



# Geschiktheidsonderzoek circulair SmartCrusher betonmengsel voor onderdoorgang Contactweg te Amsterdam Rapport SGS INTRON B.V.

Status: Voortgangsrapport 2  
Datum: 29 september 2021  
Documentnummer: █████/R20210287

WHEN YOU NEED TO BE SURE

**SGS**

## Inhoudsopgave

1.	Inleiding .....	5
1.1.	Algemeen.....	5
1.2.	Verantwoording.....	5
2.	Opzet onderzoek .....	5
2.1.	Betonsamenstelling .....	5
2.2.	Testprogramma .....	6
2.3.	Productie proefstukken .....	6
3.	Resultaten laboratoriumonderzoek .....	7
3.1.	Karakterisering grondstoffen.....	7
3.2.	Eigenschappen betonspecie.....	7
3.3.	Mechanische eigenschappen verhard beton.....	7
3.3.1.	Kubusdruksterkte .....	7
3.3.2.	Elasticiteitsmodulus .....	8
3.4.	Duurzaamheid verhard beton .....	8
3.4.1.	Versnelde carbonatatie .....	8
3.4.2.	Versnelde chloride-indringing .....	8
3.4.3.	Vorstdooizoutbestandheid .....	9
3.4.4.	Waterindringing onder druk .....	9
4.	Voorlopige beschouwing .....	10
Bijlage A	Betonsamenstelling .....	11
Bijlage B	Resultaten karakterisering toeslagmaterialen .....	12
Bijlage C	Spanning – vervorming diagrammen.....	13

## 1. Inleiding

### 1.1. Algemeen

realiseert momenteel de onderdoorgang Contactweg te Amsterdam in opdracht van ProRail en de gemeente Amsterdam. In deze onderdoorgang vormt een tussenwand de scheiding tussen de rijbanen van de onderdoorgang en het hooggelegen fietspad (zie figuur 1). heeft deze tussenwand op 9-9-2021 gestort met het circulair betonmengsel SL, geleverd door Smart Circular Products (SCP). De circulaire grondstoffen zijn geproduceerd met een innovatieve recycling techniek ("Smart Liberator"). De geschiktheid van het circulaire betonmengsel voor de toepassing is in opdracht van onderzocht door SGS INTRON in samenwerking met SCP.



Figuur 1. Artist impression onderdoorgang Contactweg te Amsterdam.

### 1.2. Verantwoording

Het geschiktheidsonderzoek wordt in opdracht van uitgevoerd op basis van onze offerte met . Het onderzoek is momenteel nog niet volledig afgerond. Op verzoek van wordt de voorliggende voortgangsrapportage verstrekt.

## 2. Opzet onderzoek

### 2.1. Betonsamenstelling

In het geschiktheidsonderzoek wordt de duurzaamheid en de sterkte van het circulaire mengsel vergeleken met een referentiemengsel. Het circulaire mengsel bevat de circulaire grondstoffen Freefiller (vulstof), Freegravel (grove toeslag) en Freesand (fijne toeslag). Het referentiemengsel bevat alleen primaire grondstoffen. De samenstelling van beide mengsels voldoet aan de eisen van de betonvoorschriften voor de van toepassing zijnde milieuklassen (XD3, XF4). Tabel 1 toont de belangrijkste kenmerken van beide mengsels en in bijlage A wordt de volledige betonsamenstelling getoond. Bij de berekening van het bindmiddelgehalte van het circulaire mengsel is 60% van het gewicht Freefiller meegerekend. De water/bindmiddelfactor (wbf) bedroeg 0,43 voor beide mengsels.

**Tabel 1 Kenmerken betonmengsels**

Parameter	Circulair mengsel SL	Referentiemengsel
Sterkteklasse	C30/37	C30/37
Milieuklasse	XD3, XF4	XD3, XF4
Consistentie	F4	F4
Water/bindmiddelfactor	0,43	0,43
Bindmiddel	CEM I 52,5 N + Ecocem	CEM I 52,5 N + Ecocem
Vulstof	Freefiller	Betofill
Grof toeslagmateriaal	100% Freegravel	100% Riviergrind
Fijn toeslagmateriaal	50% Freesand 50% Rivierzand	100% Rivierzand

## 2.2. Testprogramma

Tabel 2 toont het uitgevoerde testprogramma. Hierin staat ook per test aangegeven door welk laboratorium (SGS INTRON en/of SCP) de test is uitgevoerd en of deze al voltooid is. De 28-daagse kubusdruksterkte wordt door beide laboratoria gemeten.

De resultaten van het onderzoek door SCP zijn vastgelegd in hun rapport "Geschiktheidsonderzoek t.b.v. tussenwand Contactweg" van 31-08-2021.

De beproeving van de versnelde carbonatatie is wel voltooid voor het circulaire mengsel, maar nog niet voor het referentiemengsel. Wel is voor het referentiemengsel een tussenmeting beschikbaar.

**Tabel 2 Testprogramma**

Proef	Beschrijving	Beproevingnorm	Aantal proefstukken per mengsel	Laboratorium	Gereed
1	Versnelde carbonatatie	CUR-Aanbeveling 48	2	SGS INTRON	Deels
2	Versnelde chloride-indringing (RCM)	NT Build 492	3	SGS INTRON	Ja
3	Vorst-dooizoutaantasting (slab test, 28 cycli)	NVN-CEN/TS 12390-9	5	SCP	Ja
4	Waterindringing onder druk	NEN-EN 12390-8	3	SCP	Ja
5	E-modulus	NEN-EN 12390-13	3	SGS INTRON	Ja
6	Kubusdruksterkte	NEN-EN 12390-3	3	SGS INTRON SCP	Ja Ja

## 2.3. Productie proefstukken

De proefstukken, die benodigd zijn voor de door SGS INTRON uit te voeren testen, zijn allen vervaardigd in ons laboratorium te Sittard. SCP heeft de hiervoor benodigde grondstoffen aangeleverd bij ons laboratorium. De toeslagmaterialen zijn eerst gedroogd. Na afkoeling is tenminste 4 uur voor start mengen het absorptiewater toegevoegd.

Van de 4 toeslagmaterialen is eerst de dichtheid (NEN-EN 1097-6) en de wateropname na 24 uur (NEN-EN 1097-6) gemeten in ons laboratorium om op basis van deze gegevens een correct mengselontwerp te kunnen opstellen. Van de 3 circulaire producten (Freesand, Freegravel, Freefiller) is tevens het in zuur oplosbaar chloridegehalte (titrimetrie, eigen methode) en het alkaligehalte (Na<sub>2</sub>O-equivalent volgens NEN-EN 196-2) bepaald.



### 3. Resultaten laboratoriumonderzoek

#### 3.1. Karakterisering grondstoffen

De dichtheden en waterabsorptie van de 4 toeslagmaterialen worden in bijlage B getoond. De dichtheid van de circulaire toeslagfractie is steeds lager en de wateropname hoger dan die van dezelfde primaire toeslagfractie.

Het chloride- en alkaligehalte van de circulaire grondstoffen wordt in tabel 3 getoond. Zowel het chloride- als het alkaligehalte van de Freefiller is duidelijk hoger dan van de circulaire toeslagmaterialen.

Tabel 3 Chloride- en alkaligehalte circulaire grondstoffen.

Analyse	Eenheid	Freefiller	Freesand	Freegravel
Chloridegehalte	% (m/m) d.s.	0,10	0,03	0,02
Alkaligehalte	% (n/m) d.s.	0,134	0,072	0,091

#### 3.2. Eigenschappen betonspecie

Tabel 4 toont de specie-eigenschappen van de verschillende charges van het referentiemengsel (M1) en het circulaire mengsel (M2). De dosering van de hulpstof ACE 331 is steeds constant gehouden en de verwerkbaarheid is ingesteld met Sky 648. Het doelgebied van de consistentie was F4 (schudmaat 490 - 550 mm). Bij M1 is geen ACE 331 toegepast, omdat met een relatief lage dosering Sky 648 de gewenste verwerkbaarheid reeds bereikt kon worden.

Tabel 4 Eigenschappen betonspecie

Mengsel	Charge	Datum	Batch	ACE 331	Sky 648	Tspecie	Schudmaat	Lucht	vmas
			(l)	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(C)	(mm)	(%)	(kg/m <sup>3</sup> )
M1 (ref)	CH3	02-06-21	26	0,000	1,162	22,8	530 (F4)	1,1	2.400
M1 (ref)	CH4	08-07-21	40	0,000	1,150	23,5	500 (F4)	1,1	2.415
M2	CH1	20-05-21	40	0,800	3,175	25,4	440 (F3)	2,5	2.310
M2	CH2	20-05-21	40	0,800	3,175	23,4	570 (F5)	0,7	2.330

CH = charge, vmas = volumieke massa

#### 3.3. Mechanische eigenschappen verhard beton

##### 3.3.1. Kubusdruksterkte

Tabel 5 toont de gemiddelde 28-daagse kubusdruksterkte van beide mengsels, zoals gemeten door beide laboratoria. SCP meet voor het circulair mengsel (M2) een duidelijk lagere sterkte dan voor het referentiemengsel (M1). De druksterkte van M2 gemeten door SGS INTRON is echter aanzienlijk hoger dan die van SCP en vrijwel gelijk aan de referentiewaarde (van SCP).

Tabel 5 Gemiddelde 28-daagse kubusdruksterkte.

Eigenschap	Eenheid	M1 (ref) SGS INTRON	M1 (ref) SCP	M2 SGS INTRON	M2 SCP
kubusdruksterkte	MPa	47,7	54,3	53,1	43,8

### 3.3.2. Elasticiteitsmodulus

De 28-daagse elasticiteitsmodulus is gemeten aan cilinders (rond 150 mm, hoog 300 mm). Na meting van de E-modulus zijn de cilinders belast tot bezwijken om de cilinderdruksterkte te verkrijgen. Tabel 6 toont de meetresultaten. De E-module van beide mengsels zijn vrijwel gelijk.

In bijlage C zijn de spanning – vervorming diagrammen opgenomen.

**Tabel 6** Elasticiteitsmodulus en cilinderdruksterkte.

Proefstuk	E-modulus (GPa)	Cilinderdruksterkte (MPa)	Proefstuk	E-modulus (GPa)	Cilinderdruksterkte (MPa)
M1-1	34,7	37,0	M2-4	35,9	48,4
M1-2	35,5	38,1	M2-5	35,4	49,9
M1-3	34,4	35,1	M2-6	36,3	49,1
Gem.	34,9	36,7	Gem.	35,9	49,1

## 3.4. Duurzaamheid verhard beton

### 3.4.1. Versnelde carbonatatie

De weerstand tegen carbonatatie wordt gemeten met de versnelde proef conform CUR-Aanbeveling 48. Hiervoor zijn per mengsel 2 prisma's (100 mm x 100 mm x 400 mm) vervaardigd. Na 1 dag zijn de prisma's ontkist en in een waterbak opgeslagen tot een ouderdom van 28 dagen. Daarna zijn de prisma's gedroogd gedurende 14 dagen bij 20°C en (65 ± 5) % RV. Hierna is paraffinewas aangebracht op de twee kopse zijden, de afwerkzijde en de tegenoverliggende zijde. De prisma's zijn vervolgens geëxposeerd bij 20°C, 55% RV en een CO<sub>2</sub>-gehalte van 4,0% gedurende maximaal 70 dagen. Conform CUR-Aanbeveling 48 vindt de eerste meting van de carbonatatie diepte plaats na 56 dagen expositie. SGS INTRON heeft ten behoeve van deze voortgangsrapportage een tussenmeting uitgevoerd na 28 tot 32 dagen expositie. Bij deze tussenmeting is de carbonatatie diepte van het circulair mengsel M2 significant lager<sup>1</sup> dan van het referentiemengsel M1.

**Tabel 7** Carbonatatie diepte (mm) na expositie (20°C, 65% RV, 4,0% CO<sub>2</sub>)

Proefstuk	M1 (ref) 32d	M1 (ref) 56d	M2 28d	M2 56d
Proefstuk 1	12,3	14-10-2021	8,7	14,2
Proefstuk 2	14,1	14-10-2021	8,9	14,0
Gem.	13,2	14-10-2021	8,8	14,1

### 3.4.2. Versnelde chloride-indringing

De weerstand tegen chloride-indringing is gemeten met de Rapid Chloride Migration (RCM) test conform CUR-Aanbeveling 48. Deze meting is in 3-voud uitgevoerd bij een ouderdom van 28 dagen. Het meetresultaat is de chloridemigratiecoëfficiënt  $D_{nssm}$  (10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s). Tabel 8 toont de resultaten. De gemiddelde waarde van het circulair mengsel M2 is significant lager dan van het referentiemengsel M1.

<sup>1</sup> Dit verschil wordt niet veroorzaakt door het geringe verschil in expositieduur.

**Tabel 8 Chloridemigratiecoëfficiënt  $D_{nssm}$  ( $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s) bij 28 dagen ouderdom**

Proefstuk	M1 (ref)	M2
1	2,5	1,5
2	3,5	1,7
3	4,6	1,7
Gem.	3,5	1,6
St. dev.	1,0	0,1

### 3.4.3. Vorstdooizoutbestandheid

De vorstdooizoutbestandheid is door SCP volgens opgaaf gemeten met de 'slab test' methode conform NVN-CEN/TS 12390-9. Per mengsel worden 3 proefstukken onderzocht. Het aantal vorstdooicycli is gelimiteerd tot 28 cycli. Het totale gewichtsverlies (kg/m<sup>2</sup>) door afschilfering is het eindresultaat. Het gemiddelde van de 3 proefstukken wordt getoond in tabel 9. Het circulaire mengsel vertoont een beduidend hogere afschilfering dan het referentiemengsel.

Beide mengsels voldoen echter aan de eis voor vorstdooi(zout)bestandheid behorend bij categorie FT1 uit NEN-EN 13877-2 ("Betonverhardingen – Deel 2: Functionele eisen voor betonverhardingen"). Voor deze categorie moet het gewichtsverlies na 28 cycli voldoen aan:

- Gemiddelde < 1,0 kg/m<sup>2</sup>;
- Elk individuele resultaat < 1,5 kg/m<sup>2</sup>.

Dezelfde eis wordt ook gesteld aan betonstraatstenen in NEN-EN 1338.

**Tabel 9 Afschilfering (kg/m<sup>2</sup>) tijdens vorstdooizout test (meting door SCP).**

Cycli	Referentie (kg/m <sup>2</sup> )		Circulair (kg/m <sup>2</sup> )	
	Gem.	St. dev.	Gem.	St. dev.
7 cycli	0,03	0,026	0,17	0,007
14 cycli	0,09	0,003	0,15	0,037
21 cycli	0,14	0,025	0,05	0,013
28 cycli	0,15	0,055	0,24	0,035
Totaal na 28 cycli	0,41	0,071	0,61	0,036

### 3.4.4. Waterindringing onder druk

Bij deze beproeving wordt gedurende 72 uur een kubus eenzijdig blootgesteld aan een waterdruk van 5 bar. Na afloop van de proef wordt de kubus gespleten en wordt de maximale indringdiepte gemeten. Per mengsel zijn 3 kubussen beproefd. Tabel 10 toont de resultaten. De gemiddelde waarde van de maximale waterindringing van beide mengsels is exact gelijk. De lage waarde ( $\leq 10$  mm) toont aan dat het beton zeer dicht is.

Volgens de BRL 1801 geldt voor betonmortel bestemd voor vloeistofdichte betonconstructies, dat de toegestane vloeistofindringing voor individuele waarnemingen kleiner of gelijk aan 50 mm dient te zijn; voor het gemiddelde van drie opeenvolgende waarnemingen dient dit kleiner of gelijk aan 25 mm te zijn. Beide mengsels voldoen aan deze eis.

**Tabel 10** Maximale indringdiepte (mm) van water onder druk (5 bar) bij 28 dagen ouderdom (meting door SCP)

Proefstuk	Referentie	Circulair
1	9	9
2	11	9
3	9	11
Gem.	9,7	9,7

#### 4. Voorlopige beschouwing

Het geschiktheidsonderzoek is momenteel nog niet volledig afgerond. Tabel 11 laat zien in hoeverre het circulair mengsel tenminste gelijkwaardig is aan het referentiemengsel voor de beproefde eigenschappen.

Voor de versnelde carbonatatie zijn momenteel nog geen definitieve testresultaten beschikbaar. Van de overige 4 eigenschappen is het circulaire mengsel alleen met betrekking tot de vorstdooizoutbestandheid niet gelijkwaardig aan het referentiemengsel. Beide mengsels voldoen echter aan de eis voor vorstdooizoutbestandheid, die voor beton in de wegenbouw gehanteerd wordt. Ook moet worden aangetekend, dat de test vele malen strenger is dan de praktijk in het geval van de tussenwand. Dooizoutbelasting vindt bij de tussenwand plaats op een verticaal vlak (wegzijde). Hierdoor zal waterverzadiging niet optreden en zal vorstdooizoutschade beduidend lager zijn dan bij een horizontaal vlak (zoals getest in het laboratorium).

Bij de tussenmeting na 28/32 dagen van versnelde carbonatatie presteert het circulair mengsel beter dan het referentiemengsel. Een definitieve uitspraak over dit duurzaamheidsaspect kan na 14-10-2021 gedaan worden.

**Tabel 11** Gelijkwaardigheid circulair mengsel voor de gemeten eigenschappen

Proef	Beschrijving	Beproevingnorm	Gelijkwaardigheid Circulair mengsel
1	Versnelde carbonatatie	CUR-Aanbeveling 48	Nog niet bekend
2	Versnelde chloride-indringing (RCM)	NT Build 492	Ja
3	Vorstdooizoutaantasting (slab test)	CEN/TS 12390-9	Nee
4	Waterindringing onder druk	NEN-EN 12390-8	Ja
5	E-modulus	NEN-EN 12390-13	Ja
6	Kubusdruksterkte	NEN-EN 12390-3	Ja



## Bijlage A Betonsamenstelling

Onderstaande dosering van de grondstoffen zijn verstrekt door SCP.

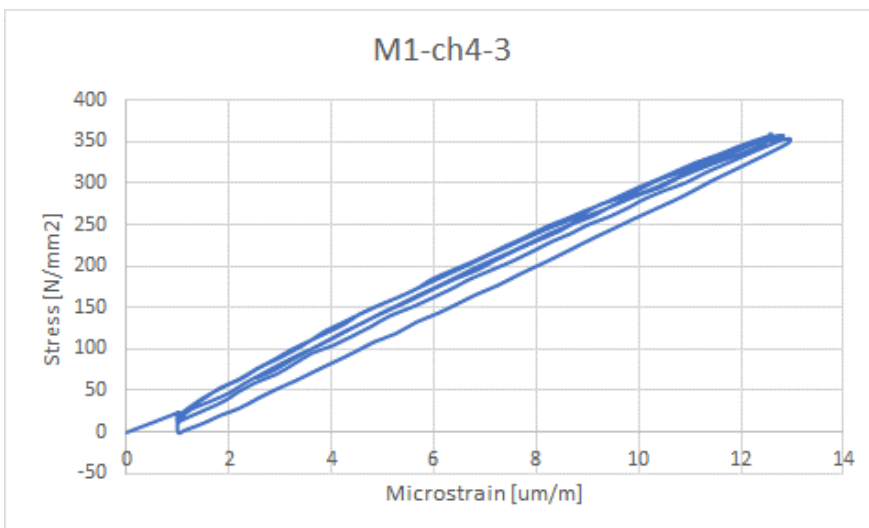
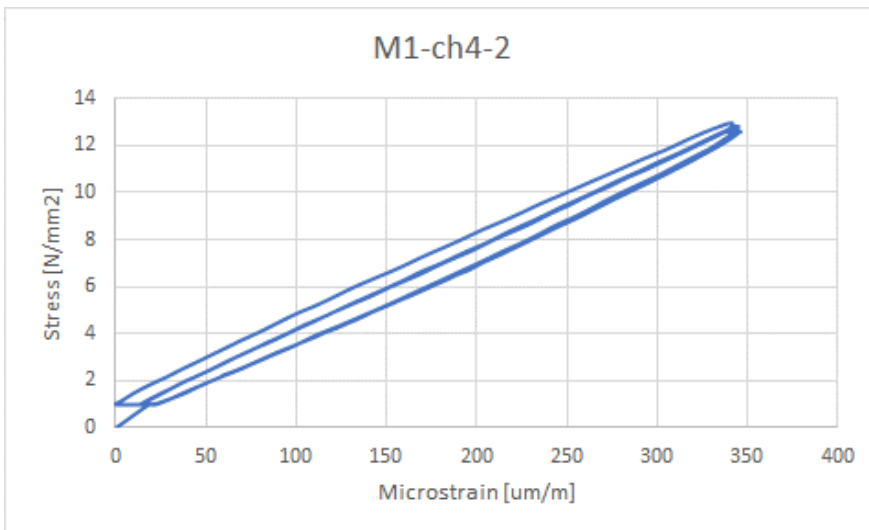
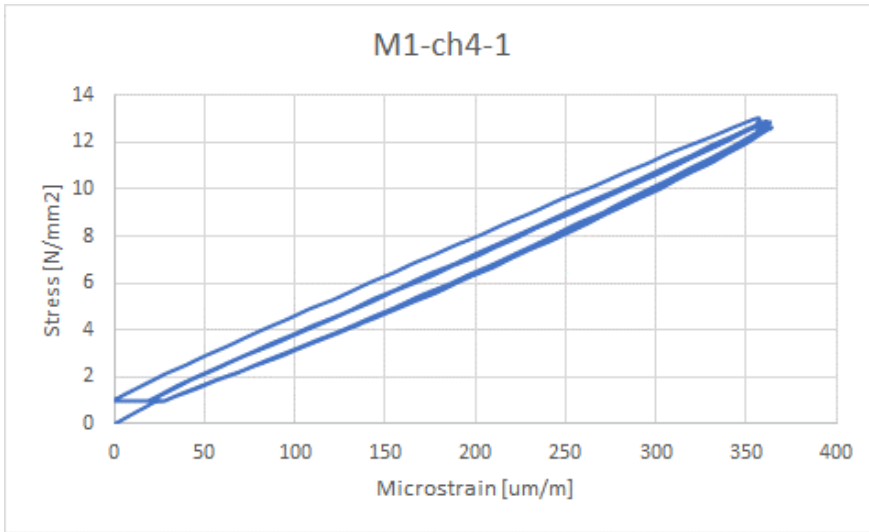
Type grondstof	Product	Leverancier	Circulair mengsel (kg/m <sup>3</sup> )	Referentiemengsel (kg/m <sup>3</sup> )
Bindmiddel	CEM I 52,5 N	Dykerhoff	94,5	87,5
	Hoogovenslak	Ecocem	220,5	262,5
Vulstof	Betofill	Euroment		20,0
	Freefiller	SCP	50,0	
Toeslag	Zand 0-4 (droog)	Kieswerk Wissel Gmbh	399	774
	Grind 4-32 (droog)	Kieswerk Wissel Gmbh		1.077
	Freesand 0-4 (droog)	SCP	391	
	Freegravel 4-22 (droog)	SCP	982	
Hulpstof	Masterglenium Ace 331 (30%)	Master Builders	0,788	0,875
	Masterglenium Sky 648 (20%)	Master Builders	0,977	1,085
Bindmiddel* totaal			345	350
Water/bindmiddelfactor			0,43	0,43
Slakgehalte			70%	75%
Zand percentage			45%	42%

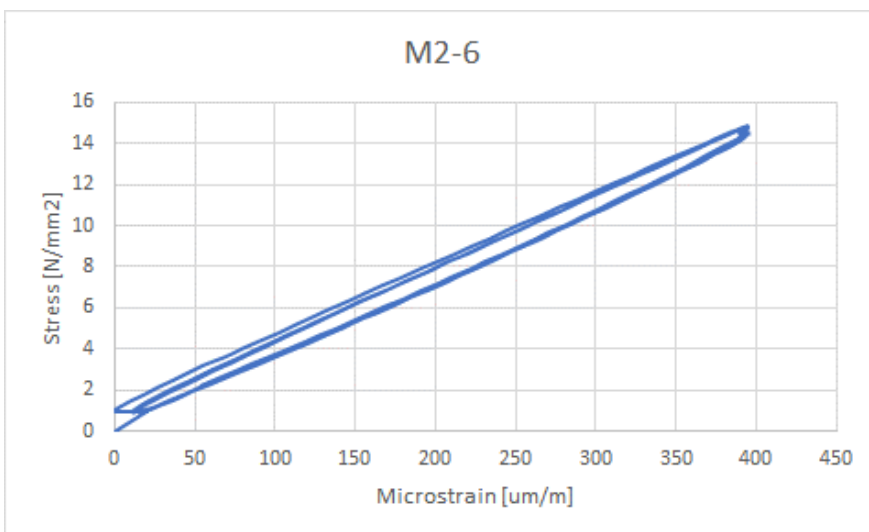
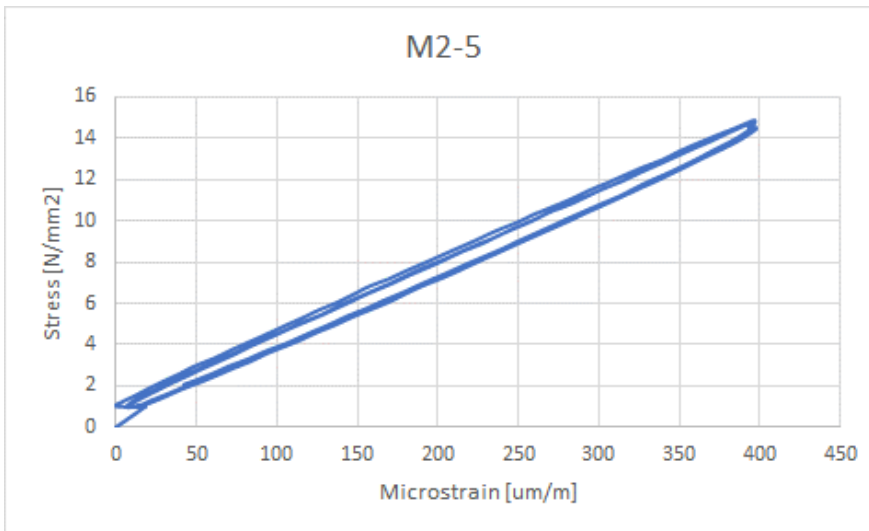
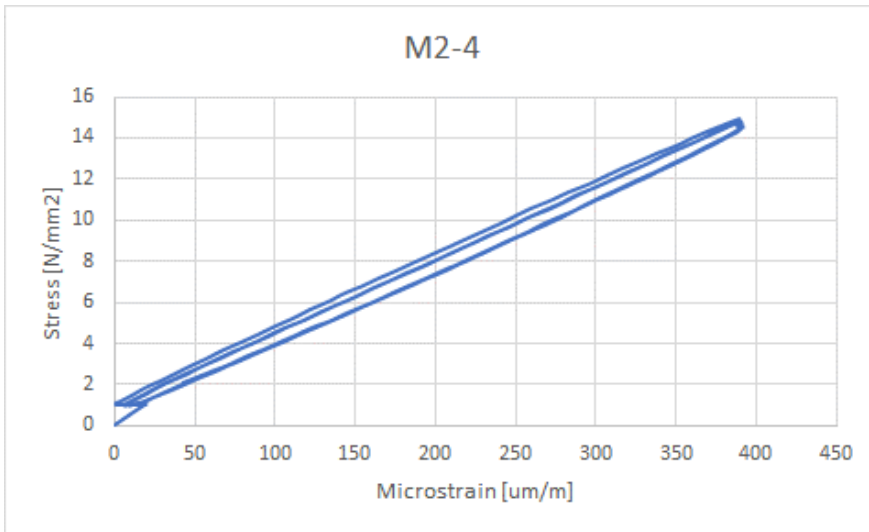
\*: bij de berekening van het bindmiddelgehalte van het circulair mengsel is 60% van het gewicht Freefiller meegenomen op aanwijzing van SCP.

## Bijlage B Resultaten karakterisering toeslagmaterialen

Analyse	Eenheid	Zand 0-4mm	Grind 4-32mm	Freesand 0-4mm	Freegravel 4-22mm
Fractie 0 / 4 mm	%(m/m)		4		1
Fractie 4 / 31,5 mm	%(m/m)		96		99
Fractie > 31,5	%(m/m)		0		0
Dichtheid fractie 4-31,5 mm ( $\rho_{rd}$ )	Mg/m <sup>3</sup>		2,55		2,48
Dichtheid fractie 4-31,5 mm ( $\rho_a$ )	Mg/m <sup>3</sup>		2,65		2,64
Dichtheid fractie 4-31,5 mm ( $\rho_{ssd}$ )	Mg/m <sup>3</sup>		2,59		2,54
Fractie 0 / 63 $\mu$ m	%(m/m)	0		0	
Fractie 0,063 / 4 mm	%(m/m)	94		96	
Fractie > 4 mm	%(m/m)	6		4	
Dichtheid 0,063-4 mm ( $\rho_{rd}$ )	Mg/m <sup>3</sup>	2,59		2,35	
Dichtheid 0,063-4 mm ( $\rho_a$ )	Mg/m <sup>3</sup>	2,63		2,63	
Dichtheid 0,063-4 mm ( $\rho_{ssd}$ )	Mg/m <sup>3</sup>	2,61		2,46	
Wateropname 24 uur	%	0,5	1,3	4,5	2,2

## Bijlage C Spanning – vervorming diagrammen









[WWW.SGS.COM/INTRON](http://WWW.SGS.COM/INTRON)

## OVER SGS

SGS is wereldleider op het gebied van inspectie, controle, analyse en certificering. Wij staan bekend als de global benchmark voor kwaliteit en integriteit. SGS onderhoudt wereldwijd een netwerk van ca. 2.600 kantoren en laboratoria met meer dan 89.000 werknemers.

### **SGS INTRON B.V.**

**Dr. Nolenslaan 126  
P.O. Box 5187**

NL-6130 PD Sittard  
+31 (0)88 214 52 04

### **SGS INTRON B.V.**

**Venusstraat 2  
P.O. Box 267**

NL-4100 AG Culemborg  
+31 (0)88 214 51 00

### **SGS NETHERLANDS**

**Malledijk 18  
P.O. Box 200**

NL-3200 AE Spijkenisse  
+31 (0)88 214 33 33

### **SGS BELGIUM**

**SGS House  
Noorderlaan 87**

B-2030 Antwerpen  
+32 (0)3 545 44 00