

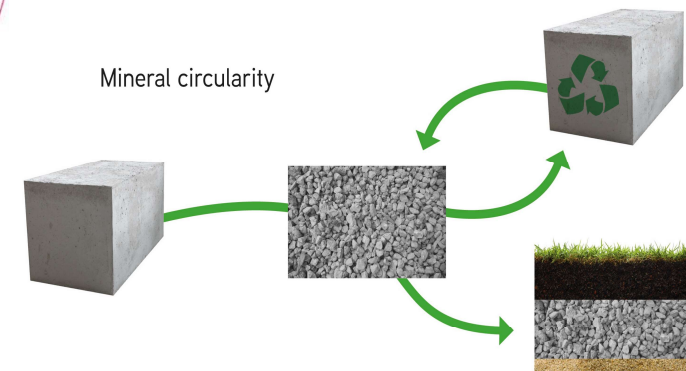
Recycling/ hergebruik en 2e leven van geopolymeer beton in vergelijking met Portland cement beton

- Sustaining a concrete future -

bouw  **circularair**
BEWEGING IN KETENS

Dr. Arno Keulen

- Project manager R&D: SQAPE Technology en Mineralz.
- Gastonderzoeker: Technische Universiteit Eindhoven, faculteit bouwkunde.



Proeftuin geopolymeren, 15 mei 2018, Tilburg.



Inhoud

- ❖ Introductie geopolymeer beton productie
- ❖ Onderzoek en randvoorwaarden
- ❖ Geopolymeer en cement beton granulaat eigenschappen en inzet
- ❖ Uitloging geopolymeer beton en granulaat
- ❖ Vergelijk uitloging geopolymeer en cement systemen
- ❖ Conclusies

Geopolymeer beton productieproces/ samenstelling





Onderzoek partners

Partner

Functie



Technische Universiteit Eindhoven

TU/e

Wetenschappelijk en onafhankelijk onderzoek.



Energie Centrum Nederland

 **ECN**
Your energy. Our passion.

Modellering en verklaring uitloogonderzoek.



SGS



Verificatie van onderzoeksgegevens.



...

Productie geopolymeer en Portland cement bestratingsproducten

- ❖ Bestratingselementen (grastegels) zijn geproduceerd middels gestandaardiseerd/ industrieel productieproces met twee bindmiddel systemen:
 - ❖ Geopolymeer bindmiddel (GP).
 - ❖ Portland CEM II 42.5. (CEM).
- ❖ In de tijd (ouderdom van beton) beide systemen vertonen sterk overeenkomstige (technische) producteigenschappen m.b.t.:
 - ❖ Beton kleur.
 - ❖ Beton stroefheid.
 - ❖ Buigtrek- en splijtsterkte.
 - ❖ Water adsorptie.
 - ❖ Vorst dooizout bestandheid.



Fig: beton grastegels



Randvoorwaarden beton producten

- ❖ Beton elementen (grastegels) zijn na 3 maanden ouderdom gerecycled tot granulaat (conventionele breekinstallatie).
- ❖ Afgezeefde GP en CEM granulaat fracties (4-16 mm) zijn toegepast als vervanging voor primair grind (4-16 mm) voor de productie van nieuwe betonmengsels (laboratorium proeven).
- ❖ De laboratorium mengsels zijn geproduceerd met twee bindmiddel systemen:
 - ❖ Geopolymeer bindmiddel.
 - ❖ Portland CEM I 52.5 R. (hoogste kwaliteit cement als referentie).
- ❖ Betonsterkte proeven zijn uitgevoerd conform de geldende normen/ standaards.
- ❖ Uitloogproeven beton en granulaat zijn uitgevoerd conform het Nederlandse Besluit Bodem Kwaliteit (BBK)



Materiaaleigenschappen GP en CEM granulaat vanuit gerecyclede beton bestratingselementen

(2^e leven)

GP en CEM granulaat eigenschappen (2^e levensfase)

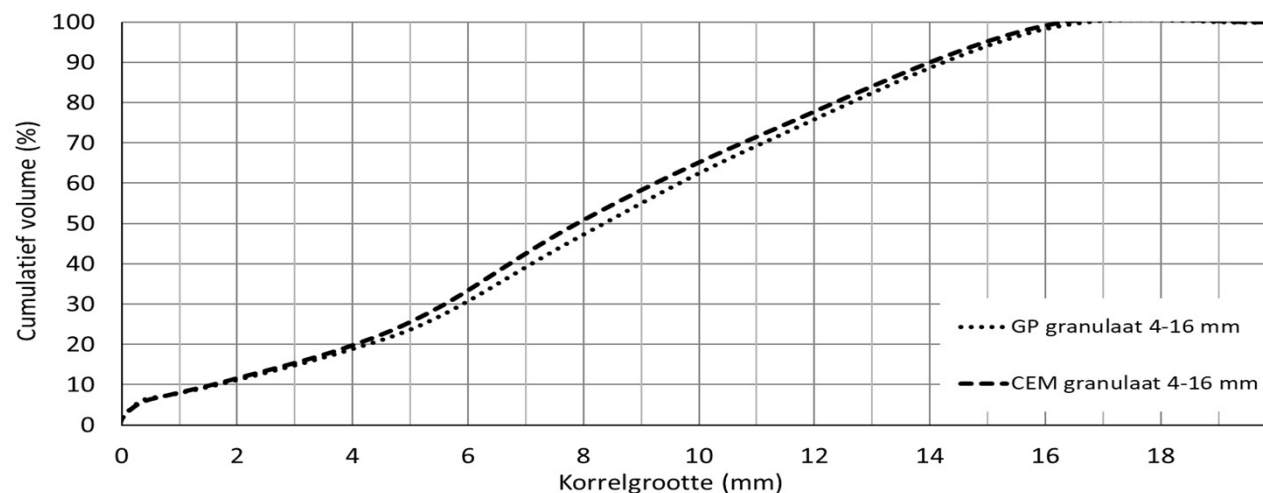


Fig: korrelverdeling van toeslagstoffen

Tabel: granulaat eigenschappen

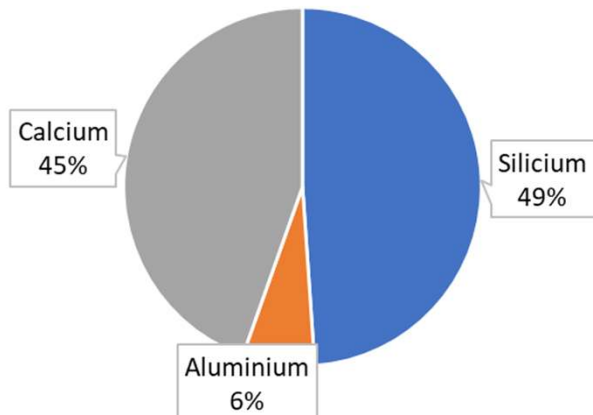
Materiaal	Dichtheid (kg/m ³)	Water absorptie (wt. %)	LA index (hardheid)
Grind (ref) 4-16 mm	2590	1.8	21
GP granulaat 4-16 mm	2406	6.88	47
CEM granulaat 4-16 mm	2415	6.94	51



Fig: geopolymeer granulaat

Chemische samenstelling GP en CEM granulaat

Geopolymeer beton - macro samenstelling



Portland cement beton - macro samenstelling

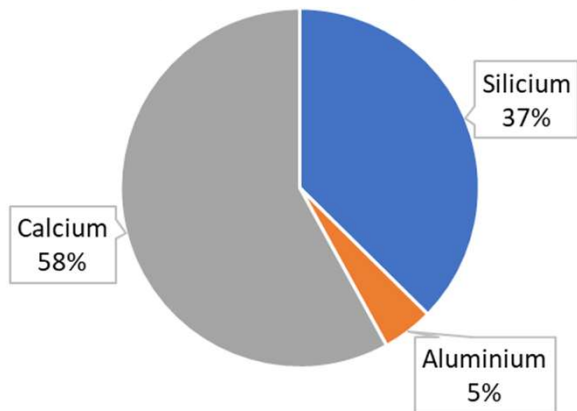


Fig: geopolymeer granulaat

Beide systemen komen sterk overeen in samenstelling.

Verschillen worden verklaart door de binder samenstelling.

Uitloging initieel granulaat na breken grastegels (2^e levensfase)

Materiaal		GP granulaat GP	CEM granulaat CEM II 42.5	BBK (bouwstof kwaliteit)
Methode		Kolomtest	Kolomtest	
L/S		10	10	
pH end		11.66	12.42	
EC end		2220	4340	
antimoon	mg/kgds	<0.039	<0.039	0.32
arseen	mg/kgds	<0.1	<0.1	0.9
barium	mg/kgds	<0.1	4.1	22
cadmium	mg/kgds	<0.01	<0.01	0.04
kobalt	mg/kgds	<0.1	<0.1	0.63
chromium	mg/kgds	<0.1	<0.1	0.54
koper	mg/kgds	0.13	<0.1	0.9
kwik	mg/kgds	<0.005	<0.005	0.02
lood	mg/kgds	<0.1	<0.1	2.3
molybdeen	mg/kgds	0.37	<0.1	1
nikkel	mg/kgds	<0.1	<0.1	0.44
seleen	mg/kgds	0.13	<0.039	0.15
tin	mg/kgds	<0.1	<0.1	0.4
vanadium	mg/kgds	0.74	<0.1	1.8
zink	mg/kgds	<0.2	<0.2	4.5
bromide	mg/kgds	<2	<2	20
chloride	mg/kgds	33	67	616
fluoride	mg/kgds	13	<2	55
sulfaat	mg/kgds	540	31	2430



Fig: granulaat productie.

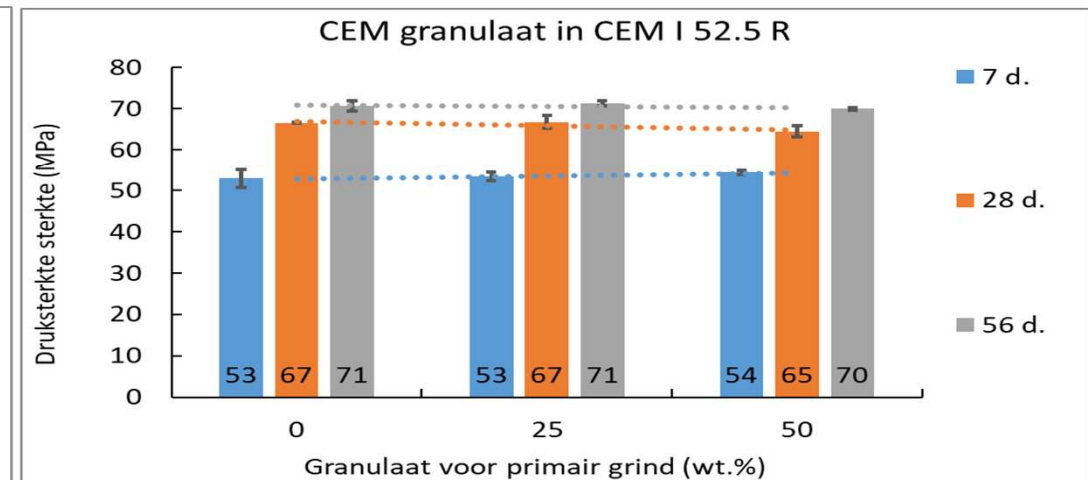
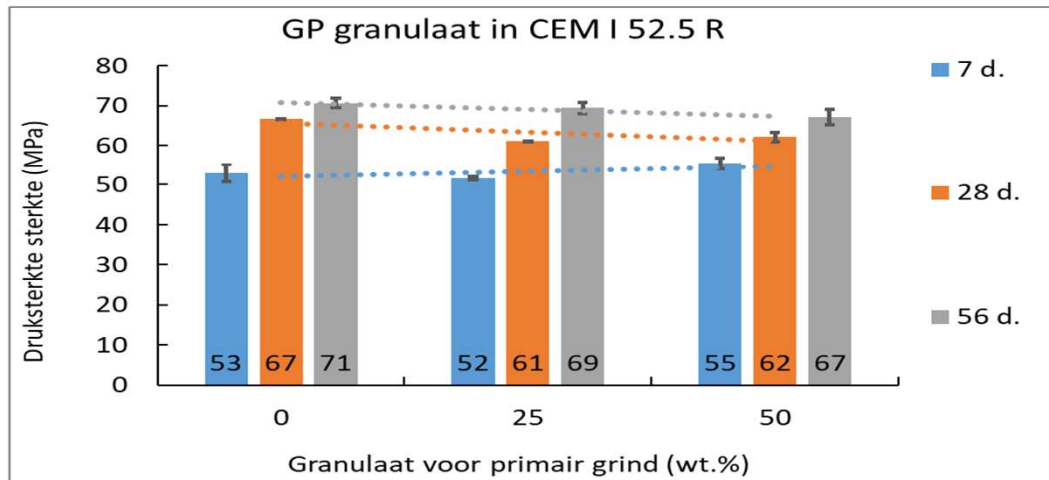
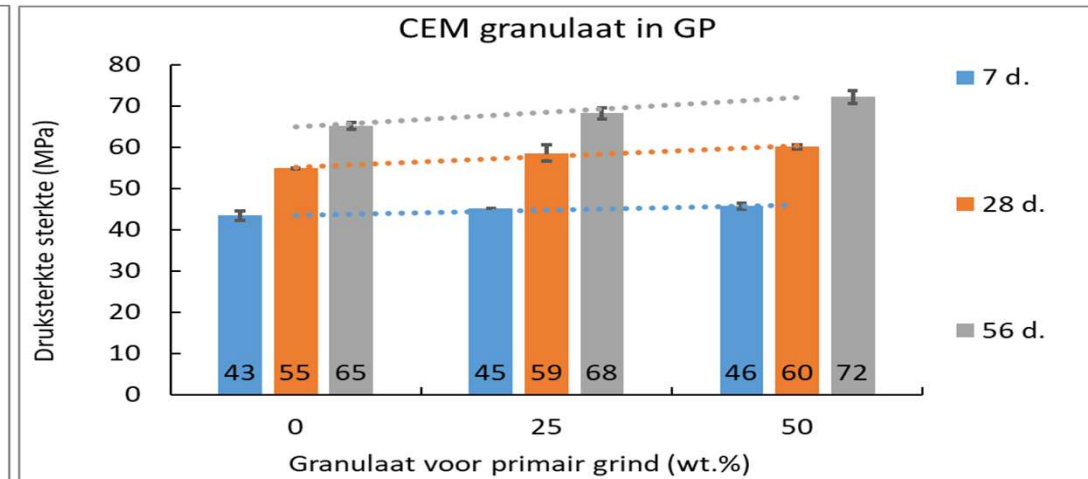
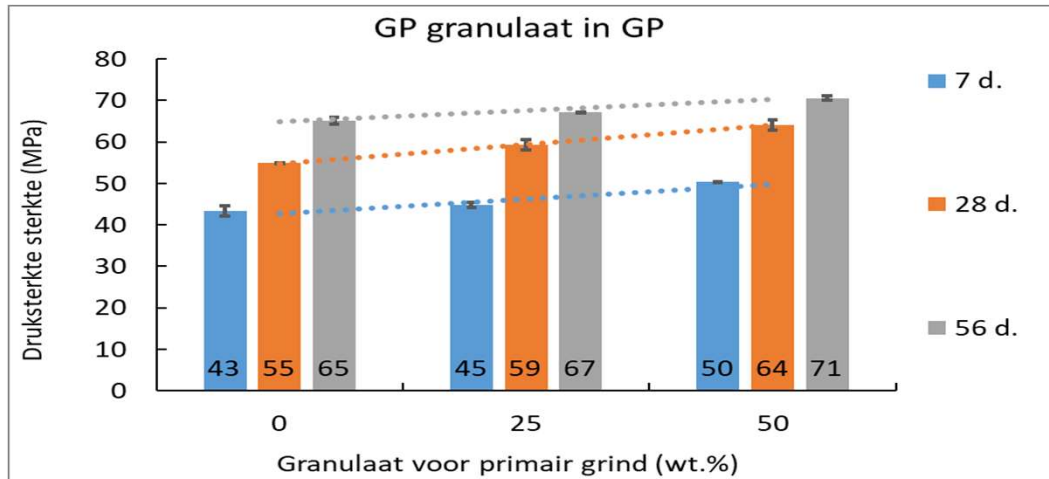
[Uitloging \(GP en CEM granulaat\) voldoen aan de eisen van het BBK, voor een vrij toepasbare granulaire bouwstof.](#)

Uitloging gemeten met de kolomtest (NEN-EN 7383).

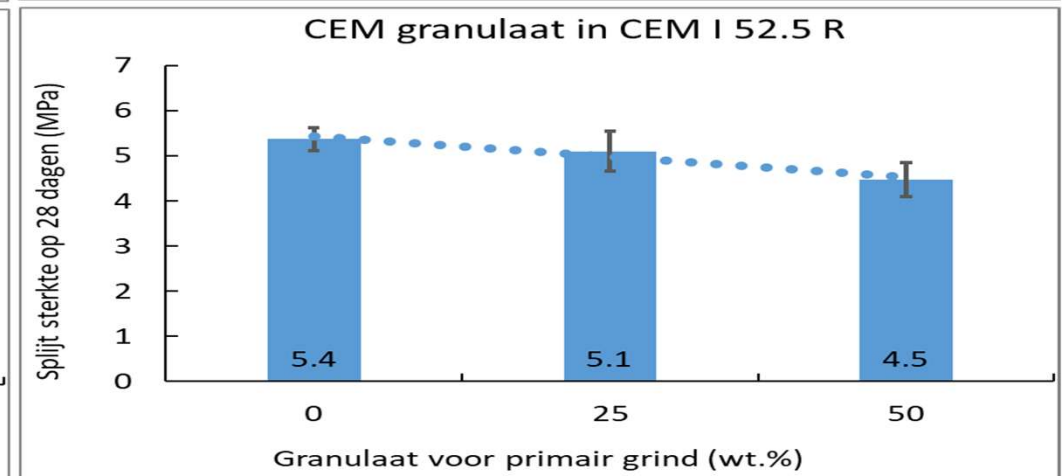
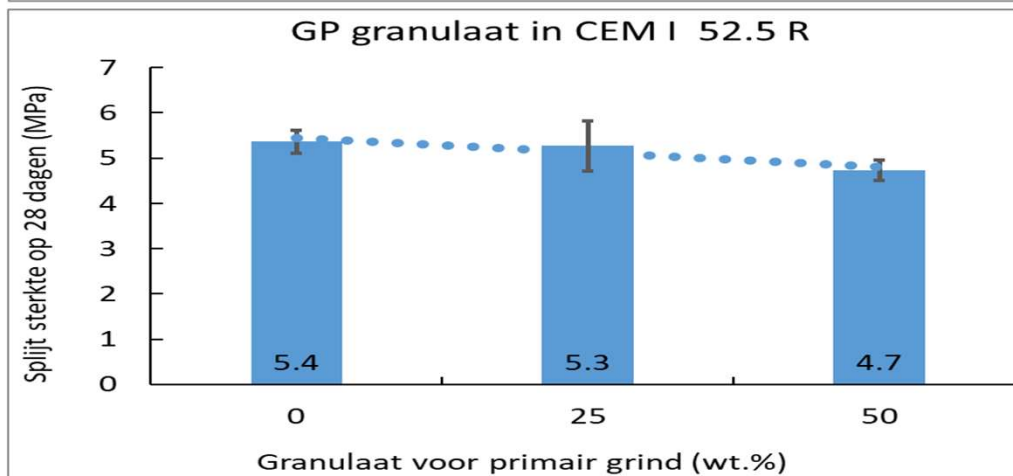
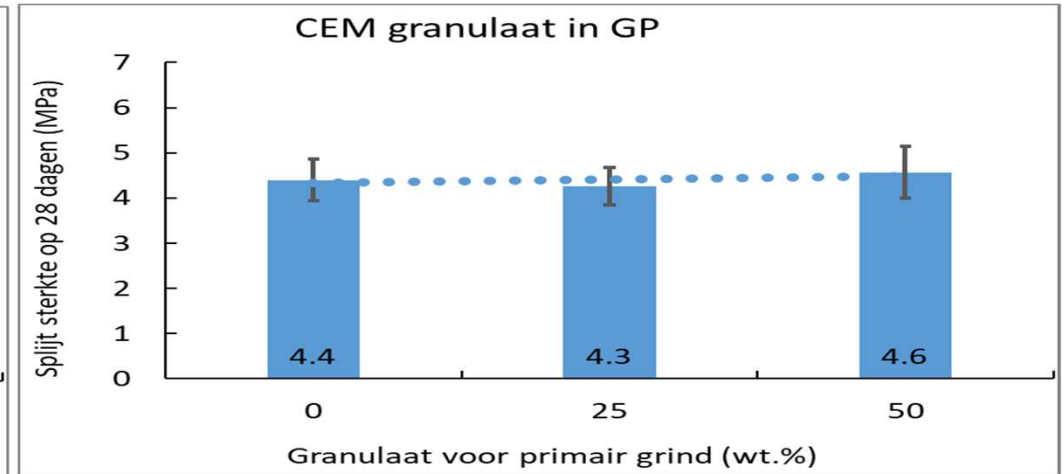
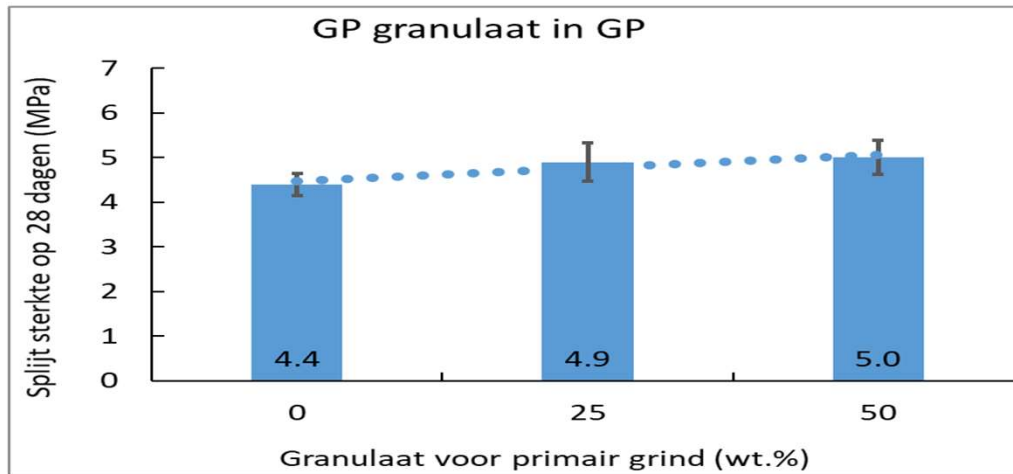


**Betonsterkte met
gerecycled (2^e leven) GP en CEM granulaat.**

Druksterkte beton



Splijtsterkte beton





Uitloging GP en CEM beton met 2^e leven granulaat

Uitloging beton (vormgegeven bouwstof) met granulaat vanuit 2^e levensfase.

Samenstelling	100% grind in GP beton	100% GP granulaat in GP beton	100% grind in CEM beton	100% GP granulaat in CEM beton	Grenswaarden BBK (V) bouwstof kwaliteit
pH eind	9.8	10.1	11.2	11.4	
Antimoon	0.3	0.3	0.3	0.3	8.7
Arseen	1.3	1.3	1.4	1.3	260
Barium	7	7	9	34	1,500
Cadmium	0.1	0.1	0.1	0.1	3.8
Chroom	0.7	0.7	1.1	2.2	120
Kobalt	2.0	2.0	2.0	2.0	60
Koper	1.3	1.3	1.3	1.3	98
Kwik	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
Lood	3.3	3.3	3.3	3.3	400
Molybdeen	1.1	1.1	0.7	0.7	144
Nikkel	3.3	3.3	3.3	3.3	81
Seleen	0.6	2.0	0.5	0.5	4.8
Tin	2.0	2.0	2.0	2.0	50
Vanadium	3.5	3.4	2.8	3.2	320
Zink	3.3	3.3	3.3	3.3	800
Fluoride	78	105	302	65	2,500
Chloride	74	106	716	159	110,000
Sulfaat	1200	1012	13	1080	165,000
Bromide	13	13	49	13	670



Fig: beton bouwmaterialen

De uitloging (GP en CEM beton) voldoen aan de eisen van het BBK, voor een vrij toepasbare vormgegeven bouwstof.

Uitloging (mg/m² - 64 dagen) gemeten met diffusie test (NEN 7375) op beton na 28 dagen uitharden.



Uitloging GP en CEM granulaat (3^e levensfase)

Uitloging geopolymeer granulaat (3^e levensfase)

Samenstelling		100% grind in GP	50% GP granulaat in GP	100% GP granulaat in GP	BBK bouwstof kwaliteit (granulair)
pH eind	-	11.7	11.66	10.86	
antimoon	mg/kgds	<0.009	<0.009	<0.009	0.32
arsen	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	0.9
barium	mg/kgds	<0.6	<0.6	<0.6	22
cadmium	mg/kgds	<0.007	<0.007	<0.007	0.04
kobalt	mg/kgds	<0.07	<0.07	<0.07	0.63
chroom	mg/kgds	<0.1	<0.1	<0.1	0.54
koper	mg/kgds	<0.1	<0.1	<0.1	0.9
kwik	mg/kgds	<0.005	<0.005	<0.005	0.02
lood	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	2.3
molybdeen	mg/kgds	0.42	0.48	0.49	1
nikkel	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	0.44
seleen	mg/kgds	0.10	0.11	0.14	0.15
tin	mg/kgds	<0.02	<0.02	<0.02	0.4
vanadium	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	1.8
zink	mg/kgds	<0.7	<0.7	<0.7	4.5
bromide	mg/kgds	<0.8	<0.8	<0.8	20
chloride	mg/kgds	<100	<100	<100	616
fluoride	mg/kgds	6.5	7	9.5	55
sulfaat	mg/kgds	<300	406	447	2430



Fig: beton granulaat

De uitloging (GP granulaat) voldoet aan de eisen van het BBK, voor een vrij toepasbare granulaire bouwstof.

Uitloging gemeten met de kolomtest (NEN-EN 7383).

Uitloging cement granulaat (3^e levensfase)

Samenstelling		100% grind in CEM	50% GP granulaat in CEM	100% GP granulaat in CEM	BBK bouwstof kwaliteit (granulair)
pH eind	-	12.56	12.54	12.59	
antimoon	mg/kgds	<0.009	<0.009	<0.009	0.32
arsen	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	0.9
barium	mg/kgds	6.72	12.6	12.8	22
cadmium	mg/kgds	<0.007	<0.007	<0.007	0.04
kobalt	mg/kgds	<0.07	<0.07	<0.07	0.63
chromium	mg/kgds	0.122	0.221	0.204	0.54
koper	mg/kgds	<0.1	<0.1	<0.1	0.9
kwik	mg/kgds	<0.005	<0.005	<0.005	0.02
lood	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	2.3
molybdeen	mg/kgds	<0.05	<0.05	<0.05	1
nikkel	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	0.44
seleen	mg/kgds	<0.009	0.011	0.011	0.15
tin	mg/kgds	<0.02	<0.02	<0.02	0.4
vanadium	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	1.8
zink	mg/kgds	<0.7	<0.7	<0.7	4.5
bromide	mg/kgds	<0.8	<0.8	<0.8	20
chloride	mg/kgds	<100	<100	<100	616
fluoride	mg/kgds	1.8	1.8	1.3	55
sulfaat	mg/kgds	<300	<300	<300	2430



Fig: beton granulaat

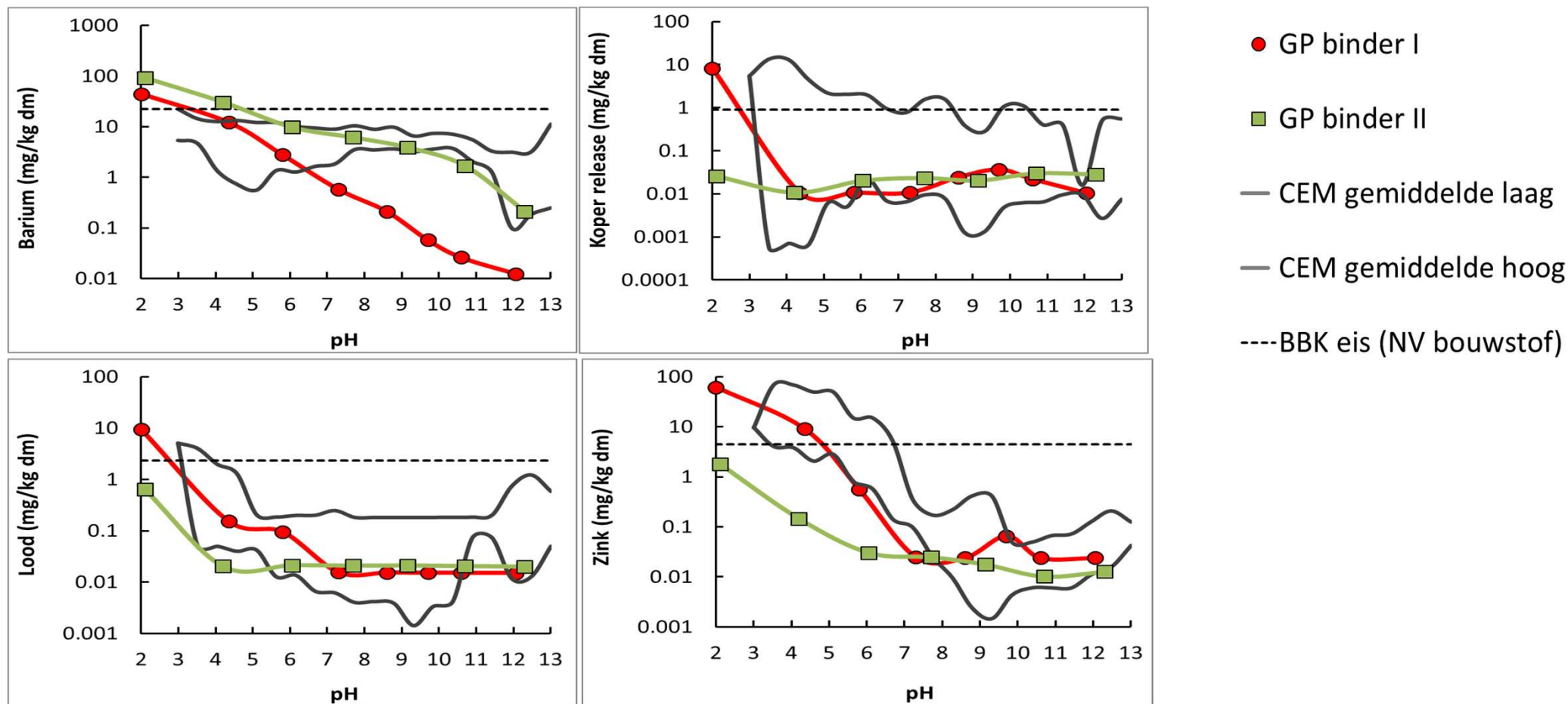
De uitloging (CEM granulaat) voldoet aan de eisen van het BBK, voor een vrij toepasbare granulaire bouwstof.

Uitloging gemeten met de kolomtest (NEN-EN 7383).



Uitlogingsgedrag GP en CEM granulaat

Vergelijk uitloging GP en CEM granulaat (zware metalen)



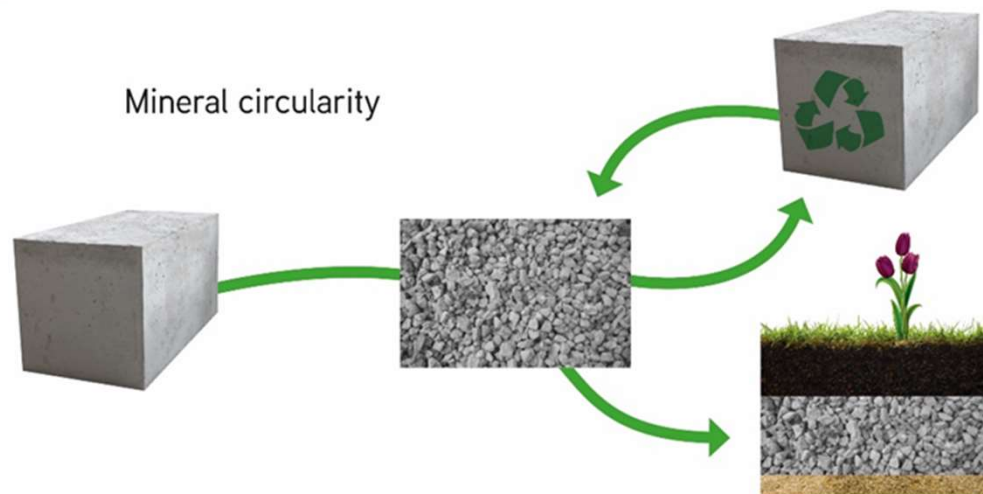
CEM waarden vanuit verschillende wetenschappelijk onderzoeken, gemiddelde van verschillende Portland cementen (CEM II, CEM III, CEM V)



Conclusies

- ❖ Milieu hygiënisch als materiaal technisch, heeft geopolymeer beton en na recycling tot granulaat geen negatieve effect op de kwaliteit van regulier beton als op het milieu.
 - ❖ Cement- dan wel geopolymeer beton granulaat van (2^e en 3^e levensfase) kan gezamenlijk worden toegepast als granulaat voor beton, zonder vervuiling van de keten.
 - ❖ Geopolymeer beton is circulair.
- 

Dank voor uw aandacht, vragen!



Email: a.keulen@SQAPE.nl
arno.keulen@mineralz.com

Mobiel: 06 13209271