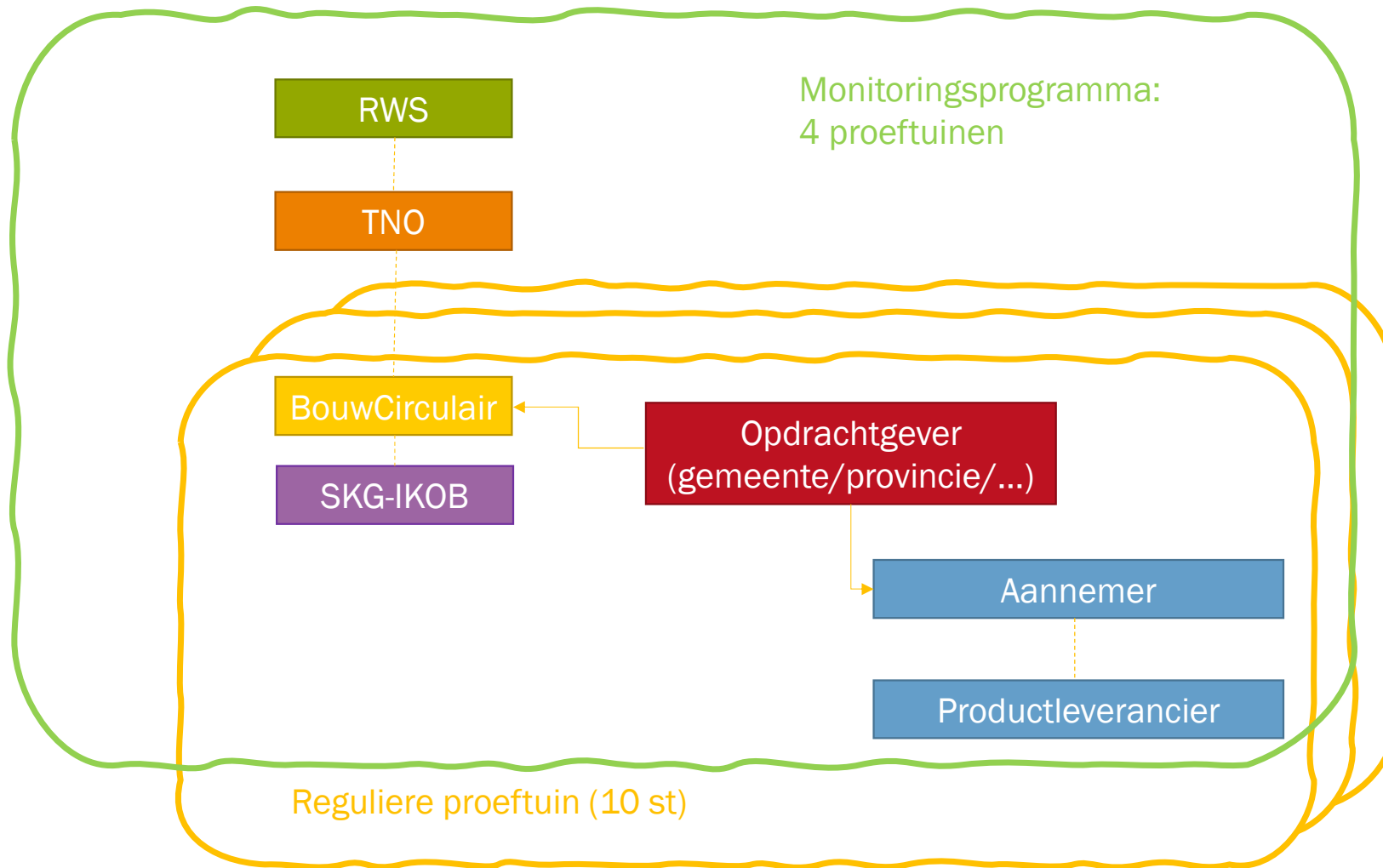
› DOEL & OPZET MONITORINGSPROGRAMMA

vrijdag 26 mei 2023

› DOELSTELLING

- › Versnellen duurzaam beton:
 - › Versnellen: belemmeringen voor toepassing weghalen
 - › Duurzaam: CO2 uitstoot verlagen
 - › Beton = bindmiddel + toeslagmaterialen
- › Randvoorwaarden:
 - › Veiligheid
 - › Minimaal 50 jaar levensduur
 - › Concurrerende prijs
 - › Etc.

› OPZET MONITORINGSPROGRAMMA



› OPZET MONITORINGSPROGRAMMA

› Voorbereiding (2023):

1. Inventarisatie gerealiseerde GPB constructies
2. Klasse indeling GPB
3. Uitvraag 10 GPB constructie projecten -> 4 selecteren
4. Opstellen monitoringsplan / project

› Monitoringsprogramma (2023/2024):

- › Inspecties
- › Materiaal gedrag
- › Constructief gedrag
- › Rapportage & kennisdeling

› MONITORINGSPROGRAMMA 4 GESELECTEERDE GPB-PROJECTEN

vrijdag 26 mei 2023

› **MONITORINGSPROGRAMMA**

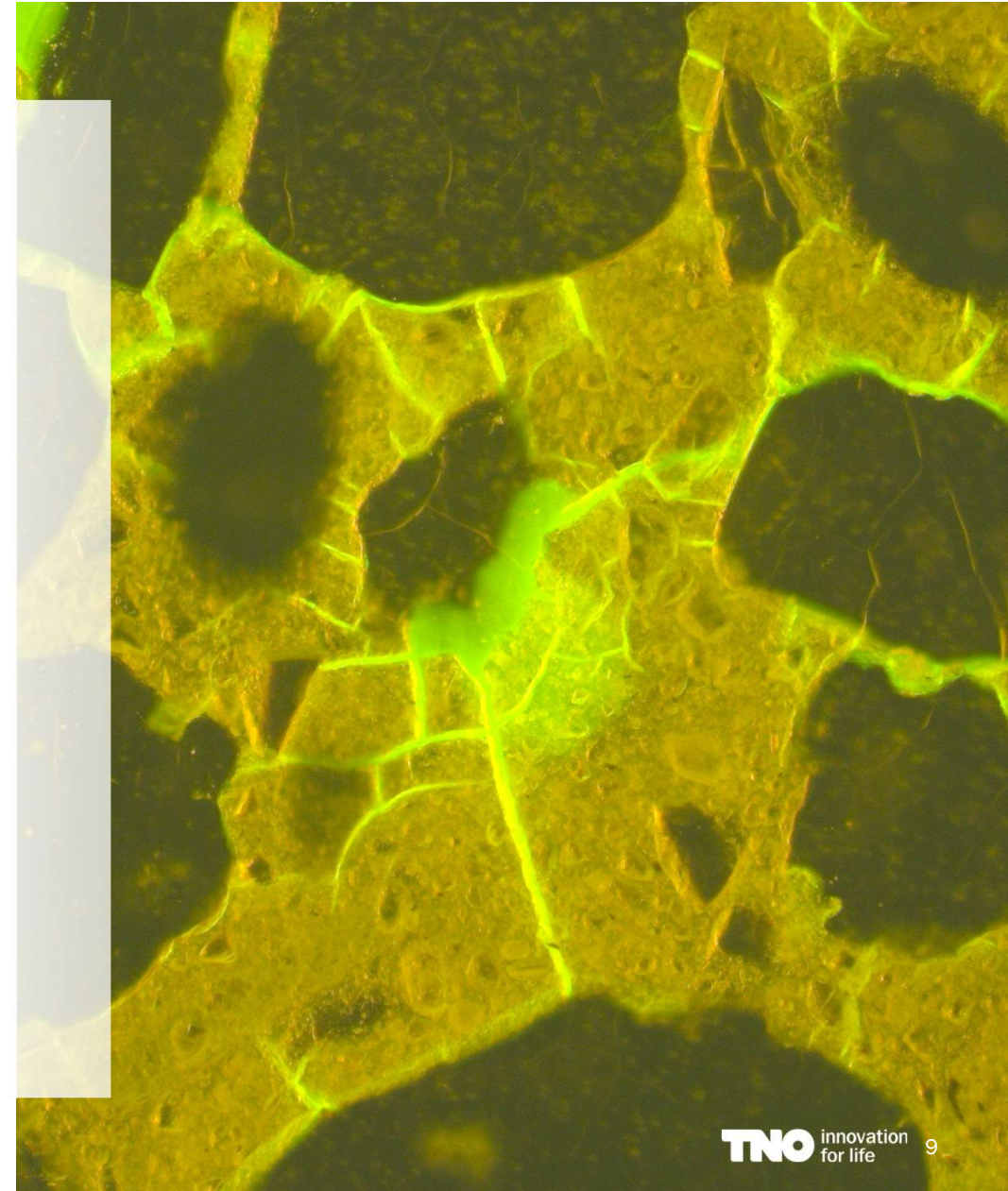
INSPECTIES

- › Visuele inspecties en niet destructieve metingen tijdens:
 - › Uitvoering
 - › Na 28 dagen
 - › Na 1 jaar
 - › Na 2,5 jaar
 - › Na 5 jaar

› **MONITORINGSPROGRAMMA** **MATERIAAL GEDRAG**

- › Prestaties van het materiaal in de tijd
- › Geen vergelijking met norm, referentie of onderling
- › Onderzoek naar sterkte, veroudering en duurzaamheid
- › Op 28 dgn en na 5 jaar PFM onderzoek

vrijdag 26 mei 2023



› **MONITORINGSPROGRAMMA CONSTRUCTIEF GEDRAG**

- › Per project opstellen van meet- en monitoringsplan
- › Gebruiksbelasting:
 - › Vervormingsgedrag ter plekke meten
- › Belasten tot bezwijken:
 - › Opofferingsbalken met zelfde mengsel als constructie
 - › Balken opslaan op locatie, testen in lab
 - › Eventueel extra balken voor materiaalonderzoek

› **MONITORINGSPROGRAMMA**

RAPPORTAGE & KENNISDELING

› Rapportage:

- › Per project
- › Overkoepelend

› Kennisdeling:

- › Vakbladen
- › Bijeenkomsten BouwCirculair
- › Na 2 – 3 jaar advies over aanvraag CROW-CUR aanbeveling



› SUCCESFACTOREN

vrijdag 26 mei 2023

› **SUCCEFACTOREN MONITORINGSPROGRAMMA**

- › Delen informatie:
 - › Inventarisatie eerder gerealiseerde GPB constructies
 - › Klasse indeling GPB
- › Project specifiek inspectie- en monitoringsplan vóór uitvoering project
- › Samenwerkingsovereenkomst

› **BORGEN SAMENWERKING**

VOORWAARDEN DEELNAME GPB PROJECTEN

- › Opdrachtgever:
 - › Sluit samenwerkingsovereenkomst met RWS
- › Aannemer / leverancier GPB:
 - › Klasse indeling GPB
 - › Informatie verstrekking (testresultaten, geverifieerde LCA)
 - › Ontwikkelen & implementeren monitoringsplan ism TNO

› **BORGEN SAMENWERKING**

SELECTIE PROJECTEN

- › Selectie van projecten op basis van criteria op twee niveaus:
 - › Projectniveau;
 - › Programmaniveau.

› **BORGEN SAMENWERKING**

SELECTIE CRITERIA PROJECTNIVEAU

› Haalbaarheid:

- › Uitvoerbaarheid binnen proeftuin
- › Geschiktheid voor monitoring en onderscheidendheid (constructietype of locatie)
- › Borgen bereikbaarheid en voorzieningen gedurende monitoringsperiode

› Duurzaamheid en impact:

- › Kwaliteit aangeleverde onderbouwing
- › MKI per m³
- › Opschaalbaarheid mengsel/constructiedeel

› Mengselsamenstelling en productieproces:

- › Duidelijkheid over te gebruiken mengsel (incl. klasseindeling)
- › Beschikbaarheid en constantheid grondstoffen (en productiemethoden) nu en in de toekomst
- › Variatie en onderscheidendheid mengsels binnen de proeftuin

› Openbaarheid van informatie:

- › Mate waarin de indiener toestemming geeft aanvullende informatie openbaar te publiceren.

› **BORGEN SAMENWERKING**

SELECTIE CRITERIA PROGRAMMANIVEAU

- › Er wordt een combinatie van projecten gekozen die met elkaar complementair zijn met betrekking tot de onderliggende doelstelling van het monitoringsprogramma. Gericht op:
 - › realistische weerspiegeling te verwachten geopolymeerbetonsoorten
 - › realistische weerspiegeling te toepassingsgebieden
 - › verkrijgen van geschikte data die meer inzicht geeft in de generieke presentaties van (licht) constructief geopolymeerbeton.

› **SAMENWERKINGSOVEREENKOMST (1/2)**

- › Partijen: RWS, TNO en 4 opdrachtgevers van proeftuinen
- › Duur: $\geq$ medio 2029
- › Delen informatie: GPB klasse indeling, LCA en minimaal de testresultaten van:
 - › Druksterkte
 - › Buig(trek)sterkte
 - › Splijttreksterkte
 - › E-modulus
 - › Volumieke massa
 - › Thermische uitzetting
 - › Krimp
 - › Kruip

› **SAMENWERKINGSOVEREENKOMST (2/2)**

› Bereikbaarheid & testen:

- › Veilige bereikbaarheidsvoorzieningen (hoog/laag werker, steiger etc)
- › Afzettingen, buitengebruik stellingen
- › Beschikbaarheid water en stroom
- › Boren kernen, transport naar TNO, herstel gaten
- › Eventuele vergunningen / toelatingen afstemmen met belanghebbenden

› Opofferingselementen:

- › Produceren van minimaal 6 opofferingsbalken
- › Opslag op projectlocatie -> zelfde conditie als te inspecteren elementen
- › Transport van project naar TNO-lab

› Gebruiksbelasting:

- › Proefbelasting = opdrachtgever project
- › Opzet proef en meting = TNO

VOORZET VOOR CLASSIFICATIE VAN ALKALI GEACTIVEERDE BINDMIDDELEN VOOR BETON

› **CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON**

AANLEIDING

- › Classificatie vergelijkbaar met NEN-EN 197-1:2011 c.q. 2018 Ontw. ontbreekt
- › NEN-EN 206+NEN 8005:2017 laten niet zo maar alle cementen toe voor (gewapend) beton
- › Onzeker of CUR Aanbeveling 43:2022 alle aspecten afdekt
- › Geen lange termijn ervaring: onzeker of standaardrelaties tussen (mechanische) eigenschappen voor de constructieve beoordeling opgaan



› **CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON**

NOODZAAK

- › Opdoen lange termijn ervaring
- › Overdraagbaarheid daarvan: anders moet je telkens opnieuw beproeven
- › Zonder classificatie: voor elk beton alle componenten van een bindmiddel opgeven in kg
 - › Producent geeft meer detail informatie dan met classificatie
- › Met classificatie: voor elk beton alleen het aantal kg bindmiddel opgeven

CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON ANDERS IS DIT NIET MOGELIJK

Veggestructuur
Trafiekkeet, mja- og teknologastatien
Turner og beting
Februar 2014



Slag cement concrete - the Dutch experience
Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 270



Tabel 1. Objekter, betongegenskaper og inspektionsdata.

objekt	cement- gehalt (kg/m ³)	cement- sort	water- cement- factor	hulpstof en/of tras	verdens- tilling	beton- druktetkete (kgf/cm ²) of (N/mm ²)	terugslag- værdi** R _t	rdom carbonatis- tjæpde (mm)	beton- dekning (mm)	skade corrosion	scheuren	craquelé	verring	utslag	opmerkinger
1a Delfzijl, nye sluis	350	HCA		geen	trillen	K225	30	1-2	70	geen	matig	geen	matig	geen	scheuren i hovedsak over vann
1b Delfzijl, gamle sluis	340	HCA		geen	trillen		46	0-1	65	geen	weinig	geen	weinig	geen	enkelte stalaktitter; allei det ver-
1c Delfzijl, bruggjælers	340	HCA			trillen, porren		35	1-2	35	geen	geen	geen	weinig	geen	hulpeugels sterk geroest
1d Delfzijl, kadetek	350	HCA					42 en 48	-	24-28	geen	geen	geen	geen	geen	
Delfzijl, kadepalen	400	HCB					39 en 44	1-1,5	40	geen	geen	geen	geen	geen	plattselik en grindnest
1e Delfzijl, kademur	350	HCA			trillen, porren		52	< 1	25	geen	geen	geen	geen	geen	
Delfzijl, kadepalen	400	HCB													
2a Lauwersoog, spuisluis	340	HCA		geen	trillen	K225	36	0-1	45-50	geen	geen	geen	geen	geen	
2b Lauwersoog, schutsluis	340	HCA		geen	trillen	K225	40	< 1	50	geen	geen	geen	geen	geen	
3a Harlingen, schutsluis	340	HCA		soms l.b.v.	porren		47 en 50	< 1	40	geen	geen	geen	geen	geen	
3b Harlingen, keersluis	340	HCA		plast.	porren, trillen	K250	33, 36 en 38, 40	< 1	50-60	geen	geen	geen	geen	geen	
3c Harlingen, steiger	360	HCB					50 t	1-5	25	veel	matig	geen	geen	matig	
4a Termunterzijl, keersluis	350	HCA		geen	trillen	K300	32, 37, 40	0-1	65-70	geen	weinig	geen	weinig	geen	een sekeur waargenomen
4b Reide, keersluis	325	HCA	0,5	geen	trillen	K300	45, 44, 35, 48	0-1	45 en 60	geen	weinig	geen	geen	geen	
5a Den Helder, kadeconstructie	400	HCA			trillen	28d 35	48-52	1	45-50	geen	weinig	geen	weinig	geen	
5b Den Helder, onderbouw brug	350	HCA			trillen					geen	geen	geen	geen	geen	
5c Den Helder, pieren	350	HCA	0,5	Darex	trillen					geen	weinig	geen	geen	geen	
5d Den Helder, steiger										veel	veel	geen	weinig	geen	scheuren tot 3 mm vjædte
5e Den Helder, aanleginrichting	340	HCB		geen	trillen					geen	geen	geen	geen	geen	
6a IJmuiden, N-sluis	285	PC		75 kg tras						matig	weinig	geen	matig	geen	plattselike corrosion vassjynlik
6b IJmuiden, spuisluis	350	HCA								geen	geen	geen	weinig	geen	door scheepsstoot
6c IJmuiden, gemaal	300	HCA								geen	geen	geen	geen	geen	met spuitbeton gerespareert en
6d IJmuiden, steiger										geen	geen	geen	geen	geen	palen ommanteld
6e IJmuiden, pierement	388	PC								geen	geen	geen	weinig	geen	plattselike verwing
6f IJmuiden, damwand en palen										geen	geen	geen	geen	geen	
6g IJmuiden, steiger		PC								weinig	weinig	geen	geen	geen	gerespareert na de oorlog
6h IJmuiden, kademur	340	PC								matig	geen	geen	weinig	geen	corrosion bij betondekkingen
6i IJmuiden, kadetek, kadewand	340	HCB								geen	geen	geen	weinig	geen	< 10 mm

rapport 100

**duurzaamheid
maritieme constructies**

CURVB

stichting voor onderzoek,
voorschriften en kwaliteitseisen
op het gebied van beton

CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON

HUIDIGE SITUATIE VOOR CEMENT

Table 1 — The 39 products in the family of common cements

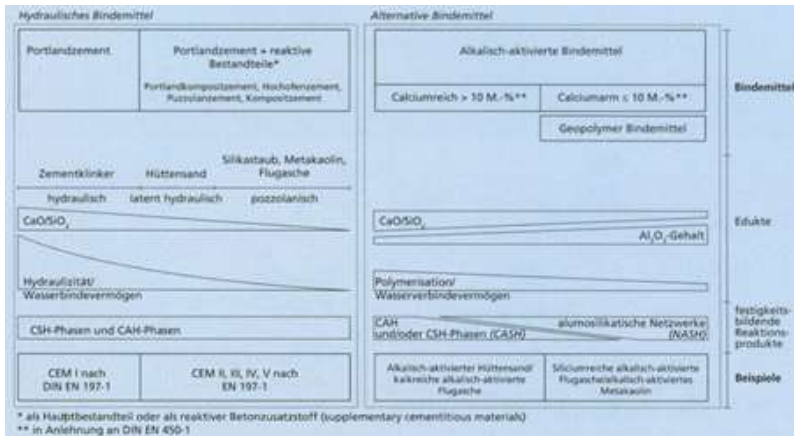
Main types	Notation of the 39 products (types of common cement)		Composition (percentage by mass ^a)											Minor additional constituents ^b
			Main constituents											
			Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone			
						natural	natural calcined	siliceous	calcareous					
	Type name	Type notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	Portland cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-slag cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM II		CEM II/B-S	65-78	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-silica fume cement	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-pozzolana cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-P	65-78	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-Q	65-78	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
	Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-V	65-78	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
		CEM II/B-W	65-78	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5	
	Portland-burnt shale cement	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5	
		CEM II/B-T	65-78	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5	
	Portland-limestone cement	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-L	65-78	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5

NEN-EN 197-1:2018 Ontw.

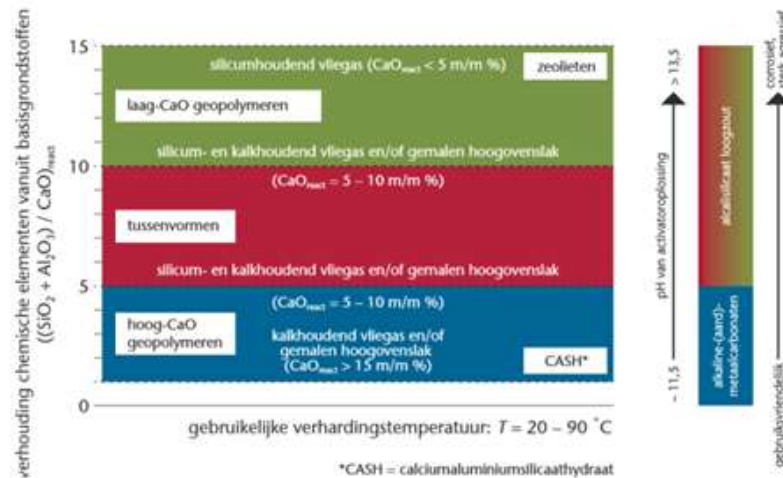
Main types	Notation of the 39 products (types of common cement)		Composition (percentage by mass ^a)											Minor additional constituents ^b
			Main constituents											
			Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolans		Fly ash		Burnt shale	Limestone			
						natural	natural calcined	siliceous	calcareous					
	Type name	Type notation	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL		
Portland composite cement ^c		CEM II/A-M	80-88	-	-	-	-	12-20					-	0-5
		CEM II/B-M	65-79	-	-	-	-	21-35					-	0-5
		CEM II/C-M (S-P)	50-64	16-44	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/C-M (S-V)	50-64	16-44	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM II/C-M (S-L)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/C-M (S-LL)	50-64	16-44	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/C-M (P-L)	50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/C-M (P-LL)	50-64	-	-	16-44	-	-	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/C-M (V-L)	50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	6-20	-	0-5	
		CEM II/C-M (V-LL)	50-64	-	-	-	-	16-44	-	-	6-20	-	0-5	
CEM III	Blast-furnace cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Pozzolanic Cement ^c	CEM IV/A	85-89	-	-	-	-	11-35			-	-	0-5	
		CEM IV/B	65-64	-	-	-	-	26-55			-	-	0-5	
CEM V	Slag-pozzolanic cement ^c	CEM V/A	40-64	18-30	-	-	-	18-30		-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-30	31-49	-	-	-	21-49		-	-	-	0-5	
CEM VI	Composite cement ^c	CEM VI (S-P)	35-49	21-59	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM VI (S-V)	35-49	21-59	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
		CEM VI (S-L)	35-49	21-59	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5	

CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON

HUIDIGE SITUATIE VOOR GEACTIVEERDE BINDMIDDELENEN



Hermann et al. 2015



Vermeulen & De Vries 2015

Cement type	Initial solid phase	Alkali content (calculated as R ₂ O), %	Hydration product
OPC	OPC clinker	< 0.6	0% 100%
Alkaline OPC	OPC clinker+ R ₂ O	1-5	$\text{R}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2^-$ $\text{RO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$
Blended alkaline OPC	OPC clinker+ additive (slag, ash, basalt, red mud) + Me ₂ O	2-5	
Alkali-activated slag cement	Metallurgical slag+ R ₂ O	4-8	
Alkali-activated ash cement	Ash - product of coal combustion	5-10	
Geocement	Clay+ R ₂ O	10-20	100% 0%

Krivenko 2017

Alkaline cement type		Designation	Content, % by mass				Alkali metal compounds (sodium or potassium)
			Granulated blast-furnace slag	OPC clinker	Fly ash	Basalt	
ACEM I	Slag alkaline cement	ACEM I	90-100	0-10	-	-	1.5-12
	Slag alkaline cement with additive of fly ash	ACEM I-3	55-90	0-10	10-35	-	1.5-12
ACEM II	Alkaline portland cement	ACEM II	-	100	-	-	1.5-12
ACEM III	Alkaline pozzolan cement	ACEM III-3	20-64	-	36-80	-	1.5-12
		ACEM III-B	-	-	-	36-80	1.5-12
ACEM IV	Alkaline slag portland cement	ACEM IV	36-89	11-64	-	-	1.5-12
ACEM V	Alkaline composite cement	ACEM V	30-50	5-10	40-65	-	1.5-12

Oekraïense norm DSTU B V.2.7-181:2009

› **CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON**

UITGANGSPUNTEN VOORSTEL

- › Classificatie aansluitend bij systematiek NEN-EN 197-1
- › I.p.v. CEM (cement) voorafgaand door AB (activated binder)
- › Net als in NEN-EN 197-1 klassen op basis van hoeveelheid Al-Si grondstoffen
 - › Hoogovenslak, vliegas, gecalcineerd natuurlijk puzzolaan, etc.
- › Toevoeging voor type activator
 - › Zonder dosering op te geven

Voorbeeld: AB SV/B-Na_w

› CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON

VOORSTEL CLASSIFICATIE COMPONENTEN

	Type		Hoogoven- slak	Natuurlijk puzzolaan		Vliegas		Gerecycl- eerde fijne fractie	Kalksteen- meel	Ondergeschikte aanvullende componenten
						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	35-65			35-65				0-5
		AB-SV/C	65-80			20-35				0-5
		AB-SV/D	80-100			0-20				0-5
	Slak-gerecycleerde fijne fractie	AB-SF/A	80-100					0-20		0-5
	Gecalcineerde klei	AB-Q/D			95-100					0-5
	Eventueel toe te voegen klassen (zie tekst)									

› CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON

VOORSTEL CLASSIFICATIE ACTIVATOREN

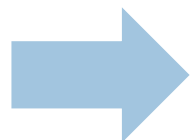
Activator	Type			
Basis	Loog	Waterglas	Carbonaat	Sulfaat
Na	Na _L	Na _W	Na _C	Na _S
K	K _L	K _W		
Ca				Ca _S
M (gemengd)	Combinatie van relevante aanduidingen			

› **CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON**

KANTTEKENINGEN

- › De classificatie is beperkt tot de verwachte samenstellingen
 - › Bij samenstelling op basis van andere componenten > 5 % dient de pilot eigenaar deze op te geven opdat de classificatie kan worden uitgebreid.
- › Grenzen noch door ervaring noch door onderzoek onderbouwd
 - › Pragmatische keuze op basis van de NEN-EN 197
- › Geen beeld welke doseringen van activatoren marktpartijen hanteren, noch wat op grond van prestatie relevante grenswaarden zouden zijn.
 - › Daarom geen aanvullende indeling op basis van doseringen
 - › Overwogen kan worden de silica modulus van de activator te laten specificeren
- › Geen aparte klassen voor hybride bindmiddelen
 - › Aanduiden als mengsel voor traditioneel beton (b.v. CEM I + CEM III/B): bij voorbeeld CEM I + AB-SV/B-Na_L

› CLASSIFICATIE GEOPOLYMEERBETON TOT BESLUIT



De classificatie is nadrukkelijk alleen bedoeld voor gebruik binnen de **Proeftuin** en niet als voorzet voor een richtlijn, aanbeveling of norm.

De classificatie zal wel worden vermeld in het (openbare) rapport



› **AAN DE SLAG!**

VERVOLG ACTIVITEITEN

vrijdag 26 mei 2023

› **BIJ INDIENEN PROJECTVOORSTEL VOOR 16 JUNI A.S.**

- › Aanmelden bij BouwCirculair –> reguliere proeftuin
én
- › Aanvullend bij interesse in Monitoringsprogramma:
 - › Beschrijving project (tekening, waar GPB, wanneer ontwerp & uitvoering, welke partijen)
 - › Akkoord met concept SOK en daarmee dus ook:
 - GPB klasse indeling
 - Vooraf opstellen inspectie- en monitoringsplan
 - Opofferingselementen
 - Eventueel proefbelasten
 - Testen, bereikbaarheid en toegankelijkheid komende vijf jaar

› VERVOLG

- › Vandaag 26 mei: inhoudelijke bijeenkomst
- › Vóór 16 juni: indienen projectvoorstel bij TNO (joop.bovendeerd@TNO.nl)/BouwCirculair
- › 27/28 juni ruimte voor vragen...
- › Vóór 8 juli: eerste selectie GPB-projecten voor Monitoringsprogramma
- › Na 8 juli per geselecteerd project:
 - › Samenwerkingsovereenkomst afsluiten
 - › Inspectie- en monitoringsplan opstellen
- › Start inspectie- en monitoring per deelnemend project vanaf tweede helft 2023



› **BEDANKT VOOR UW AANDACHT**

VRAGEN?

**MEER INFORMATIE:
JOOP.BOVENDEERDT@TNO.NL**

TNO innovation
for life