



BUILDING MATERIALS

**MILIEUHYGIENISCHE EN MATERIAALTECHNISCHE
KWALITEIT BIJ MEERVOUDIG HERGEBRUIK VAN
GEOPOLYMEERBETON VERVAARDIGD MET SQAPE
ALKALISCH GEACTIVEERD BINDMIDDEL IN
VERGELIJK MET PORTLANDCEMENTBETON**

Status **eindrapport**
Datum **20-02-2018**
Rapportnr. **A896780/R20180056a**

SGS INTRON

COLOFON

Opdrachtgever / Customer	SQAPE B.V. t.a.v. de heer A. Keulen Postbus 5061 5800 GB VENRAY	E-mail:	a.keulen@SQAPE.nl
Titel rapport / Titel report	Milieuhygiënische en materiaaltechnische kwaliteit bij meervoudig hergebruik van geopolymerbeton vervaardigd met SQAPE alkalisch geactiveerd bindmiddel in vergelijking met Portlandcementbeton		
Offerte / Quotation	A896780/BO20170867/GWe/MKi	Datum / Date	29-11-2017
Opdracht / Purchase order	Email opdrachtbevestiging	Datum / Date	07-02-2018
Opdrachtnemer / Contractor	SGS INTRON B.V. Postbus 5187 6130 PD SITTARD	Kantoor / Office	Dr. Nolenslaan 126 6136 GV SITTARD
Contactpersoon / Contactperson	dr. ir. G.J.L. van der Wegen	Tel.:	+31 46 4204204
		Mob.:	+31 653731832
		E-mail:	gert.vanderwegen@sgs.com
Auteur / Author	dr. ir. G.J.L. van der Wegen	Autorisatie / Authorisation	dr. U. Hofstra
Handtekening / Signature		Handtekening / Signature	
Datum / Date	Rapportnr. / Reportnr.	Reden revisie / Reason revision	
08-02-2018	A896780/R20180056	Verwerken commentaar SQAPE	
20-02-2018	A896780/R20180056a/ILa		

Disclaimer

Tenzij anders overeengekomen worden de opdrachten uitgevoerd op basis van de meest recente versie van de algemene voorwaarden van SGS INTRON B.V. Op eenvoudig verzoek worden deze voorwaarden opnieuw aan u toegezonden. Uw aandacht wordt gevraagd voor de beperking van aansprakelijkheid en de vergoedings- en bevoegdheidskwesties bepaald door deze voorwaarden.

Elke houder van dit document dient te weten dat de informatie vevat in dit document uitsluitend is gebaseerd op de bevindingen van SGS INTRON B.V. op het ogenblik van haar tussenkomst en binnen de grenzen van de eventuele instructies van de opdrachtgever. SGS INTRON B.V. kan enkel aansprakelijk zijn jegens haar opdrachtgever. Dit document stelt de bij een handelstransactie betrokken partijen niet vrij van hun plicht al hun rechten en verplichtingen uit te oefenen voortvloeiend uit de bij die transactie betrokken documenten. Elke niet toegestane wijziging, evenals de namaak of vervalsing van de inhoud of het uiterlijk van dit document, is onrechtmatig en overtreders zullen worden vervolgd.

© SGS INTRON BV

INHOUDSOPGAVE

	Pagina
SAMENVATTING.....	4
1. INLEIDING	5
2. OPZET VAN HET SQAPE ONDERZOEK.....	5
2.1. Doel	5
2.2. Onderzoeksaspecten.....	5
2.3. Uitvoeringswijze.....	6
2.4. Onderzoek	6
3. VERKREGEN RESULTATEN	9
3.1. Eigenschappen granulaat.....	9
3.2. Invloed vervanging grind door grof granulaat op sterkte-eigenschappen	10
3.3. Invloed vervanging zand door fijn granulaat op druksterkte.....	13
3.4. Uitloging.....	13
4. CONCLUSIES.....	17

SAMENVATTING

Inleiding

SQAPE technology is een Nederlandse kennisorganisatie die beschikt over een gepatenteerde geopolymeer technologie waarmee een duurzaam bouw materiaal kan worden geproduceerd met een hoge mate van bestendigheid en een lage CO₂ footprint.

Beton wordt aan het einde van de eerste levensfase meestal gebroken tot betongranulaat, dat onder andere als toeslagmateriaal in nieuw beton kan worden toegepast. SQAPE heeft uitgebreid onderzoek uitgevoerd c.q. laten uitvoeren naar de milieuhygiënische en materiaaltechnische consequenties van hergebruik van granulaat afkomstig van zowel geopolymeerbeton (AAM-granulaat) als Portlandcementbeton (CEM-granulaat) in zowel ongebonden toepassingen als in nieuw geopolymer- en Portlandcementbeton.

Doel

Het doel van het SQAPE onderzoek is het in beeld brengen van de milieuhygiënische en materiaaltechnische kwaliteit bij meervoudig hergebruik van AAM- en CEM-granulaten. Hierdoor ontstaat er ook inzicht in het tweede leven van geopolymeerbeton en de mate waarin deze materialen circulair zijn.

Uitgevoerde werkzaamheden

SQAPE heeft resultaten van door haar en derden uitgevoerd onderzoek aan SGS INTRON aangeleverd. Deze resultaten zijn door SGS INTRON geëvalueerd, op basis waarvan conclusies zijn getrokken betreffende bovenomschreven doelstelling.

Conclusies

Op basis van de verkregen resultaten, zowel milieuhygiënisch als materiaaltechnisch, zal geopolymeerbeton na recycling wat betreft de onderzochte aspecten geen aanleiding geven tot negatieve effecten op de kwaliteit van regulier beton. Granulaat verkregen na breken van

cementbeton dan wel geopolymeerbeton kan gezamenlijk worden toegepast, zonder dat er sprake zal zijn van vervuiling van de keten. Geopolymeerbeton geproduceerd met de SQAPE technologie kan op grond hiervan worden getypeerd als circulair.

1. INLEIDING

SQAPE technology is een Nederlandse kennisorganisatie die beschikt over een gepatenteerde geopolymer technologie waarmee een duurzaam bouw materiaal kan worden geproduceerd met een hoge mate van bestendigheid en een lage CO₂ footprint. Met haar geopolymer oplossing zet SQAPE technology zich binnen de betonsector in om de impact op het milieu en de omgeving te reduceren en een meer verantwoordelijk en efficiënt gebruik van de natuurlijke hulpbronnen te realiseren.

Met deze technologie worden geopolymeren gemaakt. De door SQAPE ontwikkelde, samengestelde hoogwaardige bindmiddelen GP MIII en GP MIV worden in combinatie met alkaliën toegepast voor de productie van geopolymer bouwmaterialen.

Beton wordt aan het einde van de eerste levensfase meestal gebroken tot betongranulaat, dat onder andere als toeslagmateriaal in nieuw beton kan worden toegepast. SQAPE heeft uitgebreid onderzoek uitgevoerd c.q. laten uitvoeren naar de milieuhygiënische en materiaaltechnische consequenties van hergebruik van granulaat afkomstig van zowel geopolymerbeton (vervaardigd met SQAPE technologie) als Portlandcementbeton in zowel ongebonden toepassingen als in nieuw geopolymer- en Portlandcementbeton.

Aan SGS INTRON is opdracht verleend om aan de hand van door SQAPE uitgevoerd en beschikbaar gestelde onderzoeksresultaten, de milieuhygiënische en materiaaltechnische kwaliteit bij meervoudig hergebruik van geopolymerbeton vervaardigd met SQAPE alkalisch geactiveerd bindmiddel in vergelijking met Portlandcementbeton aan te geven.

In dit rapport zal geopolymer materiaal dat is samengesteld op basis van SQAPE technologie verder aangeduid worden als AAM ('alkali activated material'). Beton dat is vervaardigd met Portlandcement als bindmiddel wordt in dit rapport aangeduid als CEM.

2. OPZET VAN HET SQAPE ONDERZOEK

2.1. Doel

Het doel van het SQAPE onderzoek is het in beeld brengen van de milieuhygiënische en materiaaltechnische kwaliteit bij meervoudig hergebruik van AAM- en CEM-granulaten. Door inzicht te krijgen in het meervoudig hergebruik van het granulaat, ontstaat er ook inzicht in het tweede leven van geopolymerbeton en de mate waarin deze materialen circulair zijn.

2.2. Onderzoeksaspecten

Door of in opdracht van SQAPE zijn de volgende onderzoeken uitgevoerd:

- Relevante eigenschappen AAM- en CEM-granulaat in 2^e levensfase.
- Invloed vervangingspercentage primair zand en grind door AAM- en CEM-granulaat op sterkte-eigenschappen beton (2^e levensfase).

- Uitloging van AAM- en CEM-granulaat in 2^e levensfase, zowel ongebonden (niet-vormgegeven; kolomproef) als monolithisch toegepast in beton (vormgegeven; diffusieproef), en ongebonden in 3^e levensfase.

De resultaten van deze onderzoeken, zoals beschikbaar gesteld door SQAPE, en de evaluatie ervan zijn weergegeven in dit rapport.

2.3. Uitvoeringswijze

Met een reguliere productiemachine zijn grastegels vervaardigd met zowel cement (CEM II/B-M 42,5) als alkalisch geactiveerd bindmiddel (SQAPE GP MIV). Als toeslagmateriaal is rivierzand 0-2 mm en kalksteen 2-8 mm toegepast. Het gehalte aan bindmiddel en aan fracties toeslagmateriaal zijn in beide betonmengsels gelijk. Beide betonproducten hebben overeenkomstige eigenschappen wat betreft sterkte-ontwikkeling, wateropname, vorstdooizoutbestandheid, e.d.

De betonnen grastegels zijn op een ouderdom van 3 maanden machinaal gebroken met een standaard puin/beton breekinstallatie (2R recycling). De breker is vooraf schoon gedraaid om vervuiling met ander puin te voorkomen. Per type beton (CEM en AAM) zijn er drie pakketten gebroken (totaal 4 m³ beton per type). Bij het breken van pakket 1 is er niet bemonsterd. Deze sessie had als doel de breker van binnen te coaten met het specifieke type beton. Bemonstering van het granulaat is gedaan tijdens de verwerking van de pakketten 2 en 3.

Het verkregen AAM- en CEM-granulaat is opgeslagen in big bags. Op het laboratorium zijn beide monsters granulaat droog gezeefd en op korrelgrootte samengesteld tot een overeenkomstige fractie riviergrind 4-16 mm (referentie materiaal). De fractie 0-4 mm van beide granulaten is niet op een specifieke korrelopbouw samengesteld. De korrelverdeling zoals verkregen na het breken is als zodanig in het onderzoek toegepast.

Voor de productie van grastegels worden beide bovengenoemde bindmiddelen en toeslagmaterialen, evenals hun doseringen daadwerkelijk in de Nederlandse praktijk toegepast.

De keuze van de cementsoort (CEM I) en het cementgehalte (350 kg/m³) is gebaseerd op de gangbare praktijk in de EU en dus een representatief beeld oplevert.

2.4. Onderzoek

2.4.1. Eigenschappen granulaat

Het vervaardigde AAM- en CEM-granulaat is gekarakteriseerd op de volgende eigenschappen:

- Deeltjesdichtheid en waterabsorptie conform NEN-EN 1097-6, zowel fijne als grove fractie.
- Korrelverdeling conform NEN-EN 933-1, enkel de grove fractie.
- Weerstand tegen verbrijzeling (LA-index) conform NEN-EN 1097-2, enkel grove fractie.
- Chemische samenstelling (XRF-analyse gemalen monster), enkel fijne fractie.

2.4.2. Invloed vervanging grind door grof granulaat op sterkte-eigenschappen

Met een laboratoriummenger (dwangmenger) zijn betonmengsels van 30 liter vervaardigd met zowel cement (CEM I 52,5 R) als alkalisch geactiveerd bindmiddel (SQAPE GP MIV), waarbij 0, 25 en 50 % van het grind is vervangen door AAM-granulaat 4-16 mm en CEM-granulaat 4-16 mm. Als fijn toeslagmateriaal is in alle mengsels rivierzand 0-4 mm toegepast.

Als uitgangspunt is gehanteerd dat de betonmengsels een vergelijkbare verwerkbaarheid bezitten. Daarvoor is een kleine variatie in water/bindmiddel verhouding opgetreden. De mengsels met CEM I hebben een iets hogere waterbehoefte dan de mengsels met SQAPE GP MIV als bindmiddel.

De betonsamenstellingen van de onderzochte 4 combinaties zijn in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1. Samenstelling onderzochte betonmengsels

Mengsel	Bindmiddel	Bindmiddel	Primair zand	Primair grind	AAM granu.	CEM granu.	Totaal vloeistof	W/B ratio	Dichtheid	Verdichtingsmaat
Granulaat en binder type	Type	kg/m ³	Vol. perc	Vol. perc	Vol. perc	Vol. perc	L/m ³		berekend	verse mortel
AAM granu. in AAM										
0	GP MIV	350	47	53,00	0,00		147,5	0,42	2378	1,33
25	GP MIV	350	47	39,75	13,25		150	0,43	2364	1,30
50	GP MIV	350	47	26,50	26,50		151	0,43	2354	1,37
100	GP MIV	350	47	0,00	53,00		152,5	0,44	2305	1,36
CEM granu. in AAM										
0	GP MIV	350	47	53,00		0,00	147,5	0,42	2378	1,33
25	GP MIV	350	47	39,75		13,25	150	0,43	2351	1,31
50	GP MIV	350	47	26,50		26,50	151	0,43	2357	1,38
100	GP MIV	350	47	0,00		53,00	152,5	0,44		1,31
CEM granu. in CEM										
0	CEM I 52.5 R	350	47	53,00		0,00	157	0,45	2378	1,27
25	CEM I 52.5 R	350	47	39,75		13,25	158	0,45	2362	1,27
50	CEM I 52.5 R	350	47	26,50		26,50	158	0,45	2338	1,25
100	CEM I 52.5 R	350	47	0,00		53,00	162	0,46	2307	1,22
AAM granu. in CEM										
0	CEM I 52.5 R	350	47	53,00	0,00		157	0,45	2378	1,27
25	CEM I 52.5 R	350	47	39,75	13,25		159	0,45	2369	1,28
50	CEM I 52.5 R	350	47	26,50	26,50		160	0,46	2345	1,27
100	CEM I 52.5 R	350	47	0,00	53,00		162	0,46	2304	1,26

Per betonsamenstelling zijn proefstukken gemaakt voor de bepaling van de volgende eigenschappen:

- Druksterkte na 7, 28 en 56 dagen verharden (conform NEN-EN 12390-3; 3-voud; kubus 15 cm).
- Splijttreksterkte na 28 dagen verharden (conform NEN-EN 1338; 3-voud; kubus 10 cm).
- Buigtreksterkte na 28 dagen verharden (conform NEN-EN 1340; 3-voud; prisma 10x10x40 cm).

De proefstukken zijn vervaardigd in stalen mallen, verdicht op een triltafel en afgedekt met plastic folie. Na 1 dag zijn de proefstukken ontkist, in plastic folie ingepakt en opgeslagen bij 20°C tot moment van beproeven.

2.4.3. Invloed vervanging zand door fijn granulaat op druksterkte

Met een Hobartmenger zijn mortelmengsels vervaardigd met zowel cement (CEM I 52,5 R) als alkalisch geactiveerd bindmiddel (SQAPE GP MIV), waarbij 0, 50 en 100 % van het zand (0-4 mm) is vervangen door fijn AAM-granulaat 0-4 mm en fijn CEM-granulaat 0-4 mm. Als uitgangspunt is een vaste waarde voor de water/bindmiddel verhouding gehanteerd van 0,53. Alle mortelspecies zijn dan goed verdichtbaar met de triltafel. De samenstelling van de onderzochte mortelcombinaties is getoond in tabel 2.

Per mortelmengsel zijn prisma's (4x4x16 cm) vervaardigd voor de bepaling van de druksterkte na 1, 7 en 28 dagen verharden conform NEN-EN 196-1. De proefstukken zijn vervaardigd in kunststof mallen, verdicht op een triltafel en afgedekt met plastic folie. Na 1 dag zijn de proefstukken ontkist, in plastic folie ingepakt en opgeslagen bij 20°C tot moment van beproeven.

Tabel 2. Samenstelling onderzochte mortelmengsels

Mengsels	Bind-	Bind-	Primair	Primair	AAM	AAM	CEM	CEM	Totaal	W/B	Dicht-
	middel	middel	zand	zand	granu.	granu.	granu.	granu.	vloeistof	ratio	heid
	Type	kg/m ³	perc	kg/m ³	perc	kg/m ³	perc	kg/m ³	l/m ³		berekend
AAM ref.	GP MIV	400	100	1673					210	0,53	2301
AAM met 50% AAM granulaat	GP MIV	400	50	826	50	840			210	0,53	2279
AAM met 100% AAM granulaat	GP MIV	400			100	1658			210	0,53	2258
AAM met 50% CEM granulaat	GP MIV	400	50	811			50	811	210	0,53	2250
AAM met 100% CEM granulaat	GP MIV	400					100	1574	210	0,53	2203
CEM ref.	CEM I 52.5 R	400	100	1703					210	0,53	2303
CEM met 50% CEM granulaat	CEM I 52.5 R	400	50	825			50	825	210	0,53	2251
CEM met 100% CEM granulaat	CEM I 52.5 R	400					100	1602	210	0,53	2203
CEM met 50% AAM granulaat	CEM I 52.5 R	400	50	840	50	854			210	0,53	2281
CEM met 100% AAM granulaat	CEM I 52.5 R	400			100	1687			210	0,53	2260

* de dichtheid van de mortelspecie is berekend met een aangenomen luchtgehalte van 1%

2.4.4. Uitloging

Ongebonden toepassing 2^e levensfase

De uitloging van AAM-granulaat 4-16 mm en CEM-granulaat 4-16 mm, verkregen door breken en zeven van de initieel vervaardigde grastegels (zie par. 2.3), is bepaald conform NEN 7383 (kolomproef) aan deelmonsters die volgens voorschrift verkleind zijn tot <4 mm. Met deze proef wordt de milieuhygiënische kwaliteit vastgesteld voor ongebonden toepassingen van het materiaal in een 2^e levensfase.

Monolithische toepassing in beton 2^e levensfase

Met AAM-granulaat 4-16 mm is beton vervaardigd waarbij het grind volledig is vervangen. Als bindmiddel is zowel SQAPE GP MIV als CEM I 52,5 R toegepast. Als referentie zijn dezelfde betonmengsels, maar met 100% grind (dus 0% AAM-granulaat) en beide voorgenoemde bindmiddelen onderzocht. Deze betonsamenstellingen zijn opgenomen in tabel 1.

Van deze 4 betonmengsels is na 28 dagen verharden bij 20°C de uitloging bepaald conform NEN 7375 (diffusieproef). Hiermee wordt de milieuhygiënische kwaliteit vastgesteld voor monolithische toepassing van het materiaal in beton in een 2^e levensfase.

Ongebonden toepassing 3^e levensfase

Van de volgende 7 betonmengsels is het granulaat, verkregen na breken en zeven, onderzocht op uitloging met de kolomproef (NEN 7383):

- De hierboven vermelde 4 betonmengsels (0% en 100% vervanging van grind door AAM-granulaat 4-16 mm in combinatie met SQAPE GP MIV en CEM I 52,5 R als bindmiddel).
- Twee betonmengsels (SQAPE GP MIV en CEM I 52,5 R als bindmiddel) met dezelfde samenstelling, maar met 50% vervanging van grind door AAM-granulaat 4-16.
- Een referentiebeton waarbij het grind volledig is vervangen door CEM-granulaat 4-16 mm en met CEM I 52,5 R als bindmiddel.

De samenstelling van deze 7 betonmengsels zijn weergegeven in tabel 1. Met deze uitloogproeven wordt de milieuhygiënische kwaliteit vastgesteld voor ongebonden toepassingen van het materiaal in een 3^e levensfase.

3. VERKREGEN RESULTATEN

3.1. Eigenschappen granulaat

De onderzochte eigenschappen van de granulaire materialen zijn getoond in tabel 3.

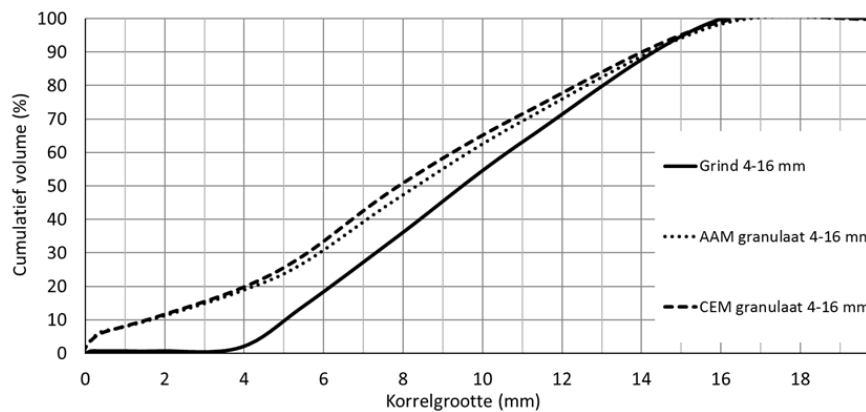
Tabel 3. Eigenschappen granulaire materialen

Materiaal	Dichtheid (kg/m ³)	Waterabsorptie (%m/m)	LA-index (-)
Riviergrind 4-16	2590	1,8	21
AAM-granulaat 4-16	2406	6,9	47
CEM-granulaat 4-16	2415	6,9	51
Rivierzand 0-4	2610	0,6	-
AAM-granulaat 0-4	(2534)*	6,6	-
CEM-granulaat 0-4	2447	6,1	-

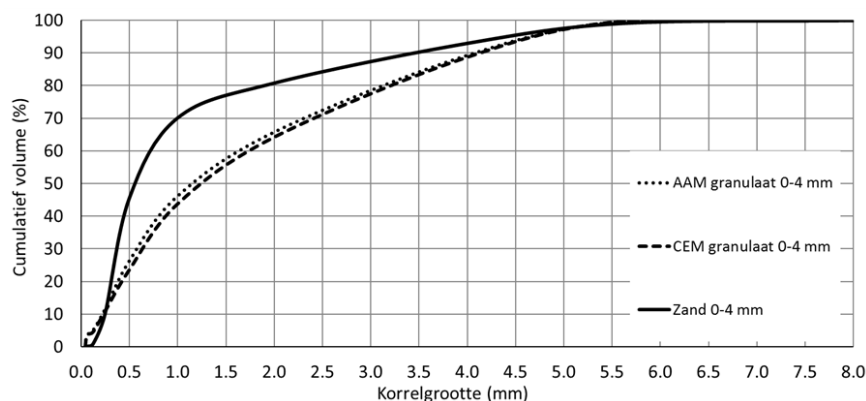
* te hoge waarde; juiste waarde ligt waarschijnlijk ca. 100 kg/m³ lager

Uit tabel 3 blijkt dat het AAM-granulaat vergelijkbare eigenschappen heeft als CEM-granulaat, zowel voor de fijne als grove fractie.

De korrelverdeling van de grove toeslagmaterialen is weergegeven in figuur 1 en die van de fijne toeslagmaterialen in figuur 2.



Figuur 1. Korrelverdeling grove toeslagmaterialen



Figuur 2. Korrelverdeling fijne toeslagmaterialen

Het AAM-granulaat 4-16 mm en het CEM-granulaat 4-16 mm bevatten nog ca. 20% korrels <4 mm. Dit is het gevolg van het aanwezige vocht in het granulaat (eigen vochtgehalte initieel beton), waardoor deze fractie bij droog zeven blijft 'plakken' aan de grovere korrels.

Het zand 0-4 mm heeft meer fijne korrels dan AAM-granulaat 0-4 mm en CEM-granulaat 0-4 mm.

De chemische samenstelling van de fractie 0-4 mm van AAM-granulaat en CEM-granulaat verkregen uit het breken van de geproduceerde grastegels, bepaald met Röntgenfluorescentie (XRF), is weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Chemische samenstelling van AAM- en CEM-granulaat 0-4 mm

Oxide	Granulaat		Element	Granulaat			
	AAM	CEM		AAM	CEM		
Si	wt.%	45,0	34,2	V	ppm	110	72
Al	wt.%	6,0	4,2	Se	ppm	nd	nd
Ca	wt.%	41,0	53,1	As	ppm	9	13
Mg	wt.%	2,8	2,2	Mo	ppm	nd	nd
Fe	wt.%	1,8	2,1	Sb	ppm	nd	nd
K	wt.%	1,1	1,22	Cr	ppm	50	34
Mn	wt.%	0,1	0,1	Sn	ppm	400	nd
Ti	wt.%	0,6	0,38	Ba	ppm	490	400
S	wt.%	0,8	1,95	Pb	ppm	22	24
P	wt.%	0,36	0,32	Zn	ppm	79	120
Sr	wt.%	0,06	0,13	Cu	ppm	35	100
Cl	wt.%	0,12	0,05	Ni	ppm	nd	nd
				Co	ppm	nd	nd

Het verschil in macrosamenstelling wordt veroorzaakt door het verschil in samenstelling tussen SQAPE GP MIV en CEM II/B-M 42,5. Het hoge calciumgehalte is het gevolg van de toepassing van kalksteen als grof toeslagmateriaal.

3.2. Invloed vervanging grind door grof granulaat op sterkte-eigenschappen

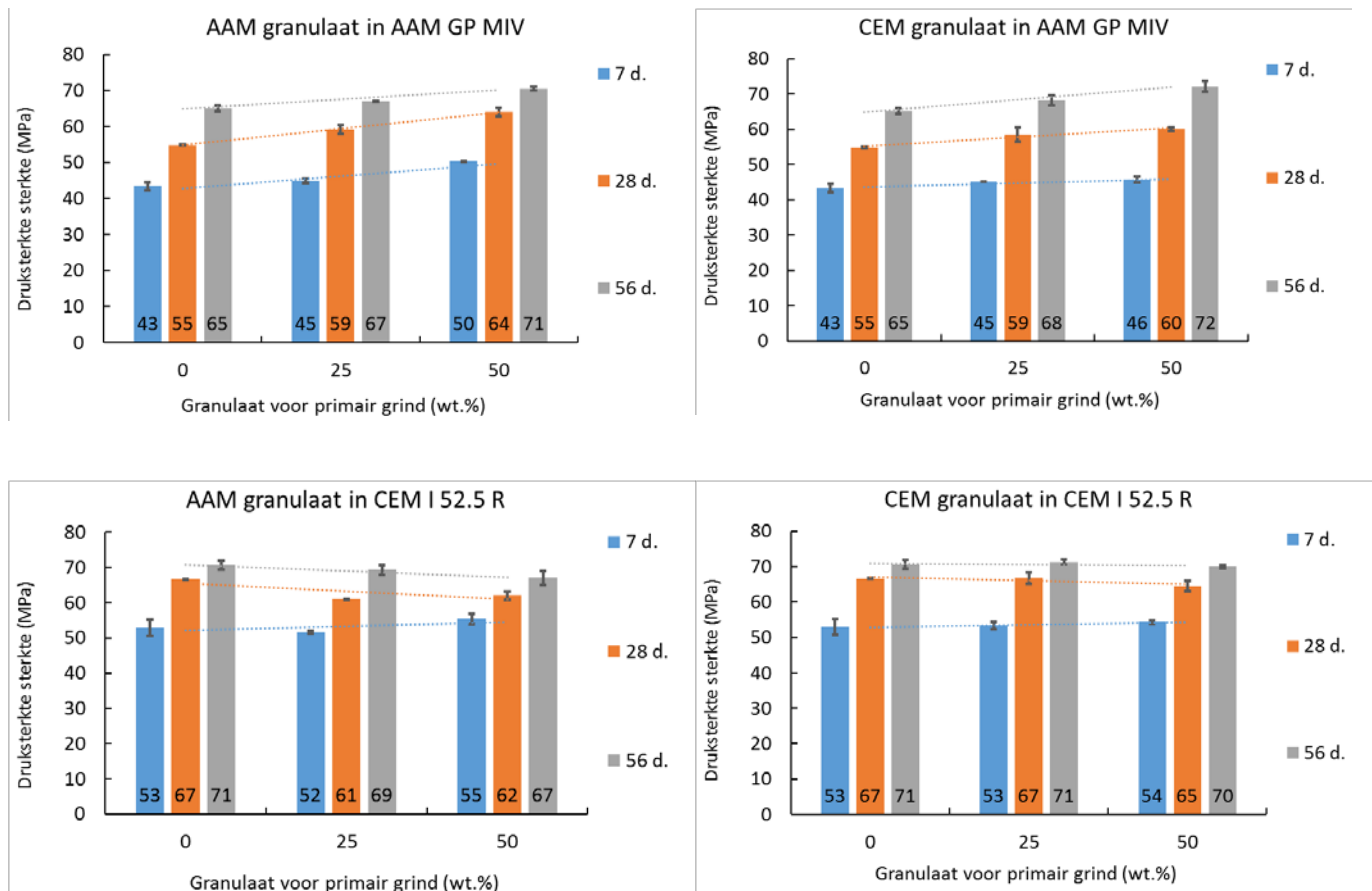
De invloed van het vervangingspercentage grind door grof granulaat op de druksterkte van het beton is weergegeven in figuur 3 voor de 4 combinaties van type granulaat (AAM-granulaat 4-16 mm en CEM-granulaat 4-16 mm) en bindmiddel (SQAPE GP MIV en CEM I 52.5 R).

Voor het bepalen van de 28-daagse druksterkte van mortels wordt in de normen NEN-EN 196-1 en ASTM C109 een standaardafwijking (s) van respectievelijk 2% en 3,8% aangegeven. Volgens ASTM C109 houdt een standaardafwijking van 3,8% in dat de druksterkte van 2 proefstukken uit eenzelfde batch niet meer dan 10,7% mag afwijken van hun gemiddelde waarde ('difference 2 sigma limit').

Een andere manier om na te gaan of gemeten verschillen significant zijn, is de zogenoemde 'Student-t' toets. Uitgaande van een standaardafwijking van 3% (gemiddelde van beide normen) volgt uit deze toets dat bij een betrouwbaarheid van 95% verschillen in gemeten waarden >7% significant zijn.

De standaardafwijking voor de druksterkte van beton is nog enigszins hoger dan die voor mortels vanwege de inhomogeniteiten veroorzaakt door het grove toeslagmateriaal. Tevens vertonen buig- en slijttreksterkte een hogere standaardafwijking dan druksterkte vanwege de aard van de proef en de invloed van de gesteldheid van het betonoppervlak.

Op basis van het bovenstaande wordt in de discussie van de sterkeresultaten enkel verschillen van >10% als significant beschouwd.



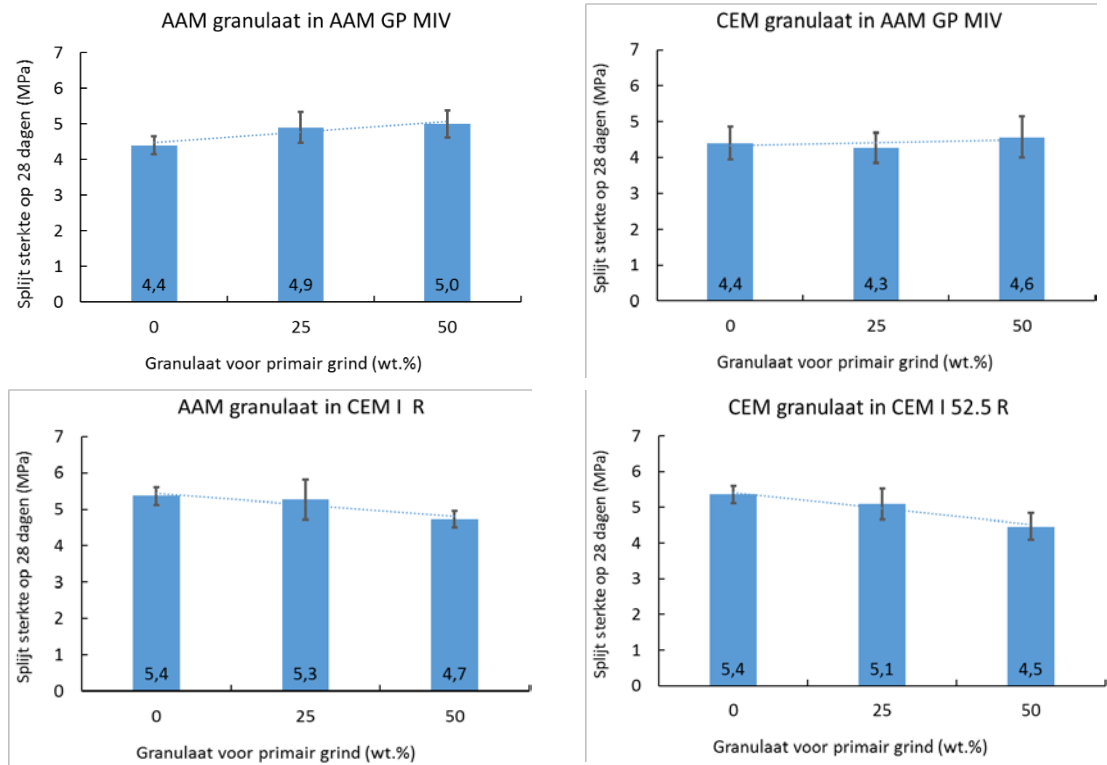
Figuur 3. Invloed vervangingspercentage op druksterkte

Uit figuur 3 blijkt dat bij vervanging van grind door granulaat tot 50% geen significante invloed op de druksterkte aanwezig is, behalve bij AAM-granulaat in SQAPE GP MIV bindmiddel waar een duidelijke toename in druksterkte wordt waargenomen.

Vervanging tot 50% van het grind door zowel AAM-granulaat 4-16 mm als CEM-granulaat 4-16 mm is mogelijk zonder afname in druksterkte zowel in beton met CEM I als SQAPE GP MIV als bindmiddel.

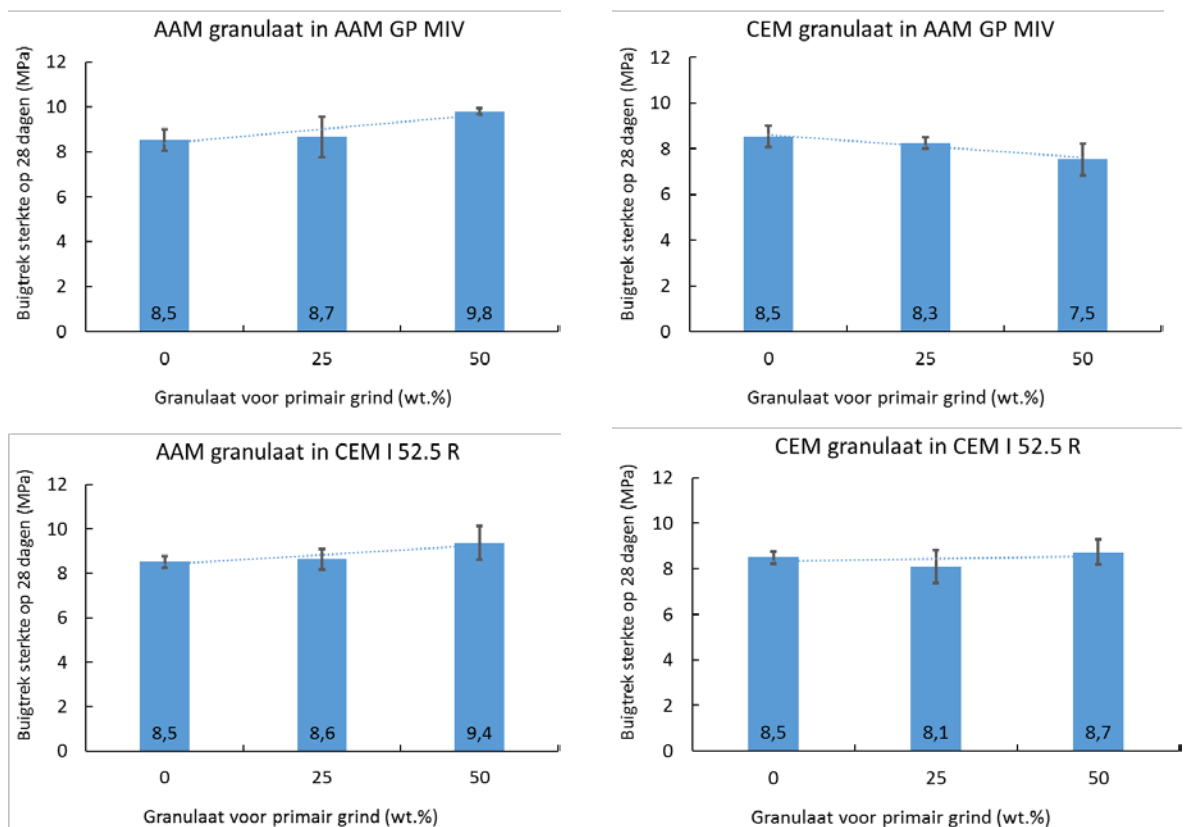
De invloed van het vervangingspercentage grind op de slijttrek- en buigtreksterkte van het beton is getoond in respectievelijk figuur 4 en figuur 5.

De slijttreksterkte neemt met stijgend percentage granulaat significant af in geval van CEM I 52,5 R als bindmiddel, zowel voor AAM-granulaat als CEM-granulaat. Bij SQAPE GP MIV als bindmiddel is geen significant effect van het vervangingspercentage zichtbaar.



Figuur 4. Invloed vervangingspercentage grind op splijttreksterkte

De buigtreksterkte vertoont een ander beeld. Bij AAM-granulaat neemt de buigtreksterkte bij beide bindmiddelensoorten duidelijk toe met stijgend percentage grindvervanging, terwijl bij CEM-granulaat (CEM I 52,5 R) geen of een (licht) negatieve invloed waarneembaar is.

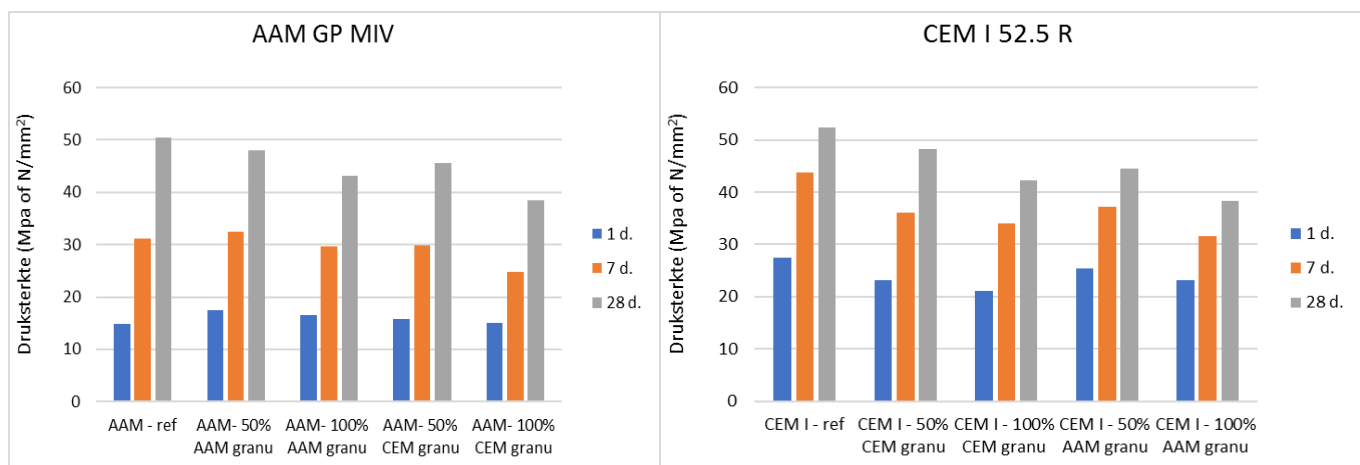


Figuur 5. Invloed vervangingspercentage grind op buigtreksterkte

Op basis van de verkregen resultaten kan worden gesteld dat zowel AAM-granulaat 4-16 mm als CEM-granulaat 4-16 mm wat betreft de sterkte-eigenschappen kunnen worden toegepast als grof toeslagmateriaal in beton, waarbij een vervangingspercentage van grind tot 50% zeker mogelijk is.

3.3. Invloed vervanging zand door fijn granulaat op druksterkte

De invloed van het vervangingspercentage zand door fijn granulaat op de druksterkte van de mortel is weergegeven in figuur 6 voor de 4 onderzochte combinaties van type granulaat (AAM-granulaat 0-4 mm en CEM-granulaat 0-4 mm) en bindmiddel (SQAPE GP MIV en CEM I 52.5 R).



Figuur 6. Invloed vervangingspercentage zand op druksterkte

Uit figuur 6 blijkt dat in het algemeen de druksterkte na 28 dagen afneemt bij toenemend vervangingspercentage zand door beide fijne granulaten. Met uitzondering van AAM-granulaat 0-4 mm in mortel met CEM I 52,5 R als bindmiddel, is bij 50% vervanging deze afname kleiner dan 10% en dus statistisch niet significant (zie par. 3.2). Bij dit vervangingspercentage neemt de druksterkte na 1 dag verharden bij SQAPE GP MIV als bindmiddel zelfs toe.

Op basis van deze resultaten kan worden gesteld dat zowel AAM-granulaat 0-4 mm als CEM-granulaat 0-4 mm wat betreft de druksterkte mogelijk kunnen worden toegepast als fijn toeslagmateriaal in beton, waarbij een vervangingspercentage van zand tot 50% mogelijk kan zijn.

3.4. Uitloging

3.4.1. Ongebonden toepassing 2^e levensfase

De resultaten van de kolomproef aan AAM-granulaat 4-16 mm en CEM-granulaat 4-16 mm staan weergegeven in tabel 5. In deze tabel zijn tevens de eisen gesteld in het Besluit bodemkwaliteit opgenomen. Uit de verkregen resultaten blijkt dat beide granulaten voldoen aan de gestelde eisen en dus vrij toepasbaar zijn. De uitloging van de meeste componenten liggen onder de detectiegrens van de voorgeschreven meetmethoden.

Tabel 5. Uitloging AAM-granulaat en CEM-granulaat

Materiaal		AAM granulaat GP MIV	CEM granulaat CEM II 42.5	BBK (bouwstof kwaliteit)
Methode		Kolomtest	Kolomtest	
L/S		10	10	
pH end	-	11,66	12,42	
EC end	µS/cm	2220	4340	
antimoon	mg/kgds	<0.039	<0.039	0,32
arsen	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
chrom	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

3.4.2. Monolithische toepassing in beton 2e levensfase

De emissies berekend uit de gemeten uitloging (met de diffusieproef) van de 4 betonmengsels (0% en 100% vervanging van grind door AAM-granulaat 4-16 mm in combinatie met SQAPE GP MIV en CEM I 52,5 R als bindmiddel) zijn weergegeven in tabel 6. De eisen gesteld in Besluit bodemkwaliteit zijn eveneens in deze tabel opgenomen.

Uit tabel 6 blijkt dat de uitloging van de 4 onderzochte betonmengsels ruimschoots voldoen aan de gestelde eisen in het Besluit bodemkwaliteit.

De berekende emissies liggen een factor 10 tot meer dan 100 lager dan de gestelde eis, met uitzondering van de uitloging van seleen voor het beton met AAM-granulaat en SQAPE GP MIV als bindmiddel. Die emissie ligt nog wel ruim een factor 2 onder de gestelde eis. De emissie van seleen van de 3 andere betonmengsels ligt een factor 4 lager dan voorgenoemd beton, terwijl in 2 van de 3 betonmengsels eveneens AAM-granulaat of SQAPE GP MIV is toegepast. De gemeten concentraties aan seleen worden beïnvloed door de detectiegrens van de bepaling.

De uitloging van de betonmengsels met 100% vervanging van grind door AAM-granulaat ligt op een vergelijkbaar niveau als de betonmengsels met 100% grind.

Tabel 6. Emissie (mg/m²/64 dagen) van de 4 betonmengsels

Samenstelling	100% grind in AAM beton		100% AAM granulaat in AAM beton		100% grind in CEM beton		100% AAM granulaat in CEM beton		Grenswaarden BBK (V) bouwstof kwaliteit
pH start	11,1	11,0	11,0	11,6					
pH eind	9,8	10,1	11,2	11,4					
EC start (µS/cm)	468	483	216	728					
EC end (µS/cm)	332	379	407	541					
Antimoon	<0,27	<0,27	<0,30	<0,28					8,7
Arseen	<1,3	<1,3	<1,4	<1,3					260
Barium	<6,7	<6,7	<8,7	34,3					1.500
Cadmium	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07					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	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02					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	0,59	2,02	<0,48	<0,47					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	<49	65					2.500
Chloride	<74	106	302	159					110.000
Sulfaat	1200	1012	716	1080					165.000
Bromide	<13	<13	<13	<13					670

3.4.3. Ongebonden toepassing 3^e levensfase

Van 7 betonmengsels is het granulaat, verkregen na breken en zeven, onderzocht op uitloging met de kolomproef. De verkregen resultaten zijn weergegeven in tabel 7 (SQAPE GP MIV als bindmiddel) en tabel 8 (CEM I 52,5 R als bindmiddel).

Alle 7 onderzochte granulaten voldoen aan de eisen van het Besluit bodemkwaliteit en kunnen dus vrij worden toegepast. Bij de mengsels met SQAPE GP MIV als bindmiddel (tabel 7) is seleen een kritische component omdat de uitloging dicht tegen de gestelde eis aan ligt. Bij de mengsels met CEM I 52,5 R als bindmiddel (tabel 8) liggen barium en chroom het dichtst bij de gestelde eis; de uitloging van deze beide componenten ligt nog wel een factor 2 onder de eis.

Tabel 7. Uitloging granulaten van betonmengsels met SQAPE GP MIV als bindmiddel

Samenstelling		100% grind in AAM	50% AAM granulaat in AAM	100% AAM granulaat in AAM	BBK bouwstof kwaliteit (granulair)
Droge stof	gew.-%	92,8	93,3	92,3	
L/S	ml/g	10	10	10	
pH eind	-	11,7	11,66	10,86	
EC end	µS/cm	893	842	384	
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
chromium	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

Tabel 8. Uitloging granulaten van betonmengsels met CEM I 52,5 R als bindmiddel

Samenstelling		100% grind in CEM	100% CEM granulaat in CEM	50% AAM granulaat in CEM	100% AAM granulaat in CEM	BBK
Droge stof	gew.-%	93,6	94,2	94,3	93,2	
L/S	ml/g	10	10	10	10	
pH eind	-	12,56	12,59	12,54	12,59	
EC end	µS/cm	7180	6540	7260	7770	
antimoon	mg/kgds	<0.009	<0.009	<0.009	<0.009	0,32
arsen	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0,9
barium	mg/kgds	6,72	8,68	12,6	12,8	22
cadmium	mg/kgds	<0.007	<0.007	<0.007	<0.007	0,04
kobalt	mg/kgds	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	0,63
chromium	mg/kgds	0,122	<0.1	0,221	0,204	0,54
koper	mg/kgds	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,9
kwik	mg/kgds	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,02
lood	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	2,3
molybdeen	mg/kgds	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1
nikkel	mg/kgds	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0,44
seleen	mg/kgds	<0.009	0,01	0,011	0,011	0,15
tin	mg/kgds	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0,4
vanadium	mg/kgds	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	1,8
zink	mg/kgds	<0.7	<0.7	<0.7	<0.7	4,5
bromide	mg/kgds	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	20
chloride	mg/kgds	<100	<100	<100	<100	616
fluoride	mg/kgds	1,8	<1	1,8	1,3	55
sulfaat	mg/kgds	<300	<300	<300	<300	2430

De granulaten verkregen uit betonmengsels met CEM I 52,5 R als bindmiddel vertonen een hogere pH-waarde van het eluaat dan de granulaten verkregen uit betonmengsels met SQAPE GP MIV als bindmiddel (respectievelijk ca. 12,5 en 11,5).

Er is geen duidelijke invloed herkenbaar van het percentage AAM-granulaat in het oorspronkelijk beton, waaruit de granulaten zijn verkregen, op de uitloging ervan. De ogenschijnlijke toename van barium uitloging in tabel 8 kan niet worden toegedicht aan het AAM-granulaat, omdat de uitloging van barium in alle varianten in tabel 7 kleiner dan de detectiegrens is. Tevens is bekend dat de uitloging van barium bij beton wordt veroorzaakt door het cement.

4. CONCLUSIES

Uit de resultaten gepresenteerd in dit rapport kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Uit beton vervaardigd met SQAPE GP MIV als bindmiddel kan milieuhygiënisch en materiaaltechnisch gezien dezelfde kwaliteit granulaat worden verkregen als uit Portlandcementbeton van dezelfde sterkteklasse en samenstelling.
- Zowel AAM-granulaat 4-16 mm als CEM-granulaat 4-16 mm kunnen wat betreft de sterkte-eigenschappen worden toegepast als grof toeslagmateriaal in beton, waarbij een vervangingspercentage van grind tot 50% zeker mogelijk is.
- Zowel AAM-granulaat 0-4 mm als CEM-granulaat 0-4 mm kunnen wat betreft de druksterkte mogelijk worden toegepast als fijn toeslagmateriaal in beton, waarbij een vervangingspercentage van zand tot 50% mogelijk kan zijn.
- De uitloging van zowel AAM-granulaat 4-16 mm als CEM-granulaat 4-16 mm voldoen aan de eisen gesteld in het Besluit bodemkwaliteit, zodat deze granulaten in de 2^e levensfase vrij toepasbaar zijn.
- De uitloging van beton waarin het grind volledig is vervangen door AAM-granulaat 4-16 mm en met zowel SQAPE GP MIV als CEM I 52,5 R als bindmiddel voldoet ruimschoots aan de eisen gesteld in het Besluit bodemkwaliteit. Deze uitloging ligt op een vergelijkbaar niveau als beton vervaardigd met 100% grind en SQAPE GP MIV of CEM I 52,5 R als bindmiddel.
- De uitloging van de granulaten vervaardigd uit 2^e generatie beton voldoen allen aan de eisen gesteld in het Besluit bodemkwaliteit, zodat deze granulaten in de 3^e levensfase vrij toepasbaar zijn.

Op basis van de verkregen resultaten, zowel milieuhygiënisch als materiaaltechnisch, zal geopolymeerbeton na recycling wat betreft de onderzochte aspecten geen aanleiding geven tot negatieve effecten op de kwaliteit van regulier beton. Granulaat verkregen na breken van cementbeton dan wel geopolymeerbeton kan gezamenlijk worden toegepast, zonder dat er sprake zal zijn van vervuiling van de keten. Geopolymeerbeton geproduceerd met de SQAPE technologie kan op grond hiervan worden getypeerd als circulair.

WWW.SGS.COM/INTRON

ABOUT SGS

SGS is the world's leading inspection, verification, testing and certification company and is recognized as the global benchmark for quality and integrity. With more than 90.000 employees, SGS operates a network of over 2.000 offices and laboratories around the world.

SGS INTRON B.V.

Dr. Nolenslaan 126
P.O. Box 5187
NL-6130 PD Sittard
t +31 (0)88 214 52 04

SGS INTRON B.V.

Venusstraat 2
P.O.Box 267
NL-4100 AG Culemborg
t +31 (0)88 214 51 00

SGS NETHERLANDS

Malledijk 18
P.O. Box 200
NL-3200 AE Spijkenisse
t +31 (0)181 693 333

SGS BELGIUM

SGS House
Noorderlaan 87
B-2030 Antwerpen
t +32 (0)3 545 44 00

WHEN YOU NEED TO BE SURE