

KWR 2015.107 | December 2015

# **Ontharden met calciet : met Hollandse kalkpellets de markt op**



## Ontharden met calcië : met Hollandse kalkpellets de markt op

KWR 2015.107 | December 2015

### Opdrachtnummer

400548

### Projectmanager

L. Palmen, M. de Graaff

### Opdrachtgever

Waternet, Reststoffenunie, PWN, Dunea, WML, Brabant  
Water, TKI

### Kwaliteitsborger(s)

F. Oesterholt, G. Medema

### Auteur(s)

L. Palmen, B. Hofs, W. Hijnen, T. v.d. Brand,  
M. Borsboom (Waternet), O. van der Kolk  
(Reststoffenunie)

### Verzonden aan

Waternet, Reststoffenunie, PWN, Dunea, WML,  
Brabant Water

### TKI

Dit TKI project is mede gefinancierd uit de Toeslag  
voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van  
het ministerie van Economische Zaken

Jaar van publicatie  
2015

### Meer informatie

ir. L.J. Palmen MTD  
T +31 (0)30 60 69 756  
E luc.palmen@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E info@kwrwater.nl  
I www.kwrwater.nl



KWR | Oktober 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand,  
of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze,  
hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,  
opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande  
schriftelijke toestemming van de uitgever.



# Samenvatting

## Introductie

Ongeveer de helft van het Nederlandse drinkwater wordt onthard in pelletreactoren. Het water wordt onthard vanwege de volksgezondheid (verlaging metaal-oplossend vermogen), maatschappelijke kosten (reductie onderhoud warmwaterapparatuur en energiekosten), milieubelasting (reductie energiegebruik en kopervracht) en comfort (reductie kalkafzetting, toename klanttevredenheid).

Bij pelletontharding worden onderin de reactor natronloog of kalkmelk en een entmateriaal aan het water toegevoegd en kristalliseert calciumcarbonaat (kalk) op het entmateriaal. Als bijproduct ontstaat zo een ronde, vaste korrel (pellet) die voor het grootste deel bestaat uit kalk. Naast rivier-, zilver-, of granaatzand wordt thans ook calciëet toegepast. Bijna alle Nederlandse drinkwaterbedrijven passen deze onthardingstechnologie toe en jaarlijks wordt circa 73.000 ton kalkkorrels als reststof geproduceerd. De kalkpellets worden toegepast als (secundaire) grondstof in diverse economische sectoren, zoals de bouwindustrie, de agrarische sector, de minerale grondstof handel, de glassector of tapijtsector. De kalkkorrels variëren qua grootte, chemische samenstelling en kleur.

In de huidige situatie dekken grosso modo de opbrengsten van de kalkkorrels de uitgaven voor transport en logistiek. Door de kalkpellets in marktsegmenten met hoge potentie af te zetten stijgen de opbrengsten. Echter, de kalkpellets zijn momenteel vaak van onvoldoende kwaliteit om ook hoogwaardige marktsegmenten zoals papier, kunststof, (wit)glas en voedingsmiddelenindustrie te bedienen. De samenstelling van de kalkkorrel kan gewijzigd worden door aanpassing van de onthardingscondities.

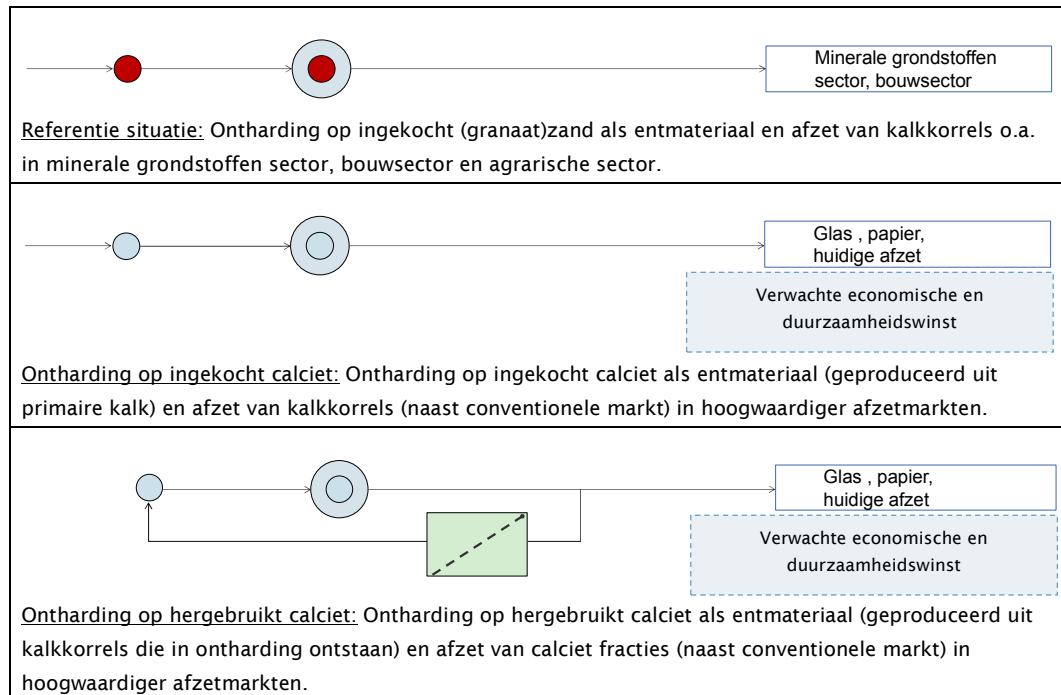
Daarnaast zijn er duurzaamheidstechnische motieven om de kwaliteit van de kalkkorrel en de vermarkting van de kalkproducten te verbeteren. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid is het gunstig om het entmateriaal dichterbij de buurt van waterbedrijf te produceren, om de kalkpellets als secundaire grondstof in te zetten in plaats van primaire kalk, om de pellets zo lokaal als mogelijk af te zetten, en om de kalkpellets als secundaire grondstof te verwerken in een product dat gerecycled wordt, zoals glas, papier of bepaalde tapijtsoorten.

## Concept: hergebruik van calciëet

Hergebruik van kalkkorrels vormt reeds een goed voorbeeld van duurzaam produceren, maar de kwaliteit van de huidige kalkpellets past vaak niet op een aantal toepassingen die vanuit duurzaamheidsoogpunt en financieel opzicht interessant zijn, waaronder papier en kunststof. Bij een aantal toepassingen is zand een ongewenste stof. Bij de verwerking van de kalkkorrels en bij de toepassing ervan in industriële productieprocessen kan het zand schade veroorzaken aan procesonderdelen. Ook is er een gezondheidsrisico bij het vermalen van silicaten. Bij de vervanging van granaatzand door calciëet is sprake van een afname van het ijzergehalte van de onthardingskorrels hetgeen een additioneel voordeel oplevert in sommige industriële toepassingen, zoals van witglas. Deze factoren worden verbeterd door calciëet (calciumcarbonaat of kalk) als entmateriaal in te zetten in de ontharding waarmee een korrel ontstaat die uit één component bestaat.

Het calciëet als entmateriaal kan ingekocht worden bij minerale grondstofleveranciers die het materiaal produceren op basis van primaire kalk uit kalkgroeves. Dit principe wordt door

WML en Brabant Water toegepast. In dit project is onderzocht of het mogelijk is om het calciet als entmateriaal te produceren uit kalkkorrels van waterproductiebedrijf Weesperkarspel, Waternet, en dit materiaal te recyclen in de eigen ontharding. Afhankelijk van het rendement van deze verwerking wordt het restant als Hollandse kalk voor andere doeleinden ingezet. Deze concepten zijn geschematiseerd in de volgende figuur.



### Onderzoeksvragen

Op kleine schaal was het *proof of principle* van toepassing van hergebruikte kalkkorrels als entmateriaal reeds verkregen bij Waternet. In dit project is onderzocht of bij hergebruik van calciet op grote schaal aan alle wettelijke en bedrijfseigen waterkwaliteitgerelateerde eisen voldaan wordt (microbiologisch en chemisch). Daarnaast is onderzocht welke maatregelen eventueel noodzakelijk zijn om de drinkwaterkwaliteit te garanderen en of de verwachtingen ten aanzien van te behalen economische en duurzaamheidsgerelateerde winst realistisch zijn. De certificeerbaarheid van hergebruikt calciet is onderzocht omdat materialen die in aanraking komen met drinkwater over een erkende kwaliteitsverklaring dienen te beschikken.

### Aanpak

De ontharding van Weesperkarspel is overgeschakeld op ingekocht calciet als entmateriaal om de kalkkorrels met een granaatzandkern te verdringen, gedurende een periode van ruim een half jaar. Daarna is in de zomer van 2014 en de winter van 2015 calciet uit de ontharding als entmateriaal ingezet. De kalkkorrels zijn door middel van drogen, malen en zeven op specificatie gebracht. Deze verwerking is uitgevoerd door een drietal minerale grondstoffenleveranciers. De microbiologische, chemische en fysische kwaliteit van het calciet is middels een uitvoerig meetprogramma in de hele keten bepaald. Middels recovery testen is de afstervingsnelheid van micro-organismen op entzand en calciet-ent bepaald. Het risico op accumulatie van zware metalen in de kalkkorrel vanwege recirculatie is middels modelberekeningen bepaald. Er zijn negen varianten voor de verwerking van kalkkorrels en de vermarkting van calciet gedefinieerd (zie schema hierna). De varianten zijn onderscheidend zijn ten aanzien van schaalgrootte, de technologie om het entmateriaal te produceren, het eigendom van de productielijn en het type calcietproducten die voor de

markt beschikbaar komen. De duurzaamheidsimpact van deze varianten is middels LCA (*life cycle assessment*) vastgesteld. De netto opbrengst is voor elke variant bepaald op basis van een kostenberekening (CAPEX en OPEX) en een inschatting van de opbrengsten op basis van marktkennis. De toepassing van drie batches “eigen” entmateriaal (calciet uit kalkkorrels) op de *full scale* ontharding van waterproductiebedrijf Weesperkarspel gedurende circa drie maal een maand leverde inzicht over de toepasbaarheid in de praktijk, bijvoorbeeld ten aanzien van de ontharding, de waterkwaliteit en de handling.

De belangrijkste eigenschappen van de varianten zijn hieronder samengevat:

Variant naam	Sub-varianten	Herkomst entmateriaal	Schaalgrootte concept	Product voor markt
Referentie	rivierzand, granaatzand, calciet	Inkoop	Productiebedrijf	Natte kalkkorrels
Nat in-situ	malen op reactor niveau, of malen op fabriek niveau	Nat malen eigen kalkkorrels, voor eigen gebruik	Productiebedrijf	Natte kalkkorrels
Droog lokaal	-	Drogen, malen, zeven eigen kalkkorrels, voor eigen gebruik	Productiebedrijf	Droge calciet fracties
Droog centraal	calciet bewerking: - on-site bij waterbedrijf, - centrale, separate plant	Drogen, malen, zeven eigen kalkkorrels en kalkkorrels andere waterbedrijven. Voor eigen gebruik en voor gebruik bij andere waterbedrijven	Centraal - verschillende productiebedrijven	Droge calciet fracties

### Resultaten en conclusies

De testen met grootschalige verwerking van kalkkorrels tot entmateriaal en de toepassing ervan zijn succesvol verlopen. Zowel bij hoge als bij lage watertemperatuur functioneert de ontharding met de hergebruikte kalkkorrels als entmateriaal volgens wens. Tijdens alle testen is aan de drinkwaterkwaliteit eisen voldaan, waaronder de microbiologische eisen en de totale hardheideis. De toepassing van gemalen en gezeefde kalkkorrels in de praktijk is beheersbaar.

Voor de **microbiologische kwaliteit** van calciet en drinkwater gelden de volgende conclusies:

- Op basis van een groot aantal microbiologische bepalingen blijkt dat het risico op fecale besmetting van calciet tijdens verwerking tot entmateriaal beheersbaar is.
- Het calciet dat in dit project geproduceerd is en als entmateriaal is toegepast, voldoet aan de relevante normen voor toepassing van filtermedia en entmaterialen (BRL K240). Met de hittebehandeling tijdens de productie wordt voldoende afdoding tijdens het verwerkingsproces bereikt zodat toepassing van calciet-ent niet leidt tot overschrijding van het wettelijk vastgestelde infectierisico.
- De afsterving van de indicator voor fecale besmetting *E. coli* op calciet gaat sneller dan op zand. Wanneer het calciet 5 tot 20 dagen bij respectievelijk hoge (15°C) en lage (5°C) temperatuur in opslag blijft, vindt een 3 log reductie van *E. coli* plaats. Dit is een duur die in de praktijk goed haalbaar en realistisch is.
- Op basis van de herkomst van de bron voor het entmateriaal en het verwerkingsproces wordt ingeschat dat de varianten met nat in-situ malen het best scoren wat betreft het risico op microbiologische besmetting. Bij de overige varianten is het risico op besmetting bij een adequate verwerking van kalkkorrels tot calciet – dat wil zeggen waarbij voldaan wordt aan de eisen uit de BRL K240 en waarbij met voldoende aandacht

voor hygiëne gewerkt wordt – dusdanig laag dat voldaan kan worden aan de microbiologie gerelateerde wettelijke eisen voor drinkwater.

Voor de **chemische kwaliteit** van calciet gelden de volgende conclusies:

- Omdat normen voor (teruggewonnen) calciet als entmateriaal ontbreken in de Regeling Materialen en Chemicaliën Drinkwater- en warmtapwatervoorzieningen zijn deze ten behoeve van dit project gelijk gesteld aan de normen voor calciet als conditioneringsmiddel. In die toepassing lost calciet op in water, terwijl in de ontharding sprake is van afzetting van calciet. Het toepassen van deze normen is daarmee een *worst case* benadering. Het entmateriaal dat uit kalkkorrels door de minerale grondstoffen leveranciers geproduceerd is, voldoet aan alle chemische normen.
- Er is geen materiaal vrij gekomen uit de installaties die gebruikt zijn door de verwerkende partijen om de kalkkorrels op te werken tot calciet entmateriaal.
- Op basis van modelberekeningen blijkt dat er een stabiele situatie optreedt waarbij de concentratie van zware metalen in de kalkkorrel en het entmateriaal gelijk worden. Met andere woorden, er treedt geen accumulatie op van verontreinigingen in de kalkkorrel. Uit modelberekeningen blijkt voorts dat de *waarde* van de concentratie zware metalen in de kalkkorrels de eerdergenoemde normwaarden in principe kunnen overschrijden. Echter, op basis van algemene kennis over praktijkinstellingen van een onthardingsreactor en de metingen die verricht zijn in dit project, is overschrijding zeer onwaarschijnlijk.

Op basis van ervaringen met drie minerale grondstoffen bewerkende partijen is aangetoond dat het met voldoende aandacht voor de bedrijfsvoering en optimalisatie van het verwerkingsproces mogelijk is om aan de gewenste deeltjesgrootteverdeling specificaties te voldoen (**fysische kwaliteit**).

Voor de **bedrijfsvoering** van de kalkkorrel bewerkende partijen en de technische haalbaarheid geldt dat door drie partijen is aangetoond dat het droge proces om kalkkorrels op te werken tot calciet met de gewenste specificaties effectief is. De verwerkingsprocessen van de betreffende leveranciers waren niet geoptimaliseerd voor throughput en rendement. Bij een eventuele langdurige samenwerking is het mogelijk om deze parameters te verbeteren. Aanbevolen wordt om het nat malen op pilot schaal te testen alvorens dit principe in de praktijk toe te passen.

Met betrekking tot de **kosten en opbrengsten** van de verschillende varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet blijkt dat de kleinschalige varianten, waarbij het eigen entmateriaal lokaal middels nat malen geproduceerd wordt, qua kosten voordeliger zijn dan de grootschalige varianten met droge opwerking tot verschillende calciet producten. Echter, de grootschalige varianten scoren beter ten aanzien van de opbrengsten van het surplus calciet, hetgeen deze varianten overall aantrekkelijker maakt dan de kleinschalige varianten. De referentievariant met ingekocht calciet als entmateriaal heeft ook positieve overall opbrengsten.

Ten aanzien van de **duurzaamheid** van de verschillende varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet gelden de volgende conclusies:

- De variant met de lokale, droge productie van eigen entmateriaal, de referentievariant met inkoop van rivierzand, en de variant met in-situ natte productie van eigen entmateriaal zijn het meest duurzaam.
- Het opwerken van kalkkorrels op locatie is duurzamer dan transport naar een centrale opwerkingslocatie en verwerking aldaar. Dit wordt veroorzaakt door de negatieve impact van extra transport van kalkkorrels.



- Opwerking van kalkkorrels tot droge, hoogwaardige calcië is gunstiger wanneer dit op locatie gebeurt, maar vooral wanneer de kalkkorrels benodigd voor het entmateriaal apart middels nat malen verwerkt worden (lager energiegebruik) mits het rendement van de natte verwerking hoog is. Daardoor blijft een grotere calcië stroom over voor hoogwaardige afzet en komt deze in aanmerking als voorkomen emissie in plaats van afval.
- De energie die benodigd is om kalkkorrels op te werken tot droge, hoogwaardige producten wordt voor een belangrijk deel gecompenseerd door een vergelijkbare vermeden energie-input die nodig zou zijn om primaire kalk op te werken.
- In dit project is de duurzaamheid middels LCA bepaald. Middels die methodiek is het mogelijk om de duurzaamheidsimpact te kwantificeren. Andere duurzaamheidsindicatoren zijn de mate van hergebruik of resource efficiency, en bijdragen aan de circulaire economie. De laatst genoemde indicatoren zijn niet gekwantificeerd, echter het is evident dat de betreffende concepten waarbij kalkkorrels worden opgewerkt tot entmateriaal voor hergebruik in de ontharding goede toonbeelden zijn van resource recovery en passen bij de gedachte van de circulaire economie. Daarnaast heeft een dergelijk hergebruik concept een positief effect op het imago van de watersector.

**ATA-certificatie** van (hergebruikt) entmateriaal is noodzakelijk in geval van inkoop bij marktpartijen (de referentievarianten), en voor de grootschalige varianten met centrale verwerking, waarbij kalkkorrels van verschillende bedrijven centraal verwerkt worden tot entmateriaal en andere calciëproducten. Bepaalde op de markt verkrijgbare entmaterialen (referentievariant) hebben reeds een ATA-certificaat. Bij de grootschalige, centrale varianten wordt geen belemmering verwacht voor verkrijgen van een ATA-certificaat. Bij de overige varianten wordt aanbevolen om niet in te zetten op certificatie en om bij de betrokken instanties gemotiveerd aan te geven dat certificatie niet noodzakelijk geacht wordt. Samengevat is die afwezigheid van de noodzaak gebaseerd op het feit dat de kalkkorrel na beperkte bewerking op dezelfde plek wordt teruggebracht, in een kalkafzettend milieu, terwijl is aangetoond dat accumulatie van zware metalen niet zal optreden.

Voor de **bedrijfsvoering** van het waterbedrijf gelden de volgende conclusies:

- Met betrekking tot handling en vervuiling geeft Waternet de voorkeur aan entmateriaal van gebroken kalkkorrels of granaatzand boven ingekocht calcië afkomstig van kalkgroeven.
- WML ondervindt geen noemenswaardige problemen met het ingekocht calcië afkomstig van kalkgroeven. Brabant Water ondervindt vergelijkbare ervaringen als Waternet met een toename van de troebeling door ingekocht calcië.

Een **overall conclusie** zal per bedrijf afhangen van de heersende prioriteiten ten aanzien van de verschillende afwegingscriteria en de daarmee samenhangende weegfactoren. Wanneer geen gewicht wordt toegekend aan de verschillende criteria lijkt de variant met lokale, droge productie van eigen entmateriaal en andere droge calcië fracties het best te scoren. De variant met lokale, in-situ productie van eigen entmateriaal en natte kalkkorrels voor de markt scoort ook hoog qua duurzaamheid, heeft een marginale netto opbrengst, echter kent een beperkter microbiologisch risico. De referentievarianten met calcië en rivierzand scoren vergelijkbaar met de best scorende variant, echter de netto opbrengsten zijn marginaal. De grootschalige varianten met centrale, droge opwerking van eigen entmateriaal en droge calcië fracties voor de markt scoren goed met betrekking tot kosten en scoren gemiddeld tot slecht met betrekking tot duurzaamheid. De scores van alle varianten op de verschillende criteria is in de onderstaande overall tabel samengevat.

Variant → [Referentie Nummer] + Naam	[ 0A ] Granaat zand	[ 0B ] Calciet	[ 0C ] Rivier zand	[ 1B ] 1 maler per reactor	[ 3 ] Centraal malen fabriek	[ 6 ] Lokaal	[ 9 ] Centraal. Bij 1 waterbedrijf	[ 12 ] Centraal. Separate plant	[ 12 + 3 ] Combi
	Referentie varianten. Inkoop entmateriaal. Natte kalkkorrels voor markt.			Lokaal, in-situ malen voor productie eigen entmateriaal. Natte kalkkorrels voor markt.		Droge productie eigen entmateriaal. Droge calciet fracties voor markt.			Combi Lokaal + Centraal
Criterium									
Netto opbrengst ( - / 0 / + )	0	0	0*	-	0	+	+	+	0
Duurzaamheid (LCA, ecopunten)	-0,6	-1,4	-2,2	-2,0	-2,0**	-2,5	-0,9	-0,05	-0,6
Besmettingsrisico microbiologie ("som" herkomst en verwerking)	0	0	0	+	+	0	0	0	+
Contaminatie chemisch, door verwerking	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Contaminatie chemisch, door accumulatie	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Advies t.a.v. Certificatie	ATA	ATA	ATA	geen ATA	geen ATA	geen ATA	ATA	ATA	geen ATA
Technische haalbaarheid	+	+	+	? pilot	? pilot	+	+	+	? pilot
Praktijkervaring Waternet (handling, vervuiling)	+	0	?	?	?	+	+	+	?

### Aanbevelingen

- Uit dit onderzoek is gebleken dat eigen calciet dienst kan doen als entmateriaal. Voor een definitieve toepassing wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de wijze waarop de bewerking van de eigen kalkkorrels het best kan worden georganiseerd.
- Uit deze studie is gebleken dat het onder bepaalde omstandigheden voor *E. Coli* mogelijk is om zich te vermeerderen op zand. Het wordt aanbevolen om de consequenties van deze bevinding voor de reguliere kwaliteitsbewaking bij de drinkwaterbereiding en voor het in de BRL K240 voorgestelde criterium voor *E. Coli* in de ruwe grondstof nader te onderzoeken.
- In deze studie is alleen de operationele duurzaamheidsimpact beschouwd, de bouw van een opwerkingsinstallatie is hierin niet meegenomen. Om de nauwkeurigheid van de duurzaamheidsanalyse te vergoten dient een situatie onderzocht te worden over een periode van meerdere jaren waarin de effecten van de bouw verdisconteerd worden. Met betrekking tot vergelijking van de varianten waarbij sprake is van één centrale hoogwaardige verwerking van kalkkorrels (met transport als gevolg) ten opzichte van de variant met een lokale hoogwaardige opwerking zou het oordeel kunnen veranderen doordat de bouw van meerdere locaties ongunstiger is dan de bouw van één locatie.

- Het wordt aanbevolen om te onderzoeken of het noodzakelijk is om de Regeling Materialen en Chemicaliën aan te vullen met kwaliteitsnormen voor calcië voor toepassing als entmateriaal.

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1	Achtergrond	13
1.2	Probleemstelling en onderzoeksvragen	17
1.3	Samenwerkingsverband	20
1.4	Leeswijzer	21
<b>2</b>	<b>Projectaanpak en methoden</b>	<b>23</b>
2.1	Inleiding	23
2.2	Transities en <i>full scale</i> experimenten	23
2.3	Varianten voor verwerking kalkkorrels en vermarkting calcië	24
2.4	Meetprogramma's en modellering	35
2.5	Praktijkervaringen verwerking kalkkorrels tot calcië	40
2.6	Praktijkeffecten ontharding hergebruikt calcië	41
2.7	Economische haalbaarheid: Marktanalyse en opbrengsten	41
2.8	Economische haalbaarheid: Kosten	41
2.9	Technische haalbaarheid	42
2.10	Duurzaamheid	42
2.11	Mogelijkheden en risico's voor certificatie	46
<b>3</b>	<b>Projectresultaten</b>	<b>47</b>
3.1	Introductie	47
3.2	De microbiologische kwaliteit van calcië	47
3.3	Gevolgen microbiologische kwaliteit calcië voor waterkwaliteit	52
3.4	De chemische kwaliteit van calcië	52
3.5	De fysische kwaliteit van calcië	54
3.6	Praktijkervaringen verwerkende partijen en behaald rendement	55
3.7	Praktijkervaringen Waternet	57
<b>4</b>	<b>Synthese en variantbeoordeling</b>	<b>61</b>
4.1	Introductie	61
4.2	Modellering concentratie zware metalen in kalkkorrel	61
4.3	Marktanalyse en opbrengst	63
4.4	Kostenanalyse	65
4.5	Technische haalbaarheid	68
4.6	LCA resultaten	69
4.7	ATA-certificatie	74
4.8	Overall synthese	78
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>82</b>
5.1	Conclusies	82

5.2	Aanbevelingen	84
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>86</b>
<b>Bijlage I</b>	<b>BRL K240</b>	<b>88</b>
	Achtergrond BRL K240	88
	Kwaliteitseisen BRL K240	88
<b>Bijlage II</b>	<b>ATA-Certificatie</b>	<b>90</b>
<b>Bijlage III</b>	<b>Methoden microbiologische bepalingen</b>	<b>94</b>
	Methode voor isolatie en (standaard) bepaling van micro-organismen	94
	Microbiologische kwaliteit van calcië	94
	Inactivatie capaciteit van het productieproces	94
	Recovery van de bepaling	94
	Afstervingsnelheid	95
<b>Bijlage IV</b>	<b>Modellering massabalans en accumulatiekans zware metalen</b>	<b>96</b>
	Introductie	96
	Conclusie	96
	Massabalans zware metalen	96
	Overdrachtsmodel zware metalen	98
	Bijdrage ZM aan effluent per bron	100
	Kan de concentratie toenemen in de korrel?	102
<b>Bijlage V</b>	<b>Kostenbepaling calcië varianten - memo Best Works</b>	<b>104</b>
<b>Bijlage VI</b>	<b>PFD's sub-varianten</b>	<b>120</b>
<b>Bijlage VII</b>	<b>Kostenberekening: referentie casus ontharding en overige algemene uitgangspunten</b>	<b>122</b>
<b>Bijlage VIII</b>	<b>Resultaten microbiologische kwaliteit calcië</b>	<b>123</b>
<b>Bijlage IX</b>	<b>Resultaten chemische kwaliteit calcië</b>	<b>127</b>
<b>Bijlage X</b>	<b>Bedrijfsbezoeken Verwerkende Partij I</b>	<b>139</b>
<b>Bijlage XI</b>	<b>Bedrijfsbezoek Verwerkende Partij II</b>	<b>144</b>
<b>Bijlage XII</b>	<b>Bedrijfsbezoek Verwerkende Partij III</b>	<b>146</b>
<b>Bijlage XIII</b>	<b>Deeltjesgrootte verdelingen</b>	<b>150</b>
<b>Bijlage XIV</b>	<b>Modellering concentraties zwaar metaal in water, natronloog en kalkkorrels</b>	<b>152</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In dit hoofdstuk wordt de achtergrond van het project omschreven. Daarbij wordt uitgelegd hoe de hardheid van drinkwater verlaagd wordt, welke reststoffen daarbij vrijkomen en op welke manier de reststoffen worden afgezet. Vervolgens wordt beschreven op welke manier de productie en de afzet van reststoffen verbeterd kan worden met betrekking tot duurzaamheid en economische waarde.

### 1.1.1 Drinkwaterontharding

Circa 50% van het Nederlandse drinkwater wordt onthard in zogenaamde korrel- of pelletreactoren (Figuur 1). Het water wordt onthard vanwege de volksgezondheid (verlaging metaal-oplossend vermogen), maatschappelijke kosten (reductie onderhoud warmwaterapparatuur en energiekosten), milieubelasting (reductie energiegebruik en kopervracht) en comfort (reductie kalkafzetting, toename klanttevredenheid) (Hofman, 2006).

Bij pelletontharding worden onderin de reactor natronloog of kalkmelk en een entmateriaal aan het water toegevoegd en kristalliseert calciumcarbonaat (kalk) op het entmateriaal. Als bijproduct ontstaat zo een ronde, vaste korrel (ook wel pellet genoemd) die voor het grootste deel bestaat uit kalk. De kalkpellets worden periodiek uit de reactoren afgetapt wanneer ze een diameter van 1 – 2 mm hebben. Als entmateriaal werd tot voor kort rivierzand of granaatzand toegepast. Thans wordt door WML, Waternet en Brabant Water ook calciet toegepast. Bijna alle Nederlandse drinkwaterbedrijven passen deze onthardingstechnologie toe. Zo ook de drinkwaterbedrijven die in voorliggend project participeren, namelijk Waternet, Dunea, PWN, WML en Brabant Water.



FIGUUR 1. ONTHARDINGSREACTOREN OP WEESPERKARSEL, WATERNET.

### 1.1.2 Reststoffen drinkwaterproductie

In Nederland wordt op deze manier jaarlijks ca. 73.000 ton kalkkorrels als reststof geproduceerd. De kalkpellets worden na aftap uit de pelletreactoren toegepast als secundaire grondstof in diverse economische sectoren, zoals de bouwsector, de agrarische sector en de minerale grondstof sector. De kalkkorrels ontstaan in verschillende maten en soorten, met variaties in grootte, chemische samenstelling en kleur (Figuur 2). Reststoffenunie Waterleidingbedrijven B.V. (hierna Reststoffenunie) heeft als taak om

financiële en duurzaamheidswaarde te creëren voor de reststoffen afkomstig van de bereiding en distributie van drinkwater. In de huidige situatie zijn de opbrengsten van de kalkkorrels net voldoende om kosten die met de afzet gemoeid zijn (veelal transport) te kunnen dekken. Door de kalkpellets in marktsegmenten met hoge potentie af te zetten stijgen de opbrengsten. Echter, de kalkpellets zijn momenteel vaak van onvoldoende kwaliteit om ook hoogwaardige marktsegmenten zoals papier, glas en voedingsmiddelenindustrie te bedienen. De kwaliteit (ergo zuiverheid) van de kalkkorrel kan verbeterd worden door aanpassing van het onthardingsproces.



FIGUUR 2. LINKS: VERSCHILLENDE KALKKORRELS. RECHTS: KALKKORRELS EN GRANAATZAND.

### 1.1.3 Duurzaamheid drinkwaterproductie

Drinkwaterbedrijven zetten zich in om de duurzaamheid van de waterketen te vergroten. In het geval van pelletontharding spelen de herkomst van het entmateriaal en de afzet van de kalkpellets daar een belangrijke rol bij. Naar verwachting is het duurzamer om het entmateriaal dichterbij de buurt van waterbedrijf te produceren. Zo is granaatzand dat als entmateriaal wordt toegepast afkomstig uit Australië. Naar verwachting is het daarnaast uit oogpunt van duurzaamheid gunstig om de kalkpellets als secundaire grondstof in te zetten in plaats van primaire kalk, is het gunstig om de pellets zo lokaal als mogelijk af te zetten, en is het tenslotte gunstig om de kalkpellets als secundaire grondstof te verwerken in een product dat gerecycled wordt, zoals glas, papier of bepaalde tapijtsoorten. Kalkkorrels vormen al hét voorbeeld van duurzaam produceren, vanwege genoemde redenen voor waterontharding. Daarmee is het passend om deze kalk af te zetten als secundaire grondstof naar economische sectoren die MVO (Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen) hoog in het vaandel hebben. Echter, zoals aangegeven voldoet de kwaliteit van de huidige kalkpellets vaak niet aan de eisen die door zulke sectoren (d.w.z. glas, papier, etc.) gesteld worden.

### 1.1.4 Verbetering kwaliteit kalkpellets

Momenteel bestaan kalkpellets vaak nog uit een kern van rivierzand of granaatzand en een schil van kalk. Toepassing van deze kalkkorrels in de glas, papier en tapijt industrie wordt bemoeilijkt door verschillende factoren:

- De kalkpellets bestaat uit twee componenten, namelijk zand en kalk. Bij verwerking van deze kalkkorrels door middel van malen zal versnelde slijtage optreden van machineonderdelen waardoor de maalkosten stijgen. Daarbij bevat het 'maalsel' ijzer, aluminium, mogelijk andere zware metalen en silicaatbestanddelen die ongewenst zijn in een aantal toepassingen. Silicaten als fijnstof zijn verdacht schadelijk voor gezondheid en milieu.
- Het ijzergehalte van de kalkpellets is in sommige gevallen te hoog, doordat de granaatzandkern te veel ijzer bevat. Ijzer is o.a. voor de papier- en glasindustrie een kritieke parameter.
- Aanhangend vocht van de kalkpellets kan leiden tot verwerkingsproblemen.
- Kalkpellets leiden vanwege hun ronde vorm tot onveilige situaties (uitglijden).



Een deel van de bovenstaande factoren kan worden verbeterd door het zand als entmateriaal in de ontharding te vervangen door calcië (calciumcarbonaat, of kalk). Ten opzichte van zand als entmateriaal heeft calcië het voordeel dat na aangroei van calciumcarbonaat uiteindelijk een kalkpellet ontstaat die uit één component bestaat, namelijk calcië met een zeer hoge zuiverheid. Daarnaast leidt de vervanging door calcië er toe dat het ijzergehalte van een groot deel van de Nederlandse kalkpellets laag genoeg wordt voor toepassing in de genoemde industrieën. WML en Brabant Water passen reeds calcië toe als entmateriaal, en Waternet stapt ten behoeve van het project over op calcië als entmateriaal.

---

***Kalkkorrels, calcië en kalk*** De begrippen kalk en calcië worden in voorliggend rapport voor dezelfde component gebruikt, namelijk calciumcarbonaat (CaCO<sub>3</sub>). Het mineraal calciumcarbonaat kent verschillende mineraalsoorten, waaronder calcië en aragoniet. Calcië vormt o.a. het hoofdbestanddeel van kalksteen, krijtgesteente en marmer, ook is het een belangrijk bestanddeel van mergel en kalkhoudende zandsteen. In dit rapport wordt de term “kalk” vooral gebruikt in relatie tot de afzetmarkt of de toepassingsmarkt van andere industrieën dan de drinkwatersector. De term “calcië” wordt zowel gebruikt voor aanduiding van het entmateriaal bij ontharding, als ook het eindproduct dat afgezet kan worden en ontstaat door kalkkorrels te malen en te zeven. De termen “kalkkorrels”, “kalkpellets” of kortweg “pellets” hebben betrekking op de korrels die als reststof ontstaan bij drinkwaterontharding. De kalkkorrels bevatten een zandkern als onthard is op granaat, rivier-, of zilverzand als entmateriaal, of bestaan nagenoeg geheel uit kalk als op calcië als entmateriaal onthard is. Bij het kristallisatieproces in pelleontharding ontstaat calcië, geen aragoniet.<sup>1</sup> Vanuit gezondheidsoogpunt kent het laatst genoemde mineraal meer bezwaren.

---

In eerder onderzoek is aangetoond dat het technologisch mogelijk en onder verschillende randvoorwaarden economisch haalbaar is om te ontharden op calcië als entmateriaal (Palmen, 2012). In dat onderzoek werd gewerkt met commercieel verkrijgbare calcië, welke afkomstig is uit Europese kalksteengroeven. Hieronder is beschreven hoe het concept van hergebruik van gemalen kalkkorrels als entmateriaal tot verdere verbeteringen leidt.

#### **1.1.5 Het concept: Productie, hergebruik en afzet van gemalen kalkkorrels**

De genoemde voordelen van Hollandse calcië als entmateriaal – zijnde een kalkkorrel met zeer hoge zuiverheid die uit één component bestaat, met een laag ijzergehalte – kunnen gecombineerd worden met de te behalen duurzaamheidswinst, namelijk lokale productie van calcië en lokale en hoogwaardige afzet van kalk(korrels):

De in de ontharding geproduceerde Nederlandse kalkkorrels worden lokaal verwerkt tot calcië als entmateriaal (circa 10 % van de stofstroom) en het resterende deel (circa 90 % van de stofstroom) wordt lokaal afgezet als hoogwaardige grondstof in de Nederlandse industrieën. De kalkkorrels van 1 – 2 mm worden verwerkt tot entmateriaal en andere kalkfracties door ze te drogen, te malen en te classificeren (zeven) tot de juiste fractie van

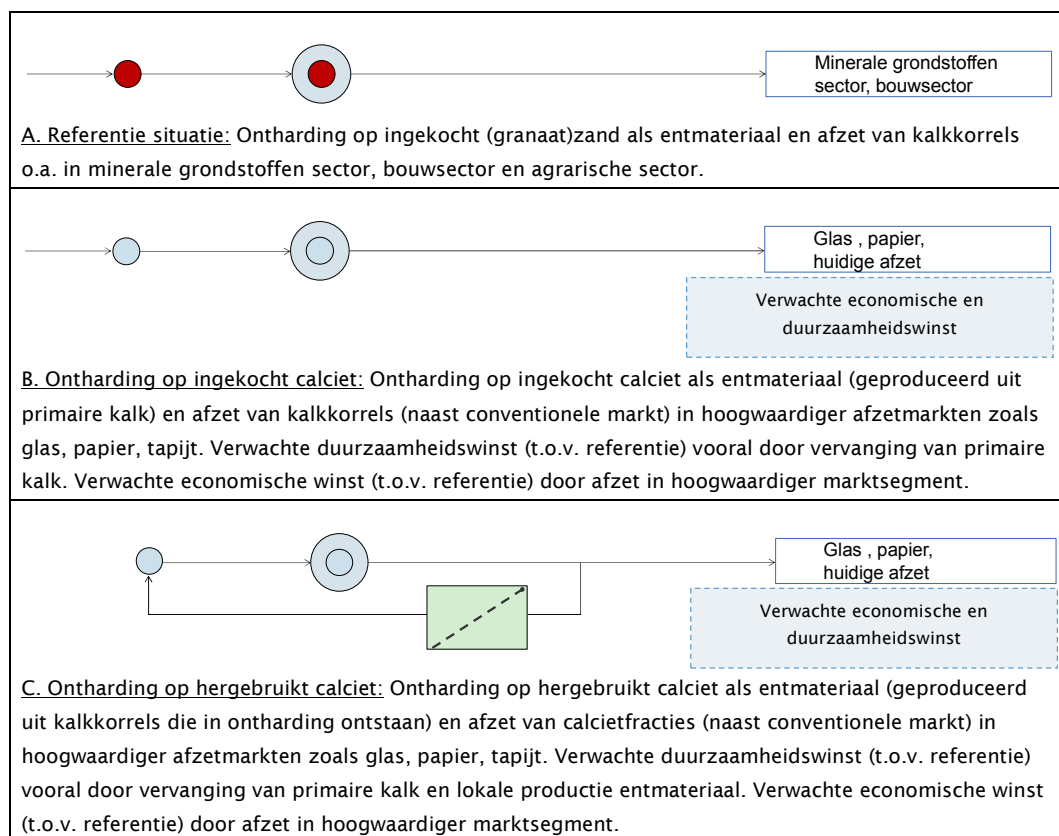
---

<sup>1</sup> Reststoffenunie heeft rond 2010 bij het proces om kalk te registreren conform de REACH-verordening moeten aantonen welke kristalstructuur deze onthardingskalk bezit. Dat kon zijn calcië of aragoniet. De laatste structuur levert aanzienlijk meer risico's op voor de volksgezondheid en zou dus bij verwerking of toepassing aan veel strengere veiligheidsvoorschriften moeten voldoen. Aangetoond is dat het calcië betrof en niet aragoniet.

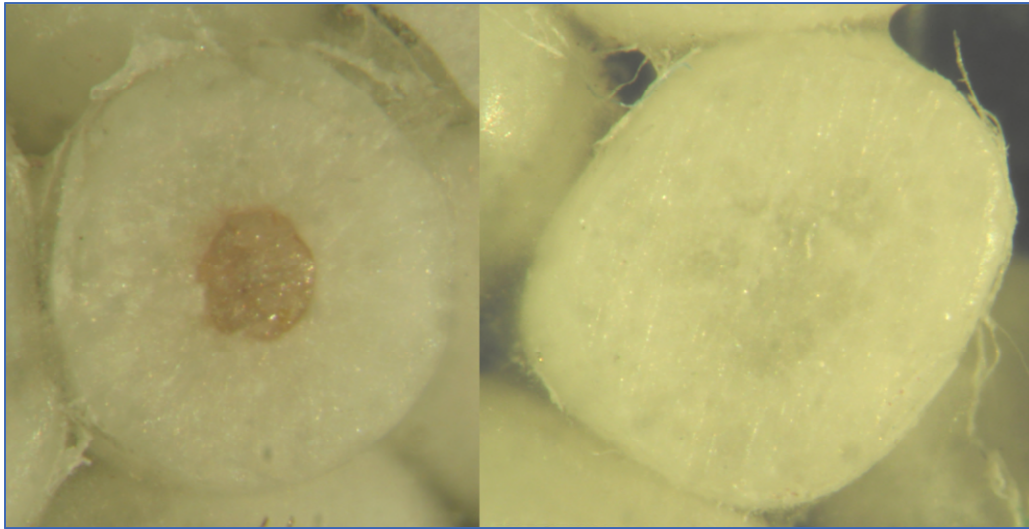
circa 0,5 mm. Die calciet fractie wordt hergebruikt als entmateriaal bij de pelletontharding van Waternet op het waterproductiebedrijf Weesperkarspel. Het restant van de Hollandse kalk wordt als secundaire grondstof afgezet in verschillende sectoren die daarmee (een deel van) de primaire kalk vervangt die nu uit het buitenland wordt ingekocht, waaronder Oostenrijk, België, Duitsland en Italië. Voor het gebruik van deze gemalen kalkpellet bestaat concrete belangstelling onder meer bij de tapijt-, papier-, en glasindustrie.

Eerste verkennende testen op proefinstallatieschaal bij Waternet hebben het *proof of principle* geleverd dat het mogelijk is om kalkpellets te drogen, te malen en te zeven en dat het mogelijk is om te ontharden op deze Hollandse calciet als entmateriaal zonder daarbij in te moeten boeten aan drinkwaterkwaliteit (Schetters 2015; Schetters, 2015). Er bestaat echter nog belangrijke onzekerheden en onduidelijkheden die bij de probleemstelling verder worden toegelicht.

In Figuur 3 is schematisch weergegeven wat in dit project de belangrijkste eigenschappen zijn van de conventionele onthardingswijze met (granaat)zand als entmateriaal (referentie situatie), ontharding met een commercieel verkrijgbaar primair kalkproduct, en hergebruik van gemalen kalkkorrels als entmateriaal. Tevens zijn de verwachtingen met betrekking tot duurzaamheidswinst en economische winst benoemd. Figuur 4 toont een foto van een dwarsdoorsnede van een kalkkorrel met een ent van granaatzand en een kalkkorrel met een ent van calciet.



FIGUUR 3. SCHEMATISCHE WEERGAVE ONTHARDINGSVARIANTEN: ENTMATERIAAL EN AFZET KALKKORRELS IN REFERENTIE SITUATIE (A), INGEKOCHT CALCIET (B) EN HERGEBRUIKT CALCIET (C).



FIGUUR 4. DOORSNEDEN VAN KALKKORRELS MET ENT VAN GRANAATZAND (LINKS) EN CALCIËET (RECHTS). DE AFMETING VAN DE KALKKORREL IS CA. 1,5 MM.

## 1.2 Probleemstelling en onderzoeksvragen

In paragraaf 1.1 is toegelicht dat de kwaliteit van de huidige kalkpellets moet verbeteren om deze af te kunnen zetten in hoogwaardige sectoren. Daartoe dient de zandkern vervangen te worden door een kern van calciëet. Uit een indicatieve economische en duurzaamheidstechnische evaluatie blijkt dat de lokale productie van calciëet als entmateriaal (middels drogen, malen en zeven) gunstiger is dan inkoop van commercieel verkrijgbaar, uit primair kalk geproduceerd calciëet uit het buitenland (Schetters, 2015). Het proof of principle van productie van calciëet als entmateriaal en toepassing van dat entmateriaal in de ontharding is op pilot schaal aangetoond (Schetters, 2015). Echter, voordat toepassing op *full scale* opportuun, is dient onderzocht te worden of hergebruik van het materiaal als zodanig mogelijk is waarbij de drinkwaterkwaliteit gegarandeerd blijft, welke maatregelen eventueel noodzakelijk zijn om de drinkwaterkwaliteit te garanderen, en of de verwachtingen ten aanzien van te behalen (duurzaamheids)winst realistisch zijn. Specifiek zijn in dit project de volgende onderzoeksvragen en onzekerheden onderzocht.

### 1.2.1 Blijft de microbiologische veiligheid van drinkwater geborgd?

Het is van belang dat de toegepaste materialen bij drinkwaterbereiding van dusdanige kwaliteit zijn dat de microbiologische veiligheid van het drinkwater gegarandeerd blijft. Voor de toevoeging van entzand in onthardingsreactoren bij de drinkwaterbereiding is de BRL K240 (beoordelingsrichtlijn) ontwikkeld waarin microbiologische kwaliteitscriteria voor het product zijn opgenomen en aanvullende eisen zijn gesteld voor de productie van het entzand. Deze criteria en eisen zijn bedoeld om te kunnen voldoen aan de microbiologische eisen voor drinkwater in het Drinkwaterbesluit. Onderzocht is of in het traject van (meervoudige) opslag, transport en verwerking (drogen, malen, zeven) van de kalkpellets tot entmateriaal microbiologische risico's bestaan die van invloed zijn op de veiligheid van het drinkwater. Deze risico's zijn zoveel als mogelijk en in lijn met de drinkwaterwetgeving en de BRL K240 kwalitatief (soorten bedreigingen) en kwantitatief (infectierisico) beoordeeld. Op grond daarvan zijn aanbevelingen geformuleerd voor (i) de microbiologische kwaliteit van het calciëet entmateriaal, en (ii) voor de productie, opslag en het transport van het materiaal. Meer achtergrondinformatie en de microbiologische kwaliteitseisen van de BRL K240 zijn opgenomen in Bijlage I.

Een andere onderzoeksvraag is gerelateerd aan de microbiologische bepalingsmethode. Voor korrelige materialen als entzand is (als onderdeel van de BRL K240) een eenvoudige methode ontwikkeld om micro-organismen te isoleren en volgens een standaard methode te bepalen. De methode is ontwikkeld om de besmettingsgraad van het water bij toepassing van het materiaal in de praktijk zo goed als mogelijk te bepalen. Voor calciet wordt dezelfde methodiek toegepast om de fecale besmetting van het toegepaste materiaal te bepalen. Over de recovery van deze methode is nog niets bekend. De recovery is de verhouding tussen het aantal opgebrachte en teruggevonden micro-organismen en is van belang bij “spike-experimenten”. Deze experimenten zijn uitgevoerd om het verschil te onderzoeken tussen het afstervingsgedrag van micro-organismen op zand en op calciet. Calciet wordt na winning en productie voor de toepassing in de onthardingsreactoren opgeslagen. Bij opslag vindt afsterving plaats van de micro-organismen die door mogelijke fecale besmetting in het materiaal zijn gekomen. Naast de concentratie fecale micro-organismen die bij een mogelijke besmetting in het calciet zijn gekomen, is de snelheid waarmee deze micro-organismen afsterven in het materiaal en de toegepaste opslagperiode bepalend voor de uiteindelijke microbiologische kwaliteit van het calciet. Verwacht wordt dat de afstervingsnelheid in calciet verschilt van de afsterving in zand door het verschil in de aard van de materialen. De vraag is dan ook in welke mate de afsterving in calciet verschilt van de afsterving in andere entmaterialen als rivier- of grovezand en granaatzand. Onderzocht is wat de recovery van de methode is en of de recovery van zand en calciet verschilt.

De doelen van het microbiologisch onderzoek zijn:

- bepaling van de microbiologische kwaliteit van calciet met de in BRL K240 beschreven methode, toetsing aan de in de BRL genoemde kwaliteitscriteria en opsporing van mogelijke microbiologische risico's in het traject van winning, transport, productie en opslag;
- bepaling van de recovery van deze BRL K240 methode voor de belangrijkste fecale indicator *Escherichia coli* in zand en calciet;
- bepaling van de afstervingsnelheid van *E. coli* in calciet en vergelijking met de afsterving in de andere entmaterialen (zand/granaatzand).
- vorming van een oordeel met betrekking tot het microbiologisch risico voor de drinkwaterkwaliteit door toepassing van hergebruikt calciet als entmateriaal, gebaseerd op een kwantitatieve benadering.

### 1.2.2 Is het entmateriaal certificeerbaar?

Bij drinkwaterbereiding toegepaste chemicaliën en materialen dienen over een erkende kwaliteitsverklaring te beschikken waaruit blijkt dat geen stoffen aan het drinkwater worden afgegeven in hoeveelheden die schadelijk zijn voor de menselijke gezondheid. Daarnaast mag toepassing van het materiaal niet leiden tot microbiologisch onveilig drinkwater. De microbiologische veiligheid wordt onderzocht zoals omschreven in paragraaf 1.2.1. Om inzicht te verkrijgen in chemische besmettingsrisico's en daarmee samenhangend de kans op de verkrijgbaarheid van een certificaat is de chemische kwaliteit van de kalkkorrels en calciet in de gehele keten bepaald, is de kans op ophoping van zware metalen in kalkkorrels en afgifte aan drinkwater onderzocht en is voor een aantal varianten voor de verwerking van kalkkorrels en afzet van calciet onderzocht in hoeverre ATA-certificatie noodzakelijk en haalbaar is.

Het onderzoek naar de chemische kwaliteit van calciet is gericht op het controleren van eventuele veranderingen van deze kwaliteit in keten van kalkkorrel tot entmateriaal. Potentiële risico's zijn contaminatie van het calciet door contact met de verwerkingsapparatuur (slijtage van metalen onderdelen, of besmetting door direct contact

met een verhittingsbron) en ophoping van zware metalen in calciet en afgifte daarvan aan water. Voor beide gevallen is de verwachting dat de kans op het optreden van deze verschijnselen erg klein is.

Zoals aangegeven dienen materialen die in aanraking komen met drinkwater strikt genomen te beschikken over een erkende kwaliteitsverklaring (ATA-certificaat). In dit project gaat het om een atypisch geval aangezien materiaal dat gevormd wordt door contact met drinkwater na bewerking wordt teruggevoerd op dezelfde plek. Deze situatie kent overeenkomsten met gereactiveerde actieve kool, welke geen ATA-certificaat heeft. In Bijlage II wordt aanvullende informatie gegeven over ATA-certificatie.

### 1.2.3 Wordt aan alle wettelijke en bedrijfseigen waterkwaliteitseisen voldaan?

Het primaire belang van het drinkwaterbedrijf is de continue productie en levering van drinkwater dat voldoet aan alle waterkwaliteitseisen, zowel wettelijk als bedrijfsspecifiek, zonder noemenswaardige leveringsonderbrekingen. Onderzocht is of het drinkwater aan alle microbiologische en chemische eisen, waaronder ook de eisen t.a.v. de totale hardheid, voldoet tijdens verschillende perioden dat onthard is met ingekocht of hergebruikt calciet als entmateriaal.

### 1.2.4 Welke inspanning is benodigd om het entmateriaal op specificatie te brengen?

Er zijn verschillende manieren om de kalkkorrels op specificatie te brengen tot de gewenste calcietfractie. Er zijn verscheidene manieren om de kalkkorrels te drogen, er zijn verschillende maalprincipes en apparatuur uitvoeringen en er zijn verschillende classificatie principes om vaste stof te scheiden, waaronder zeven. De efficiëntie van het maal- en zeefproces ten aanzien van de productie van de juiste fractie entmateriaal is afhankelijk van het verwerkingsproces, de verwerkingsprincipes en het type apparatuur, de instellingen en de hardheid van de kalkkorrels. Onderzocht is welke inspanningen benodigd zijn om het entmateriaal op specificatie te produceren, wat het productierendement is, hoeveel energie en mankracht daarbij benodigd is, en wat de reproduceerbaarheid van de maal- en zeefprestatie is.

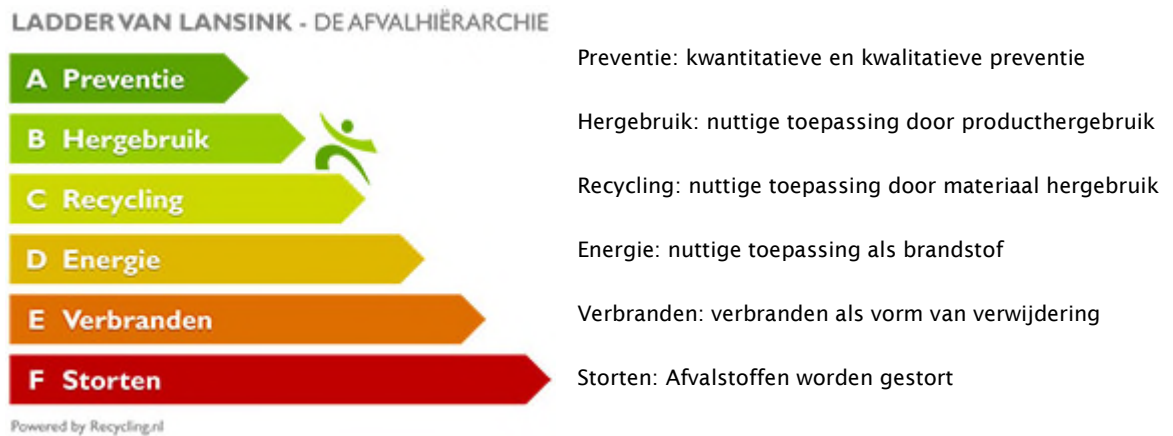
### 1.2.5 Wat is de haalbaarheid van Hollandse calciet?

De kansrijkheid om het onderzochte concept op *full scale* toe te passen is afhankelijk van de duurzaamheidstechnische haalbaarheid, de economische haalbaarheid en daaraan gekoppeld de marktpotentie. Uiteraard is ook de technische haalbaarheid van belang, de onderzoeksvragen die zich daar op richten zijn beschreven in de paragrafen 1.2.1 - 1.2.4. De potentiële afzetsegmenten voor Hollandse kalk en diens eisen en wensen ten aanzien van de kalkkwaliteit zijn onderzocht. Daarbij is gezocht naar synergievoordelen met betrekking tot het malen en zeven voor de productie van calciet als entmateriaal en calcietproducten voor de markt. Hiertoe zijn verschillende varianten voor de verwerking van kalkkorrels en afzet van calciet opgesteld en onderzocht. Deze varianten zijn onderscheidend met betrekking tot het technische verwerkingsproces en de organisatorische aspecten van de verwerking en vermarkting. Naast de marktpotentie zijn voor de economische haalbaarheid o.a. de volgende factoren van belang:

- Het verwerkingsrendement van kalkkorrels tot calciet. Het rendement hangt af van de exacte toepassing, de ondermaat van de gemalen kalkkorrels worden in bepaalde varianten als product verkocht, in andere varianten wordt de ondermaat als afvalstroom afgevoerd.
- De verwerkingskosten van kalkkorrels tot calciet: CAPEX (capital expenditure, ofwel investeringskosten) en OPEX (operational expenditure, ofwel exploitatie kosten).

- Het verbruik van hergebruikt calciet als entmateriaal ten opzichte van het referentie entmateriaal.
- Eventuele meerkosten in het drinkwaterproces veroorzaakt door toepassing van hergebruikt calciet als entmateriaal.

Naast deze economische en technologische onderzoeksvragen is ook de duurzaamheidsimpact van de verschillende varianten voor de verwerking van kalkkorrels en afzet van calciet onderzocht. Er zou in Nederland circa 5.000 ton calciet per jaar nodig zijn om alle onthardingsinstallaties van dit entmateriaal te voorzien. Het deel van de kalkkorrels dat opgewerkt wordt tot entmateriaal stijgt met één gradatie van niveau C naar B op de duurzaamheidsindicator volgens de Ladder van Lansink (Figuur 5). Wanneer Nederlandse industrieën gebruik maken van Nederlandse kalk (geproduceerd uit de reststof van ontharding) in plaats van primaire kalk afkomstig uit buitenlandse kalkmijnen wordt ook die bedrijfsvoering duurzamer door reductie van de transportafstand en vervanging van primaire kalk door een secundaire grondstof. De toepassing van secundaire kalkproducten die gerecycled worden, waaronder glas of papier, draagt daarnaast verder bij aan de circulaire economie.



FIGUUR 5. DE LADDER VAN LANSINK, EEN DUURZAAMHEIDSINDICATOR VOOR AFVALBEHEER.

### 1.3 Samenwerkingsverband

De volgende partijen hebben in dit project samengewerkt:

- Waternet is het enige waterbedrijf in Nederland dat zich richt op de gehele watercyclus. Waternet produceert drinkwater, zuivert afvalwater en houdt het oppervlaktewater op peil en schoon. Waternet opereert in opdracht van Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en de gemeente Amsterdam. De *full scale* testen met hergebruikt calciet zijn in dit project bij Waternet uitgevoerd.
- Reststoffenunie Waterleidingbedrijven B.V. (hierna Reststoffenunie) heeft als taak om financiële en duurzaamheidswaarde te creëren voor de restproducten afkomstig van de bereiding en distributie van drinkwater. Reststoffenunie is een initiatief van de Nederlandse drinkwaterbedrijven en werkt in de dagelijkse praktijk als een Shared Service Center voor de participanten. Reststoffenunie verzorgt de logistiek en inkoop van hergebruikt calciet binnen dit project en voert de marktanalyse uit.
- Dunea is het drinkwaterbedrijf van het westelijk deel van de provincie Zuid-Holland. Zij beheren de duinen tussen Monster en Katwijk en beschermen de drinkwaterwinning. Dunea, PWN, Waternet en Evides hebben een gezamenlijk

onderzoeksprogramma (DPWE<sup>2</sup>). Dunea participeert via dat onderzoeksprogramma in dit project.

- PWN is het drinkwaterbedrijf van de provincie Noord-Holland. Zij beheren de natuur tussen Wijk aan Zee en Bergen, en tussen IJmuiden en Zandvoort. Dunea, PWN, Waternet en Evides hebben een gezamenlijk onderzoeksprogramma (DPWE). PWN participeert via dat onderzoeksprogramma in dit project.
- WML is het drinkwaterbedrijf van de provincie Limburg, voert sinds 2008 onderzoek uit naar toepassing van calciet als entmateriaal en past calciet als entmateriaal sinds 2014 toe op hun grootste onthardingsinstallatie.
- Brabant Water is het drinkwaterbedrijf van de provincie Brabant en past calciet als entmateriaal toe op een groot deel van hun onthardingsinstallaties en is voornemens om calciet op alle ontharding toe te passen.
- KWR Watercycle Research Institute (hierna KWR) is de kennisinstelling die kennis ontwikkelt en ontsluit voor organisaties in de watercyclus zoals drinkwaterbedrijven, waterschappen, overheden en de industrie. Binnen dit project voert KWR een groot deel van de kwaliteitsanalyses uit, daarnaast is KWR verantwoordelijk voor resultaat synthese, rapportage en projectmanagement.

#### 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de projectaanpak. In hoofdstuk 3 zijn de projectresultaten gepresenteerd en bediscussieerd. In hoofdstuk 4 zijn deze resultaten verwerkt in een synthese van verschillende varianten, waarbij ook de kostenberekeningen en duurzaamheidsimpact is betrokken. Het hoofdstuk sluit af met een overall synthese. In hoofdstuk 5 worden de conclusies gepresenteerd.

In voorliggende publieke versie van het rapport is bedrijfsgevoelige informatie met betrekking tot de kwantificering van kosten en opbrengsten in een laag detail niveau weergegeven, de beschrijving van marktsituatie voor kalkkorrels is versoerd en de minerale grondstofleveranciers waarmee in dit project is samengewerkt zijn geanonimiseerd (Verwerkende partij I, II of III).

---

<sup>2</sup> Ten tijde van het project is Evides toegetreden aan het DPW programma.





## 2 Projectaanpak en methoden

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de projectaanpak en gehanteerde methoden beschreven. Op hoofdlijnen is het project als volgt aangepakt:

In de periode tussen begin 2014 – medio 2015 zijn testen uitgevoerd op de *full scale* onthardingsinstallatie van Waterproductiebedrijf Weesperkarspel van Waternet. In de zomer van 2014 en de winter 2014/2015 zijn kalkkorrels van Weesperkarspel en IJzeren Kuilen (WML) door verschillende partijen verwerkt tot calciënt. De logistiek is georganiseerd door Reststoffenunie. In de hele keten van uitgaande kalkkorrels, transport, verwerking en opslag van kalkkorrels, transport en teruglevering van calciënt bij Weesperkarspel is op verschillende momenten en verschillende monsterpunten de chemische, microbiologische en fysische kwaliteit van calciënt bepaald. Middels modellering is onderzocht of accumulatie van verontreinigingen in de kalkkorrels door hergebruik van calciënt en afgifte naar drinkwater een risico vormt. Er zijn verschillende alternatieve varianten voor de verwerking van kalkkorrels en de afzet van calciënt gedefinieerd en deze varianten zijn beoordeeld op de technische, financiële, duurzaamheidstechnische en certificatie-gerelateerde haalbaarheid.

### 2.2 Transitie en *full scale* experimenten

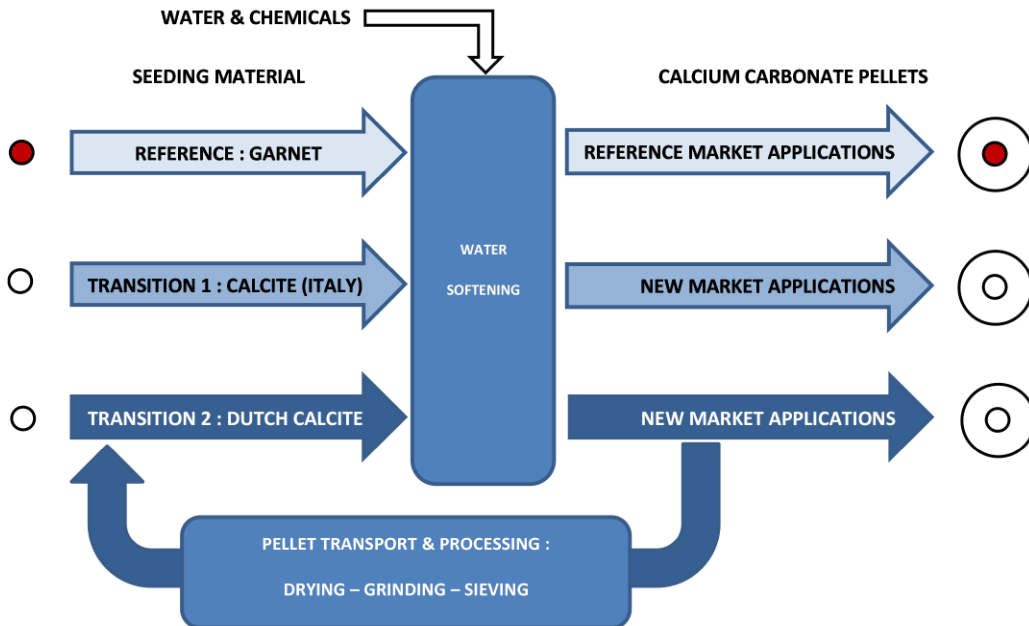
De testen met hergebruik van gemalen kalkkorrels als ent (hergebruikt calciënt) zijn op *full scale* bij de ontharding van productielocatie Weesperkarspel van Waternet uitgevoerd in de periode tussen begin 2014 – medio 2015. Begin 2014 is de ontharding overgeschakeld van granaatzand als ent naar ingekocht calciënt (afkomstig uit een Italiaanse mijn) als entmateriaal om op deze wijze geleidelijk aan zandvrije kalkkorrels te produceren. Deze overgang wordt in Figuur 6 weergegeven als “Transitie 1”. De zandvrije kalkkorrels die hierbij gevormd worden, zijn door drie partijen in twee perioden (zomer 2014 en winter 2014/2015) verwerkt tot calciënt. De inzet van hergebruikt calciënt wordt in Figuur 6 weergegeven als “Transitie 2”. Met de teruggeleverde batches calciënt kon steeds enkele weken onthard worden. In de perioden tussen de inzet van hergebruikt calciënt is ingekocht calciënt (afkomstig uit Italiaanse mijn) ingezet.

De logistiek omtrent kalkkorrels en calciënt is in Tabel 1 samengevat.

TABEL 1. LOGISTIEK KALKKORRELS EN CALCIËT

Bedrijf :	Verwerkende partij I	Verwerkende partij II	Verwerkende partij III
Periode :	zomer 2014	winter 2015	winter 2015
Naam proef :	Zomerproef	Winterproef	
<b>Kalkkorrels heen</b>			
- Bron kalkkorrels	Weesperkarspel	Weesperkarspel	OPB IJzeren Kuilen (WML)
- Aantal transporten	2	5	5
- Massa	ca. 50 ton	ca. 125 ton	ca. 125 ton
- Data	juni – augustus 2014	december 2014 – januari 2015	feb 2015
<b>Calcië terug</b>			
- Aantal transporten	1	1	2
- Massa	ca. 23 ton	ca. 26 ton	ca. 25 + 25 ton
- Data	oktober 2014	februari 2015	maart 2015

Weesperkarspel levert circa een derde van het Amsterdamse drinkwater. Eind 2013 heeft Waternet een FMECA (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis) uitgevoerd op basis waarvan de belangrijkste risico's voor waterkwaliteit, de calciëstroom en bedrijfsvoeringstechnische zaken zijn geïdentificeerd. Om te garanderen dat de bedrijfsvoering naar wens verloopt en de waterkwaliteit aan de bedrijfseigen en wettelijke eisen voldoet zijn deze zaken structureel door Waternet gemonitord.



FIGUUR 6. DOORLOPEN TRANSITIES ENTMATERIAAL OP WEESPERKARSPER.

### 2.3 Varianten voor verwerking kalkkorrels en vermarkting calcië

Gedurende het project is gebleken dat vele mogelijkheden zijn om kalkkorrels te verwerken, tot verschillende calcië producten, op verschillende schaalgrootten en locaties. Combinaties van zulke variabelen hebben varianten voor de verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calcië opgeleverd. De drie belangrijkste variabelen zijn schaalgrootte, materiaalstromen

en verwerkingsproces en de organisatiewijze. Per variabele zijn gelden verschillende sub-variabelen:

#### Schaalgrootte:

- On-site verwerking van kalkkorrels: reactorniveau (in-situ), of site-niveau
- Off-site verwerking van kalkkorrels: regionaal of nationaal

#### Materiaalstromen en verwerkingsproces:

- Fabriek exclusief voor productie van calcië-ent voor drinkwaterbedrijven (*dedicated*).
- Fabriek die ook andere materialen verwerkt voor andere sectoren (*non dedicated*).
  
- Hergebruik van calcië-ent op basis van eigen kalkkorrels
- Hergebruik van calcië-ent op basis van kalkkorrels van een “willekeurige” onthardingsfabriek
  
- Kalkkorrel verwerking tot alleen calcië entmateriaal
- Kalkkorrel verwerking tot calciësoorten van verschillende specificatie
- Het geproduceerde calcië eindproduct kan nat of droog zijn.

#### Organisatiemodel:

- Verwerking van kalkkorrels tot calcië in beheer van het drinkwaterbedrijf
- Oprichting van een nieuwe fabriek (exclusief voor drinkwater) en exploitatie door (of onder beheer van) bijvoorbeeld Reststoffenunie of een derde partij
- Verwerking van kalkkorrels bij bestaande bedrijven die mineralen verwerken.

Uit combinaties van bovenstaande variabelen kunnen talloze varianten gevormd worden. Tijdens de projectbespreking d.d. 15 december 2014 is door de gehele projectgroep een eerste aanzet gedaan voor uit te werken varianten. Begin 2015 zijn de varianten nader vormgegeven en uitgeselecteerd door Reststoffenunie, Best Works (bedrijf ingehuurd voor kosten bepaling) en KWR. De selectie is met name gebaseerd op het volgende uitgangspunt:

Nat, in-line malen van kalkkorrels is alleen rendabel voor de productie van eigen entmateriaal. Om verschillende calcië eindproducten te kunnen vermarkten is het noodzakelijk om calcië te drogen, te malen en te zeven/classificeren.

Hieronder zijn de selecteerde varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calcië omschreven. De omschrijving is tevens voorzien van een *process flow diagram* (PFD). Het PFD is een schematische voorstelling, opgesteld op basis van een fictieve onthardingsfabriek met 5 reactoren. Aftap van de kalkkorrels vindt aan de onderkant van de reactoren plaats, aanvoer van entmateriaal aan de bovenzijde. In de PFD zijn de volgende symbolen gehanteerd:

- S = Silo. De opslag van entmateriaal of calcië eindproducten.
- W = Wasser. Het entmateriaal wordt gewassen voordat het in de reactoren wordt gebracht om te voorkomen dat de fijne fractie in de reactoren terecht komt.
- D = Droger. De kalkkorrels worden gedroogd voordat ze vermalen worden.
- M = Maler. Het apparaat dat kalkkorrels vermaalt.
- Z = Zeef. De vermalen van de kalkkorrels wordt het materiaal in verschillende fracties gezeefd.

De codering van de varianten sluit niet op elkaar aan doordat er een selectiestap heeft plaats gevonden en bepaalde varianten niet verder zijn uitgewerkt. In Bijlage V (over kosten) is weergegeven welke varianten initieel beschouwd zijn.

Naast weergave van de PFD is tevens een schematische massabalans weergegeven. Deze massabalans geeft op hoofdlijnen weer hoe de massastromen (vaste stoffen) verlopen en hoe groot deze zijn. De getallen zijn steeds gebaseerd op de verwijdering van 1 massa eenheid calciet uit het te ontharden water. De kostenanalyse en de LCA analyse zijn op deze massabalansen gebaseerd. Daarbij zijn de volgende symbolen gehanteerd:

- W = Water, de massa calciet die uit het water verwijderd wordt.
- E = Ent, de massa entmateriaal die aan de ontharding wordt toegevoegd.
- K = Kalkkorrels, de massa kalkkorrels die ontstaat in het onthardingsproces.
- I = Inkoop, de massa entmateriaal die van een externe leverancier wordt ingekocht.
- V = Verkoop, de massa kalkkorrel (met of zonder zandkern) of droge calciet die voor vermarkting beschikbaar is.
- P = Processing, de massa kalkkorrels die verwerkt (gemalen) wordt.
- A = Afval, de massa die na verwerking als afval (riolering, slibveldje) afgevoerd wordt en daarmee niet voor verkoop of een ander doel beschikbaar is.

De volgende aannames zijn gehanteerd bij de massabalansen (deze massastromen zijn ook bij de LCA gebruikt):

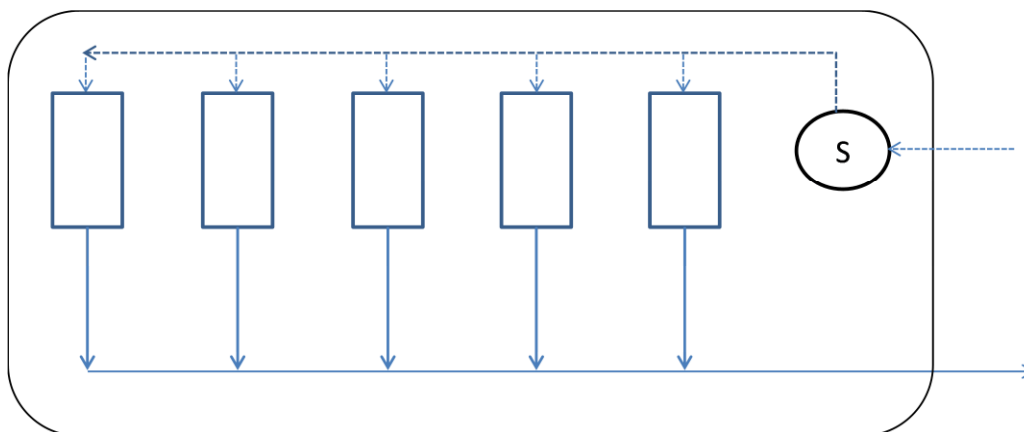
- Het rendement van een natte maalvoorziening is 50%, de fijne fracties wordt uitgewassen en afgevoerd.
- Het rendement van een droge maalvoorziening betrokken op het totale volume is 100%, dat wil zeggen dat alle droge calciet afgezet kan worden.
- De benodigde hoeveelheid entmateriaal bedraagt 10% van de kalkkorrelproductie.

Nadat de verschillende varianten beschreven zijn volgt een samenvattend overzicht in tabelvorm met de belangrijkste eigenschappen per variant.

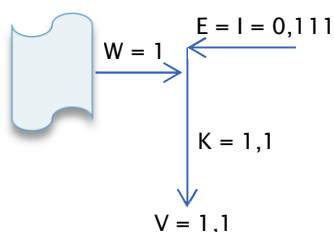
### 2.3.1 Variant 0 – Referentie

Variant 0 is de referentievariant. In deze variant wordt entmateriaal van een externe partij ingekocht (granaatzand, calciet of rivierzand). De leverancier produceert het entmateriaal niet dedicated voor de drinkwatersector.

Voor deze variant is een kostenanalyse en een LCA uitgevoerd.



FIGUUR 7. PFD VARIANT 0 - REFERENTIE

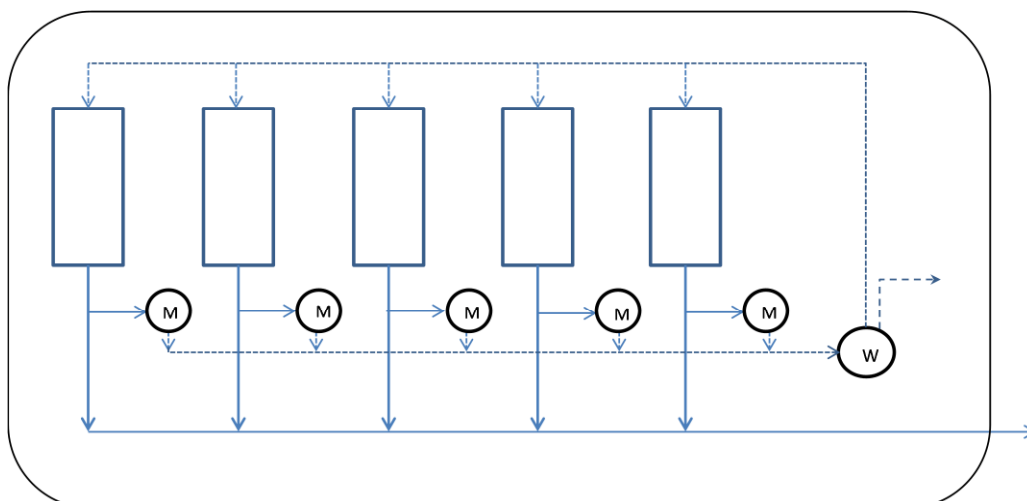


FIGUUR 8. MASSABALANS VARIANT 0 - REFERENTIE.

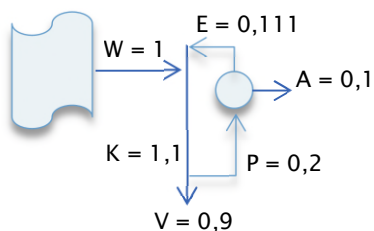
### 2.3.2 Variant 1B – in-situ nat malen op reactorniveau voor eigen ent, natte kalkkorrels voor markt

In Variant 1B (1Wasser) wordt calciet als entmateriaal voor één fabriek in eigen beheer in de zuivering geproduceerd uit eigen kalkkorrels die bij de ontharding ontstaan. De productie van entmateriaal vindt plaats door het materiaal nat te malen op reactorniveau. Uit elke reactor worden kalkkorrels afgevoerd, en elke reactor heeft een eigen maalvoorziening voor de productie van entmateriaal. De maler heeft een beperkt rendement (50%) omdat een relatief groot aandeel fines ontstaat (kleine deeltjes). De fines worden in de water verwijderd, er is één water in deze variant. De fines worden als afvalstof afgevoerd (slibveldje of riool), ze zijn niet beschikbaar voor verkoop. Het entmateriaal blijft in een gesloten systeem in een korte cyclus binnen de onthardingsfabriek ('reflux').

Voor deze variant is een kostenanalyse en een LCA uitgevoerd.



FIGUUR 9. PFD VARIANT 1B - IN-SITU, NAT PRODUCEREN EIGEN ENT, NATTE KALKKORRELS VOOR MARKT. 1 ONTHARDING, NAT MALEN OP REACTORNIVEAU, 1 WASSER.



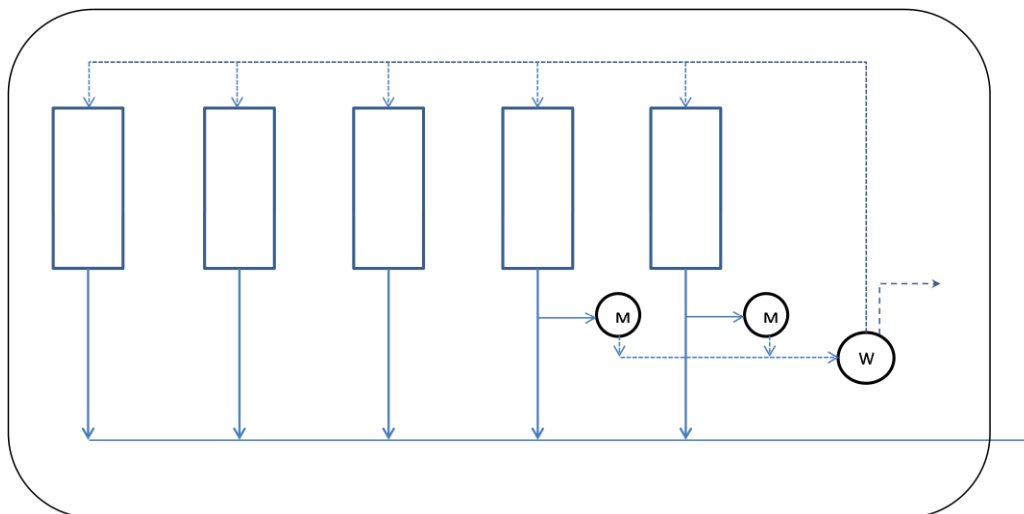
FIGUUR 10. MASSABALANS VARIANT 1B - IN-SITU, NAT PRODUCEREN EIGEN ENT, NATTE KALKKORRELS VOOR MARKT.

Een subvariant hierop is een PFD met 5 malers en 5 wassers, deze PFD is in Bijlage VI weergegeven.

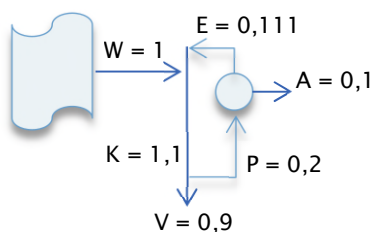
### 2.3.3 Variant 3 – in-situ nat malen op fabrieksniveau voor eigen ent, natte kalkkorrels voor markt

In Variant 3 wordt calcië als entmateriaal in eigen beheer in de zuivering geproduceerd uit eigen kalkkorrels die bij de ontharding ontstaan. De productie vindt plaats door het materiaal nat te malen (centraal, d.w.z. niet bij elke reactor). Uit twee van de vijf reactoren worden de kalkkorrels afgevoerd t.b.v. entproductie. Deze twee reactoren hebben één maalvoorziening. De maalvoorziening heeft een beperkt rendement (50%) omdat een relatief groot aandeel fines ontstaat (kleine deeltjes). De fines worden in de wasser verwijderd, er is één wasser in deze variant. De fines worden als afvalstof afgevoerd (slibveldje of riool), ze zijn niet beschikbaar voor verkoop. Het entmateriaal blijft in een gesloten systeem in een korte cyclus binnen de onthardingsfabriek ('reflux').

Voor deze variant is alleen kostenanalyse uitgevoerd. De LCA is gelijk aan de LCA voor Variant 1B.



FIGUUR 11. PFD VARIANT 3 - IN-SITU NAT MALEN OP FABRIEKNIVEAU, NATTE KALKKORRELS VOOR MARKT. 1 ONTHARDING, NAT MALEN CENTRAAL (2 REACTOREN, 2 MALERS, 1 WASSER)



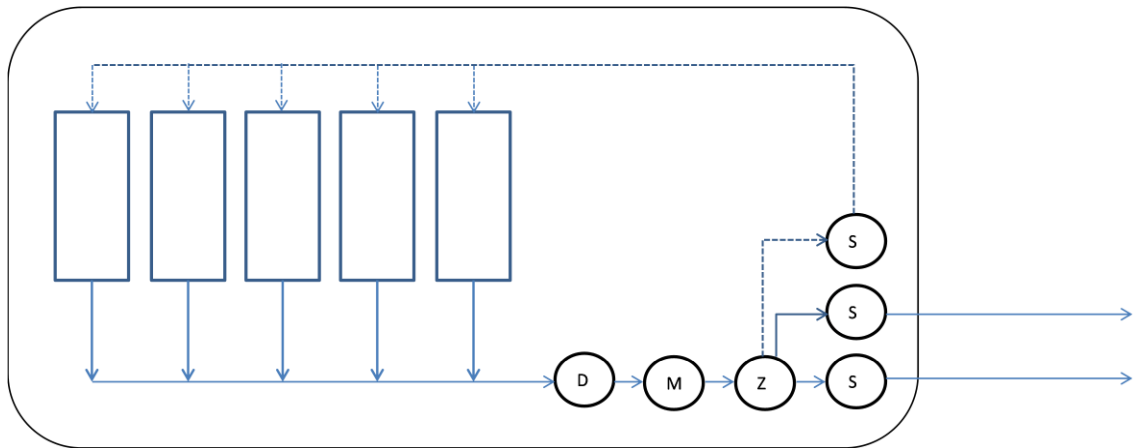
FIGUUR 12. MASSABALANS VARIANT 3 - IN-SITU NAT MALEN OP FABRIEKNIVEAU, NATTE KALKKORRELS VOOR MARKT.

In 0 staan de PFD's van twee subvarianten op Variant 3.

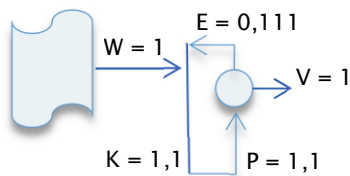
#### 2.3.4 Variant 6 - Lokaal droog malen, productie eigen ent, droge fracties voor markt

In Variant 6 wordt calciet als entmateriaal in eigen beheer op eigen terrein geproduceerd uit eigen kalkkorrels die bij de ontharding ontstaan. De verwerking vindt on-site in eigen beheer plaats door het materiaal te drogen, te malen en te zeven. Het rendement van dit proces is door toevoeging van een zeefstap groter dan de natte maalvoorziening. Weliswaar zal het entmateriaal een kleine fractie bevatten maar deze is ten opzichte van de andere massastromen verwaarloosbaar. Deze fines worden in de wasser verwijderd. Het entmateriaal blijft in een gesloten systeem in een korte cyclus binnen de onthardingsfabriek ('reflux'). De overige droge calcietproducten (naast calciet-ent) worden opgeslagen en vermarkt.

Voor deze variant is een kostenanalyse en een LCA uitgevoerd.



FIGUUR 13. PFD VARIANT 6 - LOKAAL DROOG MALEN, PRODUCTIE EIGEN ENT, DROGE CALCIET FRACTIES VOOR MARKT.



FIGUUR 14. MASSABALANS VARIANT 6 - LOKAAL DROOG MALEN, PRODUCTIE EIGEN ENT, DROGE CALCIET FRACTIES VOOR MARKT.

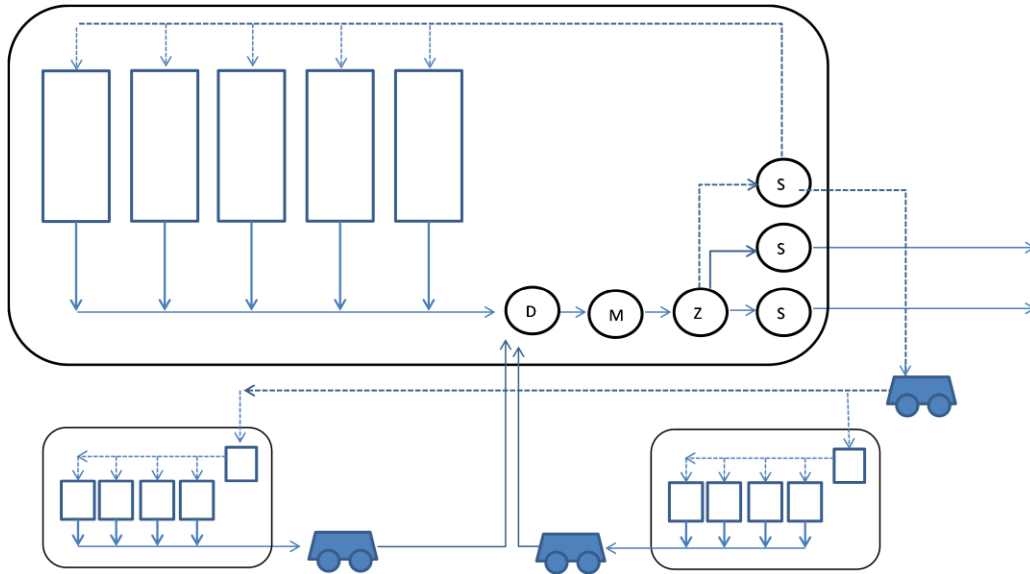
### 2.3.5 Variant 9 - Centraal droog malen bij waterbedrijf, kalkkorrels van verschillende waterbedrijven, productie eigen ent en droge calciet fracties voor markt

In Variant 9 wordt calciet als entmateriaal in beheer van bedrijf X geproduceerd, on site bij bedrijf X, uit de kalkkorrels van bedrijf X en de kalkkorrels van enkele andere bedrijven (twee in het voorbeeld op de PFD<sup>3</sup>). De verwerking vindt plaats door het materiaal te drogen, te malen en te zeven. Het rendement van dit proces is door toevoeging van een zeefstap groter dan de natte maalvoorziening. Het entmateriaal zal een kleine fractie bevatten die in wassers verwijderd dient te worden. De calciet-ent wordt toegepast door het kalkkorrelverwerkende bedrijf maar ook door collega waterbedrijven. Daarmee blijft een deel van het entmateriaal binnen het fabrieksterrein en een deel wordt gedistribueerd naar andere onthardingsfabrieken. Het systeem dat het entmateriaal produceert is nagenoeg geheel gesloten. De overige droge calcietproducten (naast calciet-ent) worden opgeslagen en vermarkt.

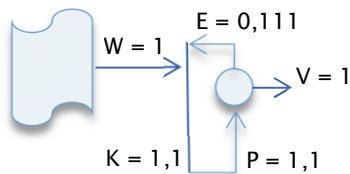
Voor deze variant is een kostenanalyse en een LCA uitgevoerd.

<sup>3</sup> Ten behoeve van de LCA is een subvariant beschouwd, namelijk een PFD met 3 andere bedrijven (dus 4 in totaal). Deze variant heet Variant 9B in dit rapport.





FIGUUR 15. PFD VARIANT 9 – CENTRAAL DROOG MALEN BIJ WATERBEDRIJF, KALKKORRELS VAN VERSCHILLENDE WATERBEDRIJVEN, PRODUCTIE EIGEN ENT EN DROGE CALCIET FRACTIES VOOR MARKT

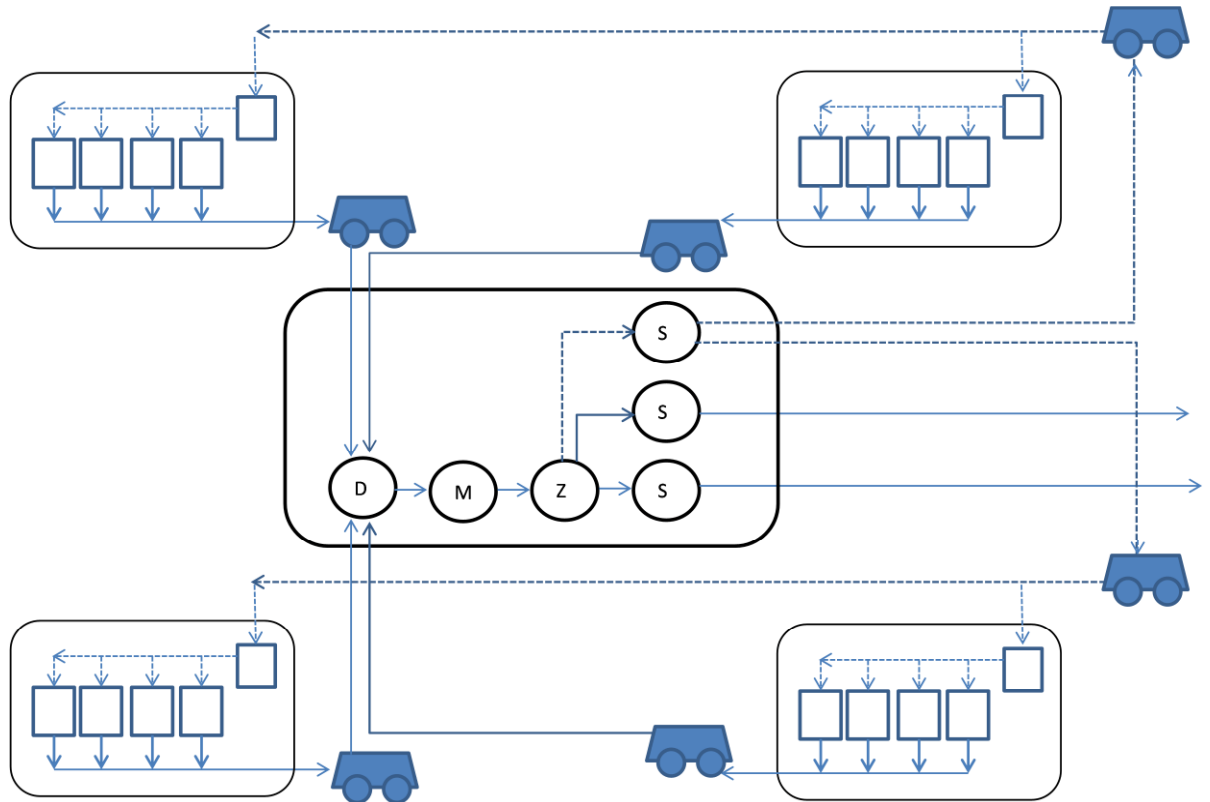


FIGUUR 16. MASSABALANS VARIANT 9 – CENTRAAL DROOG MALEN BIJ WATERBEDRIJF, KALKKORRELS VAN VERSCHILLENDE WATERBEDRIJVEN, PRODUCTIE EIGEN ENT EN DROGE CALCIET FRACTIES VOOR MARKT

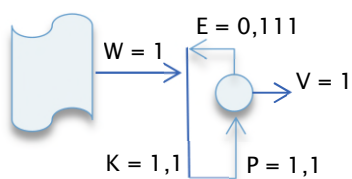
### 2.3.6 Variant 12 – centraal droog malen bij separate plant, kalkkorrels van verschillende waterbedrijven, productie eigen ent en droge calciet fracties voor markt

In Variant 12 wordt calciet als entmateriaal geproduceerd uit de kalkkorrels van verschillende onthardingsfabrieken, in een separate fabriek (te ontwikkelen, of bestaand), in beheer van een derde partij, elders buiten het terrein van het waterbedrijf. In het voorbeeld op de PFD worden de kalkkorrels van vier onthardingingen aangevoerd en verwerkt. De verwerking vindt plaats door het materiaal te drogen, te malen, en te zeven. Het rendement van dit proces is door toevoeging van een zeefstap groter dan de natte maalvoorziening. Het entmateriaal zal een kleine fractie bevatten die in wassers verwijderd dient te worden. Al het entmateriaal wordt buiten de terreinen van de waterbedrijven geproduceerd uit een mengsel van kalkkorrels van verschillende waterbedrijven. De kalkkorrelverwerkende fabriek is dedicated voor de verwerking van drinkwaterkalkkorrels, maar de bedrijven krijgen niet per definitie hun eigen kalk terug. Het systeem dat het entmateriaal produceert is nagenoeg geheel gesloten. Het calciet-ent wordt gedistribueerd naar en toegepast door de bedrijven die de kalkkorrels aanleveren. De overige droge calcietproducten (naast calciet-ent) worden opgeslagen en vermarkt.

Voor deze variant is een kostenanalyse en een LCA uitgevoerd. Voor wat betreft de kosten analyse is naast Variant 12 ook Variant 12A uitgevoerd, de wijze waarop de separate fabriek voor verwerking van kalkkorrels gefinancierd wordt, is verschillend bij deze varianten.



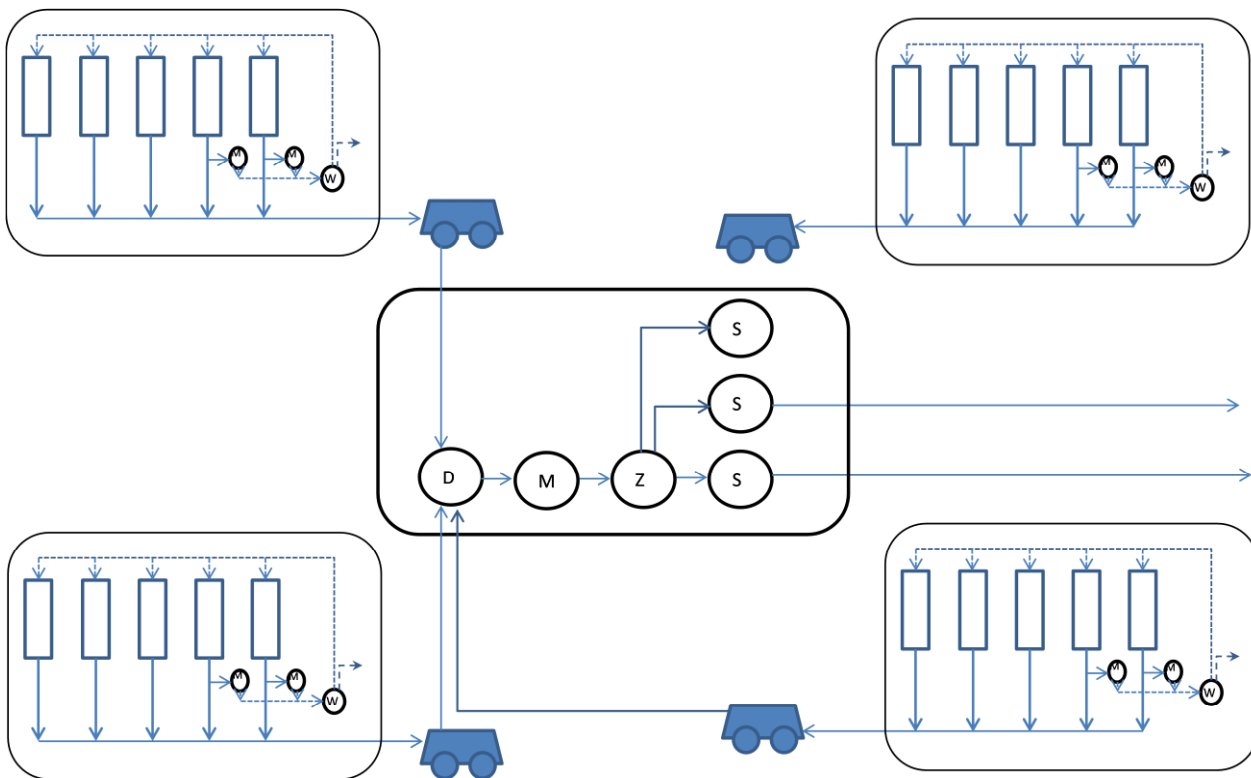
FIGUUR 17. PFD VARIANT 12 – CENTRAAL DROOG MALEN BIJ SEPARATE PLANT, KALKKORRELS VAN VERSCHILLENDE WATERBEDRIJVEN, PRODUCTIE EIGEN ENT EN DROGE CALCIËT FRACTIES VOOR MARKT.



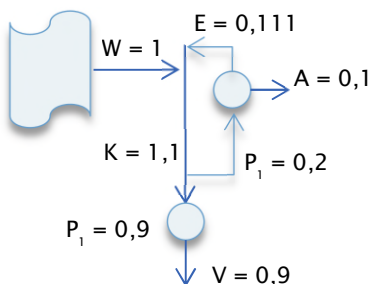
FIGUUR 18. MASSABALANS VARIANT 12 – CENTRAAL DROOG MALEN BIJ SEPARATE PLANT, KALKKORRELS VAN VERSCHILLENDE WATERBEDRIJVEN, PRODUCTIE EIGEN ENT EN DROGE CALCIËT FRACTIES VOOR MARKT.

**2.3.7 Variant 12+3 - lokaal in-situ productie eigen entmateriaal, centraal droge verwerking kalkkorrels verschillende bedrijven tot droge calcië fracties voor markt**

Variant 12+3 is een combinatie van Variant 3 en Variant 12. Meerdere onthardingens participeren in deze variant (4 in het PFD voorbeeld). On-site produceert elke ontharding middels nat malen de eigen calcië-ent, volgens Variant 3. Het overige deel van de kalkkorrels wordt in een separate fabriek gedroogd, gemalen en gezeefd, ten behoeve van afzet als droge calcië producten (volgens Variant 12).



FIGUUR 19. PFD VARIANT 12+3 - LOKAAL IN-SITU PRODUCTIE EIGEN ENTMATERIAAL, CENTRAAL DROGE VERWERKING KALKKORRELS VERSCHILLENDE BEDRIJVEN TOT DROGE CALCIË FRACTIES VOOR MARKT.



FIGUUR 20. MASSABALANS VARIANT 12+3 - LOKAAL IN-SITU PRODUCTIE EIGEN ENTMATERIAAL, CENTRAAL DROGE VERWERKING KALKKORRELS VERSCHILLENDE BEDRIJVEN TOT DROGE CALCIË FRACTIES VOOR MARKT.

De belangrijkste eigenschappen van de geselecteerde varianten zijn samengevat in Tabel 2.

TABEL 2. EIGENSCHAPPEN GESELECTEERDE VARIANTEN VOOR VERWERKING KALKKORRELS EN VERMARKTING CALCIË

Variant	Omschrijving	Schaalgroote concept	Technologie ent productie		Eindproduct
			Schaalgroote	Type	
0	Referentie varianten granaatzand, rivierzand en calcië	fabriek	inkoop		kalkkorrels met zand of calcië kern
1B	Nat malen op reactor niveau voor ent-productie	fabriek	reactor	nat malen	kalkkorrels met calcië kern
3	Nat malen on-site op fabriek niveau voor ent-productie	fabriek	fabriek	nat malen	kalkkorrels met calcië kern
6	Drogen, malen, zeven on-site eigen kalkkorrels	fabriek	fabriek	drogen, malen, zeven	ent en andere droge calcië fracties
9	Drogen, malen, zeven on-site eigen + andere kalkkorrels	meerdere fabrieken	fabriek	drogen, malen, zeven	ent en andere droge calcië fracties
12	Drogen, malen, zeven op centrale separate site van kalkkorrels van verschillende bedrijven	meerdere fabrieken	fabriek	drogen, malen, zeven	ent en andere droge calcië fracties
12+3	Ent-productie: nat malen op fabriek niveau Restant kalkkorrels: drogen, malen, zeven op centrale separate site	meerdere fabrieken	reactor en fabriek	nat malen en drogen, malen, zeven	nat ent en droge calcië fracties

Elke variant is op een breed scala aan criteria beoordeeld (Tabel 3). In dit hoofdstuk is voor elk criterium aangegeven op welke wijze informatie over het criterium verkregen is. In de hoofdstukken 3 en 4 zijn de projectresultaten gepresenteerd voor deze criteria. De beoordeling van de opportuniteit en haalbaarheid van een variant kan deels generiek gebeuren op basis van de projectresultaten (verkregen binnen dit project en daarbinnen algemeen toepasbaar), en is daarnaast een bedrijfsspecifieke afweging op basis van de bedrijfseigen weegfactoren (het belang dat elk bedrijf hecht aan de beoordelingscriteria).

TABEL 3. BEOORDELINGSCRITERIA VARIANTEN VERWERKING KALKKORRELS EN AFZET CALCIËNT

Beoordelingscriterium	Beschrijving methodiek	Resultaat
Calciënt kwaliteit en potentiële risico's voor drinkwaterkwaliteit	par 2.4	par 3.2 - 3.5 en par 4.2
Praktijkeffecten verwerking kalkkorrels tot calciënt	par 2.5	par 3.6
Praktijkeffecten ontharding hergebruikt calciënt	par 2.6	par 3.7
Economische haalbaarheid - Opbrengsten (marktonderzoek, productontwikkeling)	par 2.7	par 4.3
Economische haalbaarheid - Kosten (CAPEX, OPEX)	par 2.8	par 4.4
Technische haalbaarheid (bewezen of innovatieve technologie)	par 2.9	par 4.5
Duurzaamheid (LCA)	par 2.10	par 4.6
Mogelijkheden en risico's voor certificatie	par 2.11	par 4.7

## 2.4 Meetprogramma's en modellering

### 2.4.1 Meetprogramma algemeen

Er is een meetprogramma toegepast dat zich richt op de gehele keten van kalkkorrel tot calciënt. In de perioden dat geen hergebruikt calciënt als ent is aangevoerd, is een standaard ingangscntrole uitgevoerd op het ingekochte calciënt. Tijdens de zomerproef en de winterproef zijn de kalkkorrels en het calciënt op de volgende monsterpunten bemonsterd:

- Uitgaande kalkkorrels Weesperkarspel of OPB IJzeren Kuilen. Bij voorkeur een mengmonster (op 20, 50 en 80% van de lostijd) van de kalkkorrels die vanuit de korrel bunker naar de vrachtwagen gaan, en bij voorkeur op het punt waar de korrels de vrachtwagen invallen, mits de veiligheidstechnische omstandigheden dat toestaan.
- De kalkkorrels na aankomst en bij inname door de verwerkende partij. Dit is vooral bij de zomerproef gebeurd.
- De kalkkorrels na opslag bij de verwerkende partij en voordat deze verwerkt zijn.
- De kalkkorrels na de droogstap.
- De gemalen kalkkorrels in het proces op een geschikt monsterpunt, bijvoorbeeld na malen of na zeven.
- Het eindproduct zoals opgeslagen bij de verwerkende partij. Opslag vond plaats in big-bags, in een dedicated silo on site of in de silowagen.
- Het calciënt zoals aangeleverd bij Waternet (ingangscntrole), voordat het in de entmateriaal silo wordt gebracht.

De acceptatie (stap in het inkoopproces) van het calciënt door Waternet vond plaats op basis van de microbiologische, chemische, en fysische meetresultaten van een mengmonster uit de silowagen.

In het verwerkingsproces van kalkkorrels tot calciënt zijn steeds op verschillende plekken in het proces en op verschillende momenten tijdens de verwerking monsters genomen. Afhankelijk van de situatie is besloten om de monsters separaat te bepalen, al dan niet in

duplo, of om verschillende monsters te verwerken tot een mengmonster. Indien het resultaat daartoe aanleiding gaf, werden of de separate monster geanalyseerd of werden in het proces gericht aanvullende monsters genomen.

#### 2.4.2 Parameters en methoden microbiologische analyse

In Bijlage III is voor de volgende microbiologische bepalingsmethoden een beschrijving opgenomen:

- isolatie en (standaard) bepaling van micro-organismen;
- de microbiologische kwaliteit van calcië;
- de inactivatiecapaciteit van het productieproces;
- de recovery van de microbiologische bepaling;
- de afstervingsnelheid van micro-organismen op zand en calcië.

De kwaliteit van calcië is bepaald op basis de parameters in Tabel 4. Tevens zijn de toetsnormen weergegeven (BRL K240, zie ook Bijlage I) en is de argumentatie voor opname van de parameter in het meetprogramma beschreven.

TABEL 4. MICROBIOLOGISCHE BEOORDELINGSPARAMETERS EN NORMEN

Parameters	Criteria (kve / ml zand)	Argumentatie, herkomst norm
<i>E.coli</i>	<1 kve per 10 ml	T.b.v. aantonen Indicator fecale besmetting. (tevens in BRL K240).
Enterococcen	<1 kve per 10 ml	T.b.v. aantonen Indicator fecale besmetting. Identificatie van <i>C. perfringens</i> vanuit de SSRC bepaling is wel een alternatieve mogelijkheid maar dat is kwalitatief geen goede robuuste analyse dus daarom toch ook <i>C. perfringens</i> ongepasteuriseerd. (tevens in BRL K240).
<i>Clostridium perfringens</i> (incl. sporen)	<1 kve per 1 ml	SSRC is een technische parameter en wordt gebruikt bij het kwantificeren van de eliminatiecapaciteit: te hoge aantallen in entmateriaal heeft een negatief effect op de toepassing van deze parameter. (tevens in BRL K240).
SSRC	<1 kve per 1 ml	Enterococcen zijn meestal in lagere aantallen aanwezig bij besmettingen dan <i>E. coli</i> , maar kunnen in sommige gevallen langer overleven. Daarom naast <i>E. coli</i> ook als indicator fecale besmetting meenemen.

De parameters *Aeromonas*, KG22, Aerobe sporevormers, organische stof (kwantitatieve loogtest), en bacteriën van de coli-groep zijn niet bepaald omdat er geen grondslag is voor die bepaling.

De microbiologische monsters zijn steeds zo snel mogelijk ingezet. Door de logistieke situatie en de datum van monsterneming was het niet altijd mogelijk om de monsters binnen 24 uur in te zetten en werden enkele monsters na opslag in de koeling na enkele dagen ingezet.

### 2.4.3 Parameters chemische analyse

De kwaliteit van de kalkkorrels en het calcië is op basis van een groot aantal anorganische parameters bepaald, veelal zware metalen. Deze parameters en de in dit project gehanteerde toetsnormen zijn in Tabel 5 verwerkt. In de Regeling Materialen en Chemicaliën Drinkwater- en warmtapwatervoorzieningen (hierna Regeling Materialen en Chemicaliën) zijn geen toetsnormen opgenomen voor (teruggewonnen) calcië als entmateriaal. Wel zijn normen opgenomen voor de kwaliteit van calcië bij toepassing als conditioneringsmiddel. Bij die toepassing lost calcië doelbewust op in water. Bij ontharding is sprake van een kalkafzettend milieu in de reactor waardoor het entmateriaal van calcië niet zal oplossen maar waarbij juist stoffen uit het water precipiteren op calcië. Het toepassen van de normen voor calcië als conditioneringsmiddel op de toepassing van calcië als entmateriaal is daarmee een *worst case* benadering. In de Regeling Materialen en Chemicaliën zijn daarnaast normen opgenomen voor de kwaliteit van granaatzand, echter niet direct uitgedrukt in mg/kg droge stof. De normen voor granaatzand dienen getoetst te worden aan de kwaliteit van het extractiewater na een uitloog test uitgevoerd volgens NEN 120902. Deze test is niet uitgevoerd.

TABEL 5. CHEMISCHE BEOORDELINGSPARAMETERS EN NORMEN

Parameter	Normwaarde Eenheid	Argumentatie / herkomst
Arseen	3 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Cadmium	2 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Chroom	10 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Kwik	0,5 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Nikkel	10 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Lood	10 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Antimoon	3 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Seleen	5 mg/kg	Regeling Materialen & Chemicaliën
Calcium	min 98% (als CaCO <sub>3</sub> )	T.b.v. zuiverheid kalkkorrel
Aluminium	- <sup>1)</sup>	Aanwezig in zand. Kan aanwezig zijn in onthardingschemicaliën (zeker kalkmelk). Aluminium kan toegepast worden bij drinkwaterbehandeling.
Ijzer	- <sup>1)</sup>	Aanwezig in zand. Van belang voor markt. Kan aanwezig zijn in water.
Magnesium	- <sup>1)</sup>	T.b.v. zuiverheid kalkkorrel
Mangaan	- <sup>1)</sup>	Van belang voor markt. Kan aanwezig zijn in water.
Silicium	- <sup>1)</sup>	Aanwezig in zand. Van belang voor markt. Kan aanwezig zijn in water.
Organische stof, Inerte bestanddelen, droogrest, kleur (witheid)	- <sup>1)</sup>	Eisen afzetmarkt.

<sup>1)</sup> Voor de parameters waarvoor in beginsel geen normwaarde is vastgesteld geldt dat deze t.b.v. het meetprogramma wel onderzocht zijn. Naar aanleiding van de resultaten is het onderzoek eventueel geïntensiveerd. Bij het analyseren van de meetresultaten is gecontroleerd of sprake was van een opmerkelijke verandering van de concentraties van deze parameters in het calcië-ent ten opzichte van de aangeleverde kalkkorrels. Doel daarbij

was om uit te sluiten dat vanuit het verwerkingsproces materiaal in het uitgaand calcië-ent terecht komt. In andere gevallen kunnen aanvullende eisen vanuit de markt leiden tot nieuwe normwaarde.

#### 2.4.4 Parameters fysische analyse

De calcië-ent is gecontroleerd op deeltjesgroottefractie en stofgehalte (Tabel 6). Deze parameters hebben effect op het presteren van de onthardingsreactoren en het al dan niet uitspoelen van te veel kleine deeltjes in de entmateriaal wasser voor de ontharding. Een te grote fractie kleine deeltjes leidt tot een groot verlies aan entmateriaal en kan een negatieve invloed hebben op de kosten. De hardheid van de calcië is niet bepaald maar kan van belang zijn voor de afnemende partijen.

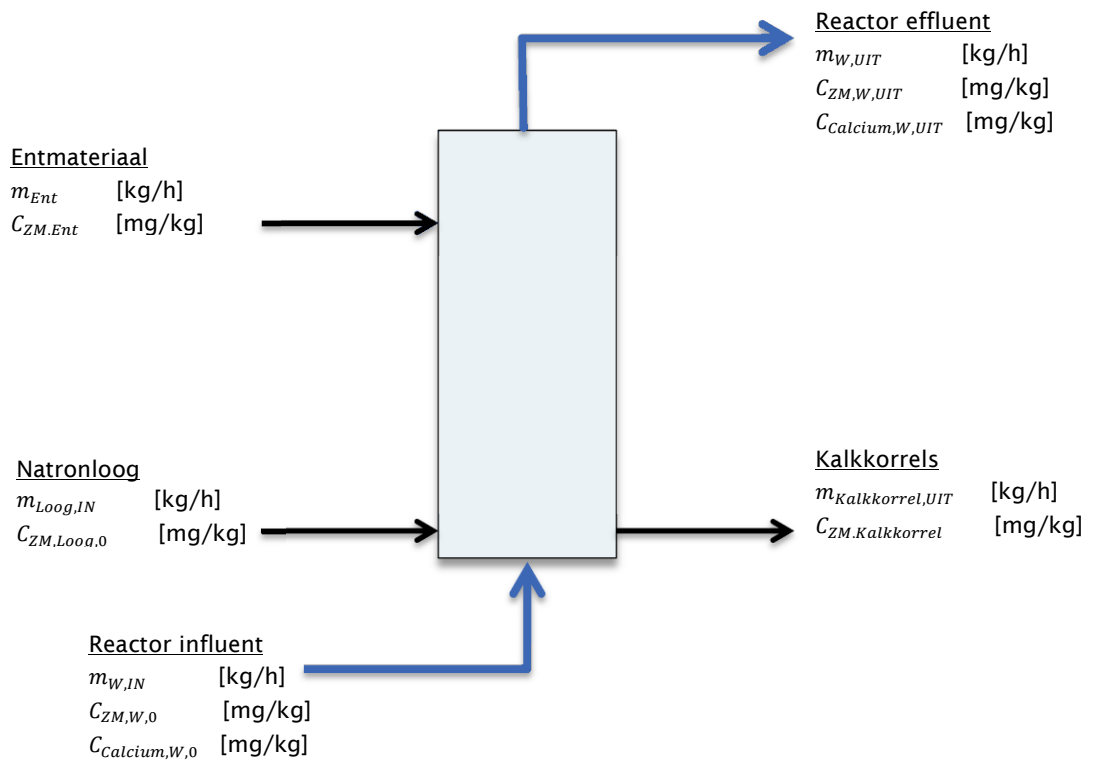
TABEL 6. FYSISCH BEOORDELINGSPARAMETERS EN NORMEN

Parameter	Normwaarde Eenheid
Deeltjesgrootte fractie	0,4 - 0,6 mm.
Stofgehalte	aandeel < 0,125 mm dient lager te zijn dan 1%.
Hardheid	geen streefwaarde

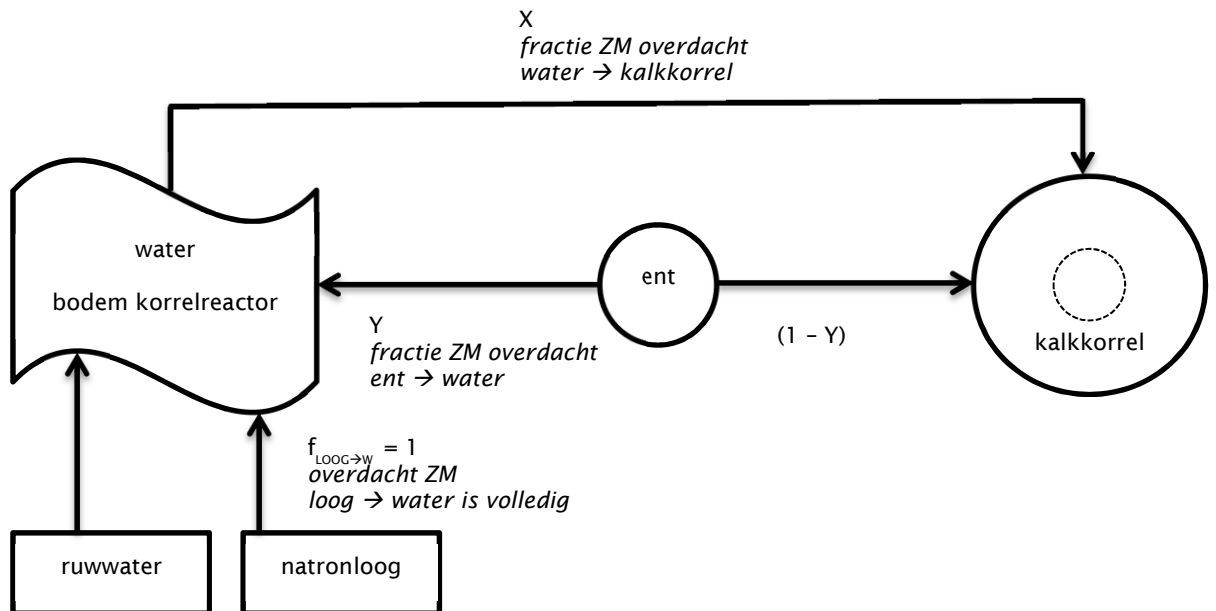
#### 2.4.5 Modellerings

Hergebruik van materialen kan een risico voor accumulatie van verontreinigingen opleveren wanneer de 'spui' (afvoer "verontreinigd" materiaal) of 'verversing' (aanvoer nieuw materiaal) te klein is. Het risico van opbouw van verontreinigingen in calcië (bv zware metalen) is dat deze verontreinigingen aan het drinkwater worden overgedragen. De *full scale* ontharding is met drie batches hergebruikt calcië als entmateriaal getest, elke test duurde enkele weken. In relatie tot de verblijftijd van kalkkorrels in de onthardingsreactoren en de responstijd van verandering van de kalkkorrelkwaliteit onder invloed van waterkwaliteit, chemicaliën en entmateriaal is de testduur met hergebruikt materiaal te kort om eventuele accumulatie in de praktijk aan te tonen. Omdat eventuele accumulatie niet in de praktijk aangetoond kan worden is dit proces in Excel gemodelleerd. Tevens is een analytische oplossing bepaald voor de concentratie van een zwaar metaal in de kalkkorrel op basis van de massabalans en een stofoverdrachtsmodel. In Bijlage IV is de modelleringsaanpak in Excel (*trial and error*), de wiskundige benadering en een analytische oplossing daarvoor omschreven. Het model is gebaseerd op onderstaande massabalans over de onthardingsreactor (Figuur 21) en een overdrachtsmodel van een willekeurig zwaar metaal tussen waterfase en kalkfase (Figuur 22).





FIGUUR 21. MASSABALANS OVER ONTHARDINGSREACTOR. C = CONCENTRATIE, ZM = ZWAAR METAAL, M = MASSA DEBIET, ENT = ENT-FASE, W = WATERFASE, KORREL = KALKKORREL-FASE, CA = CALCIUM, LOOG = NATRONLOOG.



FIGUUR 22. OVERDRACHTSMODEL ZWAAR METAAL TUSSEN WATERFASE EN KALKFASE. FACTOR "F" IS OVERDRACHT VAN NATRONLOOG NAAR WATER.

De analytische oplossing voor de concentratie zwaar metaal in de kalkkorrel wordt door de volgende vergelijking weergegeven.

$$C_{ZM,KORREL} = \frac{X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}]}{m_{KORREL} - [Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN}}$$

met daarin:

- $C_{ZM,KORREL}$  = concentratie zwaar metaal in de kalkkorrel [mg/kg]
- $X$  = overdracht factor van zwaar metaal van water naar kalkkorrel [-]
- $Y$  = overdracht factor van zwaar metaal van entmateriaal naar water [-]
- $m_{W,IN}$  = massa debiet water influent [kg/h]
- $C_{ZM,W,0}$  = concentratie zwaar metaal in het reactor influent [mg/kg]
- $f_{LOOG \rightarrow W}$  = overdracht factor van zwaar metaal van natronloog naar water
- $m_{LOOG,IN}$  = massa debiet van 20%-ige natronloog toevoer [kg/h]
- $C_{ZM,LOOG,0}$  = concentratie zwaar metaal in 20%-ige natronloog [mg/kg]
- $m_{KORREL}$  = massa debiet kalkkorrel productie [kg/h]
- $m_{ENT,IN}$  = massa debiet entmateriaal toevoer [kg/h]

Met behulp van de modelberekening is bepaald bij welke concentraties van een zwaar metaal in het reactor influent, bij verschillende overdrachtsfactoren van zware metalen tussen de waterfase en de kalkfase, een concentratie in de kalkkorrel (en daarmee het entmateriaal) wordt bereikt die niet voldoet aan de kwaliteitseis die geldt voor toepassing van calciumcarbonaat als conditioneringsmateriaal, zoals weergegeven in Tabel 5. Bij deze berekening is uitgegaan van de maximaal toelaatbare concentratie zware metalen in natronloog (worst case), gebaseerd op de Regeling Materialen en Chemicaliën. Deze concentraties en de overige uitgangspunten bij de ontharding zijn weergegeven in Tabel 7.

TABEL 7. UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN CONCENTRATIES ZWARE METALEN IN KALKKORREL

Parameter	Maximaal toelaatbare concentratie zware metalen in 20%-ige natronloog [mg/kg]
Arseen	1,5
Cadmium	0,8
Chroom	8
Kwik	0,15
Lood	1,5
Nikkel	3
<b>Overige uitgangspunten berekening</b>	
Waterdebiet [m <sup>3</sup> /h]	500
20%-ig natronloog debiet [kg/h]	125
Debiet calcië entmateriaal [kg/h]	6,9 (10% van kalkkorrel productie)
Productie kalkkorrels [kg/h]	69 (bij onthardingstraject van 1,25 mmol/L)

## 2.5 Praktijkervaringen verwerking kalkkorrels tot calcië

De ervaringen die in de drie praktijkproeven zijn opgedaan met de opwerking van kalkkorrels tot calcië zijn gedeeld door de verwerkende partijen. Tevens bezocht een delegatie namens het project elke verwerkende partij één of meerdere malen (enkele maken tijdens te zomerproef, en één maal bij elke partij tijdens de winterproef) om ter plekke te observeren hoe het met de hygiëne was gesteld, om calciëmonsters te nemen, om kennis

op te doen over het verwerkingsproces, om kennis op te doen over het maal- en zeefrendement en om inzicht te verkrijgen in risico's en eventuele moeilijkheden bij het verwerkingsproces.

## 2.6 Praktijkeffecten ontharding hergebruikt calciet

De effecten van toepassing van hergebruikt calciet in de praktijk is bepaald door Waternet i) door de risico's te monitoren die bij de FMECA naar voren kwamen, ii) door de bedrijfsvoering frequent te bespreken en iii) door overige bedrijfsvoeringsparameters te monitoren.

## 2.7 Economische haalbaarheid: Marktanalyse en opbrengsten

Reststoffenunie heeft in het kader van haar operationeel proces en aanvullend specifiek binnen dit project een marktanalyse gemaakt voor de afzet van verschillende kalkproducten (huidige kalkkorrels met en zonder zandkern en opgewerkt calciet), in de vorm van PMC's (product markt combinaties). De opbrengsten van deze verschillende kalkproducten zijn door Reststoffenunie ingeschat voor alle varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet, op basis van beschikbare jaarvolumes, kansrijkheid voor penetratie van voor de drinkwatersector nieuwe markten en prijsstellingen van concurrerende producten.

## 2.8 Economische haalbaarheid: Kosten

De economische haalbaarheid van het concept is afhankelijk van i) de exacte opzet van de variant voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet, ii) de kosten voor verwerking van kalkkorrels en iii) de opbrengsten.

De kosten zijn afhankelijk van de gekozen variant, bijhorende investeringskosten (CAPEX) en exploitatiekosten (OPEX). De laatste hangen o.a. af van het rendement van verwerking van kalkkorrel tot calciet.<sup>4</sup> De kosten zijn in nauw overleg met en op basis van input van Reststoffenunie en KWR bepaald door Best Works. Voor nadere details met betrekking tot gehanteerde methodieken voor kostenbepaling en gehanteerde uitgangspunten en aannamen wordt verwezen naar Bijlage V. De kostprijs (per ton product) is gebaseerd op CAPEX en OPEX ramingen.

De belangrijkste uitgangspunten van de kostenramingen zijn:

- De kosten van de centrale grootschalige verwerkingsvarianten 9 en 12 zijn gebaseerd op berekening op basis van maximale huur (bruikleen assets). De kosten voor Variant 12A daarnaast is een berekend op basis van investering (daadwerkelijke aanschaf van assets).
- De kosten van de varianten voor nat malen (1B en 3) en droog malen (6, 9 en 12) zijn gebaseerd op een andere kostenramingsmethodiek. Daardoor is enige voorzichtigheid geboden bij het vergelijken van de kosten.
- De kosten worden uitgedrukt in euro's per jaar en euro's per ton verkocht calciet. Door de kosten uit te drukken per ton verkocht calciet worden varianten die grote verschillen hebben in schaalgrootte vergelijkbaar.
- De operationele kosten voor gebruik van (hergebruikt) calciet-ent hangen af van het benodigd jaarvolume en eventuele veranderende kosten elders in het proces, bijvoorbeeld een verandering van spoelwater of chemicaliëndosering. Een vergelijk van de operationele kosten voor gebruik van calciet-ent en de kosten in de

<sup>4</sup> In paragraaf 3.6.4 blijkt dat de rendementen die tijdens de drie testen behaald zijn variëren tussen laag (20%) en redelijk hoog (50%). Uit de praktijktesten blijkt dat de processen nog niet geoptimaliseerd zijn voor een continue, *full scale* toepassing. Vanwege deze reden en vanwege de kosten systematiek hebben de in dit project behaalde rendementen geen direct effect op de kosten.

referentiecasijs hangt uiteraard sterk af van de referentie. Deze is voor elke casus en voor elk bedrijf verschillend, en hangt af van de jaarcapaciteit, het onthardingstraject, het onthardingschemicalie, en het type entmateriaal. In eerste instantie is daarom met een gemiddelde referentiecasijs gewerkt, de eigenschappen daarvan zijn een gemiddeld van twee fictieve casussen (voor details zie Bijlage VII).

- Overige algemene uitgangspunten zijn weergegeven in Bijlage VII.
- De massabalansen voor hergebruikt calciet, verlies van calciet (afval), ingekocht entmateriaal en calciet beschikbaar voor verkoop zijn per variant weergegeven in paragraaf 2.3.
- In tegenstelling tot entmateriaal dat van een externe leverancier ingekocht wordt (bijvoorbeeld Filcom of AquaTechniek) is in de business case aangenomen dat voor de "inkoop" van hergebruikt calciet (in de varianten 9 en 12) door fabriek X geen kosten gelden ("om niet") omdat i) de grondstof (of in ieder geval een equivalent wat betreft massa) ook afkomstig is van die fabriek X, en ii) omdat de kosten voor verwerking van kalkkorrel tot dat her te gebruiken entmateriaal verdisconteerd zijn in de kosten per ton verkocht calciet.
- De transportkosten zijn gebaseerd op grove inschattingen, aangezien deze substantieel zijn, is het aan te bevelen om deze voor een bedrijfsspecifieke business case nader te bekijken.
- De kosten zijn zo veel mogelijk bottom-up geraamd door een inschatting te maken van de benodigde onderdelen en de kosten daarvan te ramen op basis van DACE of een inschatting van Best Works door vergelijking met qua complexiteit vergelijkbare onderdelen. De kostenstandaard van RoyalHaskoningDHV is niet gebruikt voor de kostenraming omdat de betreffende apparatuur daarin niet is opgenomen.

## 2.9 Technische haalbaarheid

De technische haalbaarheid met betrekking tot het grootschalig drogen, malen en zeven van kalkkorrels is gebaseerd op de informatie van de betrokken partijen, hun referenties en eigen ervaringen opgedaan binnen het project. De technische haalbaarheid van andere apparaten, waaronder in-line vermalers die een nat product opleveren, zijn ingeschat door Best Works, mede op basis van leverancier opgaven.

De technische haalbaarheid voor wat betreft toepassing van hergebruikt calciet als entmateriaal in de ontharding van Weesperkarspel wordt beschreven bij paragraaf 2.10.

## 2.10 Duurzaamheid

KWR heeft voor alle varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet LCA analyses uitgevoerd in SimaPro 8 software. Middels een LCA is het mogelijk om de duurzaamheidsimpact te beoordelen op drie gebieden: uitputting grondstoffen, het ecosysteem en humane gezondheid. De resultaten van een LCA analyse worden uitgedrukt in eco-punten, waarbij 1000 eco-punten gedefinieerd is als de totale milieu-impact van een West-Europees persoon per jaar. Een negatieve milieu-impact resulteert in een positieve waarde, een negatief aantal eco-punten betekent een positief effect op het milieu.

De achtergrondinformatie van de LCA is afkomstig uit Ecolnvent 3.0 database. De berekeningen zijn uitgevoerd met ReCiPe Endpoint (E) V1.10 / Europe ReCiPe E/A . Er is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van data specifiek voor Nederland, wanneer dit niet aanwezig is, is de volgende volgorde toegepast: 1) data voor Europa (RER), 2) Zwitserland (CH) en 3) de rest van de wereld (ROW).

### **Systeem grenzen en uitgangspunten LCA**

- Functionele unit: Om de duurzaamheidsimpact van elke scenario eerlijk te kunnen vergelijken is het relevant een goed gekozen eenheid te gebruiken. In dit geval is gekozen voor de verwijdering van 1 ton kalk uit water, omdat de verwijdering van kalk het doel is van de onthardingsinstallatie waarbij de kalkkorrels ontstaan. Feitelijk betreft het de massa van de kalk die uit water verwijderd wordt plus de massa van de chemicaliën die daartoe worden toegevoegd, ofwel de totale massa van de kalkkorrels verminderd met de totale massa entmateriaal.
- In deze LCA zijn alleen operationele parameters bestudeerd. De bouw van de benodigde installaties is niet meegenomen in de analyse.
- De operationele impact van de afzet van calcië bij externe industrieën is meegenomen. Dit houdt in dat de belasting door het transport van kalkkorrels is meegenomen, maar ook de voorkomen emissies van transport, winning en opwerking primaire kalk dat door de afzet van calcië dat ontstaat bij de ontharding niet geëxploiteerd hoeft te worden.
- De situatie is beschouwd vanaf het moment dat de zandkern reeds uit de kalkkorrels verdreven is. Transitie 1 (Figuur 6) is buiten beschouwing gelaten.
- Verandering van het entmateriaal heeft geen (milieu-gerelateerde) gevolgen op de rest van de drinkwaterzuiveringsinstallatie.
- De algemene impact van ontharding (op het waterproductiebedrijf en bij de huishoudens) is niet meegenomen, deze impact is bij alle varianten gelijk.
- Pompenergie voor het wassen en terugvoeren van entmateriaal is niet meegenomen, deze pompenergie is bij elke variant benodigd.
- De relevante massabalansen zijn in paragraaf 2.3 beschreven.
- Voor de transportafstand tussen locaties die kalkkorrels leveren en calcië-ent innemen en de locatie waarop de kalkkorrels verwerkt worden is aangenomen dat deze 100 km is.
- Om de referentievarianten te vergelijken met de hergebruiksvarianten is de impact van het winnen, opwerken en transporteren van het in te kopen entmateriaal meegenomen. Het granaatzand komt per schip uit Australië (gegevens transportafstanden gebaseerd op Barrios et al. (2004)), en wordt vervolgens per truck verder getransporteerd. Voor in te kopen calcië als entmateriaal is aangenomen dat dit afkomstig is uit Noord-Italië (1100km) en rivierzand is afkomstig uit Papendrecht (90 km).
- In de varianten waarbij ent op eigen locatie middels nat malen wordt geproduceerd is als uitgangspunt gebruikt dat dit 40 kWh/ton kost. Deze energie input is gebaseerd op een aanpassing van de waarde zoals toegepast door Best Works (Bijlage VII), op basis van informatie van Reststoffenunie.
- In de varianten waarin kalkkorrels middels drogen, malen en zeven tot calcië producten wordt opgewerkt is als uitgangspunt genomen dat dit 200 kWh/ton kost (gebaseerd op Best Works in Bijlage VII, en aangepast op basis van informatie van Reststoffenunie). Deze energie-input komt in orde grootte overeen met de standaardwaarde voor opwerking van kalk zoals opgenomen in de EcoInvent 3.0 database. In de varianten 6, 9 en 12 worden alle kalkkorrels op deze wijze verwerkt. In Variant 12+3 wordt 80% middels drogen, malen en zeven verwerkt, en 20% lokaal middels nat malen.
- Voor de referentievarianten en de varianten met nat malen is rekening gehouden met lozing van afval (uitgewassen entmateriaal of de fijne fractie die in de maler geproduceerd wordt) naar het riool, gelijk aan de helft van de entmateriaalstroom.
- De kalkkorrels die in de ontharding ontstaan worden afgezet in verschillende markten. Deze industrieën behoeven daardoor geen alternatief materiaal van elders te

betrekken. Hiermee ontstaat een voorkomen emissie, dat een positief effect heeft op de LCA.

- Kalkkorrels met zandkern: Voor de kalkkorrels die een zandkern bevatten is aangenomen dat deze voor 50% afgezet worden als zandvervanger (voorkomen primaire winning), voor 40% worden deze afgezet als gebroken kalksteen (voorkomen primaire winning), en 10% van de kalkkorrels vervangt gemalen kalksteen (voorkomen primaire winning + benodigde energie input voor opwerking).
- Kalkkorrels met calciëtkern: Voor de kalkkorrels met calciëtkern is aangenomen dat deze voor 20% afgezet worden als zandvervanger (voorkomen primaire winning), voor 40% worden deze afgezet als gebroken kalksteen (voorkomen primaire winning), en 40% van de kalkkorrels vervangt gemalen kalksteen (voorkomen primaire winning + benodigde energie input voor opwerking).
- Droge calcië fracties: Kalkkorrels met een calciëtkern worden opgewerkt tot droge calcië fracties middels drogen, malen en zeven. De opwerking heeft een negatieve milieu-impact, maar leidt wel tot voorkomen emissies vanwege besparing van winning van primaire kalk en voorkomen energie input voor de opwerking elders. Dit product wordt als volgt ingezet: 100% wordt afgezet als vervanger van gemalen kalksteen (voorkomen primaire winning zand + benodigde energie input voor opwerking).
- Het transport van materiaal dat van elders betrokken zou moeten worden leidt tot een voorkomen emissie.
- Voor bepaalde varianten wordt betrekking van primaire kalk voorkomen, echter niet de opwerking van kalkkorrel tot droge calcië. Voor andere varianten wordt ook deze opwerkingsinspanning voorkomen. Daarom zijn deze twee voorkomen emissie opgesplitst in 1) het voorkomen van de inkoop van primaire kalk en 2) het voorkomen van opwerking van kalk.
- De waarde van zand: op basis van informatie van Reststoffenunie blijkt dat de waarde die in Simapro wordt toegekend aan de voorkomen emissie van zand niet representatief is voor de Nederlandse situatie. De representatieve waarde is een factor 3,35 lager dan de Simapro waarde. De LCA berekening is met deze aangepaste waarde uitgevoerd door de massa van de zandvervanger te corrigeren met deze factor, aangezien de Nederlandse waarde voor zand niet beschikbaar is in Simapro.

Deze uitgangspunten zijn samengevat in Tabel 8. De massabalans is afgestemd op de stofstromen zoals gebruikt bij de kostenberekening. Variant 9B is een sub-variant van Variant 9, waarbij het aantal ontharding gelijk is gesteld aan Variant 12.

TABEL 8. UITGANGSPUNTEN T.B.V. LCA

	Variant →	0 A (granaat zand)	0 B (calciet)	0 C (rivier zand)	1B	6	9 (3xONTH)	9B (4xONTH)	12	12+3
<b>Ingekocht entmateriaal</b>	Type ent	Granaat	Calciet	Rivierzand						
	Massa ent (ton)	0,06	0,111	0,111						
	Transport per boot (km)	22000								
	Transport per vrachtwagen (km)	200	1100	90						
<b>Opwerking tot calciet ent (nat malen)</b>	Gewicht behandelen (ton)				0,2					0,2
	Energiegebruik (kWh/ton)				40					40
<b>Opwerking kalkkorrels drogen, malen, zeven</b>	Gewicht behandelen (ton)	0,11	0,44	0,11	0,36	1,1	1,1	1,1	1,1	0,9
	Energiegebruik (kWh/ton)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
<b>Transport t.b.v. kalkkorrel verwerking elders</b>	Aantal transporten vanuit locaties naar verwerking					0	2	3	4	4
	Totale transport afstand (km)					0	100	100	100	100
	Transport gewicht (ton)					0	0,733	0,825	1,1	0,9
<b>Transport terugvoer ent</b>	Aantal locaties terugvoer ent					0	2	3	4	0
	Totale transport afstand (km)					0	100	100	100	0
	Transport gewicht (ton)					0	0,0667	0,075	0,1	0
<b>Calciet lozing (afval)</b>	Massa calciet afval (ton)	0,03	0,0555	0,0555	0,1					0,1
<b>Transport t.b.v. kalk verkoop</b>	Gewicht (ton)	1,1	1,1	1,1	0,9	1	1	1	1	0,9
	Transport (km)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Voorkomen emissies</b>	Gewicht product kalk (ton)	0,55	0,88	0,55	0,72	1	1	1	1	0,9
	Gewicht (ton) opwerking kalk	0,11	0,44	0,11	0,36	1	1	1	1	0,9
	Transport product (km)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Gewicht product zand (ton)	0,55	0,22	0,55	0,18					
	Transport zand (km)	100	100	100	100					

### 2.11 Mogelijkheden en risico's voor certificatie

De mogelijkheden en risico's voor certificatie zijn bepaald op basis van een beperkt aantal overleggen met Kiwa Rijswijk (verantwoordelijk voor afgifte ATA-certificaat) en een certificatie-deskundige bij KWR.



## 3 Projectresultaten

### 3.1 Introductie

In dit hoofdstuk zijn de projectresultaten gepresenteerd die verkregen zijn uit monsteranalyse en praktijk observaties. Deze hebben betrekking op de gemeten kwaliteit van calcië, de consequentie daarvan voor de waterkwaliteit, de opgedane praktijkervaringen met betrekking tot logistiek, productie en toepassing van calcië als entmateriaal, en de behaalde maal- en zeefrendementen. De marktpotentie, de duurzaamheidstechnische en economische haalbaarheid van de verschillende varianten om kalkkorrels te verwerken en vermarkten, de ATA-certificatie gerelateerde aspecten die bij deze varianten van belang zijn en de technische haalbaarheid zijn in hoofdstuk 4 gepresenteerd.

### 3.2 De microbiologische kwaliteit van calcië

Verschillende microbiologische kwaliteitsaspecten van de calcië zijn op verschillende momenten en op verschillende plekken in de calcië keten bepaald om te onderzoeken of herintroductie van calcië als entmateriaal mogelijk kan leiden tot contaminatie van drinkwater. De parameters zijn bepaald bij alle drie de verwerkingstrials van kalkkorrels tot entmateriaal. De monsterpunten waarop de microbiologische kwaliteit is bepaald in de drie verschillende testen zijn geclassificeerd als 1) grondstof, 2) halffabrikaat of 3) eindproduct om de resultaten ondanks kleine verschillen in de processen goed te kunnen vergelijken.

Vooraf monsters van de grondstof voor de productie van calcië en halffabricaten tijdens de verwerking van het calcië zijn onderzocht (Tabel 9). *E. coli* als indicator voor een recente fecale besmetting is in geen van de monsters aangetroffen (Tabel 9). In 4 van de 25 monsters grondstof en 2 halffabrikaat monsters (n=25) werden enterococci waargenomen met een maximaal aantal van 4 per 10 ml materiaal. Sporen van sulfiet-reducerende clostridia zijn in respectievelijk 6 van de 26 monsters grondstof en 6 van de halffabricaten waargenomen in een maximaal aantal van 3 per 10 ml. *Clostridium perfringens* (inclusief sporen) werden in 2 halffabrikaat monsters en 1 product monster aangetroffen. De positieve monsters met clostridia (SSRC en *C. perfringens*) waren op één monster na afkomstig van Verwerkende partij I waar de kalkkorrels van Waternet werden bewerkt. In de monsters van Waternet werd eenmaal een SSRC aangetroffen (Bijlage VIII).

TABEL 9. OVERZICHT VAN DE AANTALLEN FECALE INDICATOREN IN ALLE MONSTERS IN DE PERIODE JUNI 2014 - MAART 2015.

Materiaal	Gegevens	<i>E. coli</i>	Enterococci	SSRC	<i>C. perfringens</i>
		n/10 ml	n/10 ml	n/10 ml	n/10 ml
<b>Grondstof</b>	n	26	26	26	26
	Positief	0	4	6	0
	Max	0	4	3	0
<b>Halffabrikaat</b>	n	25	25	25	25
	Positief	0	2	6	2
	Max	0	1	2	159
<b>Product</b>	n	9	9	9	9
	Positief	0	0	3	1
	Max	0	0	2	1

De monsters van Verwerkende partij I (zomerproef) zijn genomen in diverse stadia van de materiaalbewerking op vijf momenten gedurende de periode juni 2014 tot maart 2015 (juni, juli/augustus, september 2014, januari, maart 2015). Tijdens de eerste monsternamen in juni 2014 (n=8) zijn 3 van de 6 positieve enterococci monsters en 2 van de 3 positieve *C. perfringens* monsters bepaald (Bijlage VIII). In januari 2015 werden in 3 monsters gelijktijdig enterococci en SSRC waargenomen. Vooral de twee positieve monsters van Verwerkende partij I (zomerproef) met *C. perfringens* bevatten opvallend veel van deze bacterie en geen andere fecale indicatoren. Deze eerste resultaten hebben geleid tot een extra droog- of desinfectiestap op het eind van de bewerking bij Verwerkende partij I (zomerproef). Daarnaast is hergebruik van de oude big bags voor het opslaan van calcië later niet meer toegepast. Na deze acties is het aantal positieve monsters voor enterococci en *C. perfringens* dermate gedaald, dat de eindproducten van Verwerkende partij I voldeden aan de normen.

De microbiologische gegevens van calcië tijdens de winning en productiefase duiden erop dat er sprake kan zijn van een relatief geringe fecale verontreiniging van het materiaal. Het ontbreken van *E. coli* wijst erop dat de fecale verontreiniging niet van recente datum is en afkomstig is van een oudere besmetting. Dat betekent dat er sprake is van een niet nader te specificeren afsterving die ook geldt voor de mogelijk aanwezige pathogene fecale micro-organismen.

De kwaliteit van de eindproducten van Verwerkende partij II en III tijdens de winterproef voldoet aan de normen.

### 3.2.1 Recovery van de *E. coli* bepaling

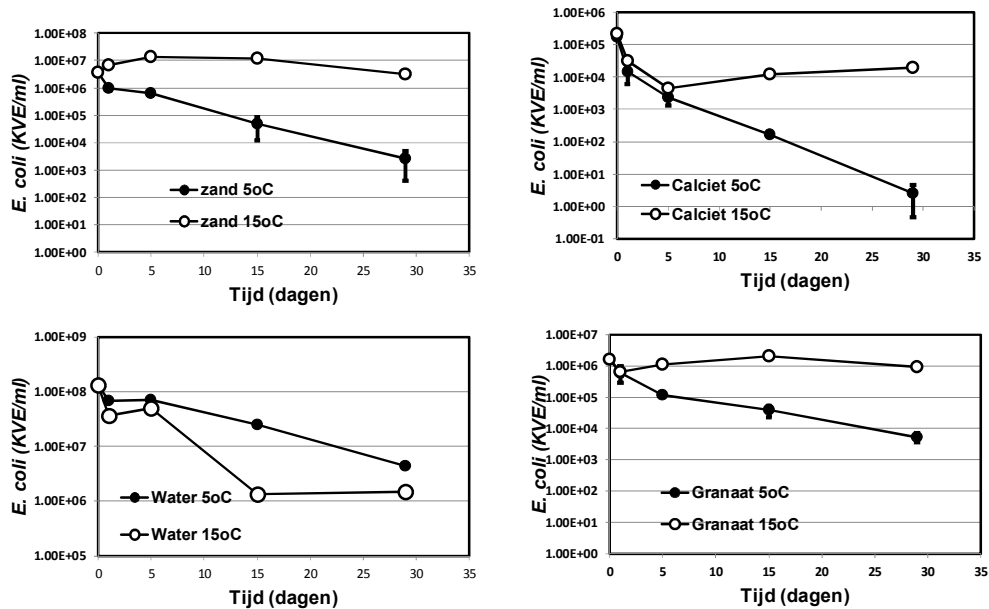
Er zijn twee testen uitgevoerd waarbij *E. coli* is gedoseerd aan de entmaterialen (granaatzand, entzand (rivierzand) en hergebruikt calcië). De berekende en de gemeten concentraties zijn in Tabel 10 vermeld en daaruit is de recovery bepaald. Hieruit blijkt dat de methode een lage recovery heeft die varieert tussen 0,1-0,5% voor calcië en 2,9-8,6% voor entzand. Meer dan 90% van de gedoseerde *E. coli* wordt niet teruggevonden met de analysemethode door (i) sterke hechting aan het materiaal en/of (ii) versterkte afsterving bij het mengproces nodig voor de homogenisering. De voor microbiologische begrippen lage relatieve standaardafwijking van de 6 metingen (test 1: 35,1-5,8-19,8% en test 2: 35,8-21,6-9,9) laat zien dat de *E. coli* goed homogeen in het materiaal was verdeeld. Omdat uit de hierna gepresenteerde gegevens blijkt dat de afsterving in het calcië sneller verliep dan de afsterving in granaatzand en entzand en de recovery in het calcië bij beide testen duidelijk lager was dan voor de andere twee materialen, is het vermoeden dat deze factor als oorzaak van de lage recoveries belangrijk is geweest.

TABEL 10. DOSERING VAN *E. COLI* AAN DE VERSCHILLENDE MATERIALEN (TEST 1 PER 25 ML MATERIAAL EN TEST 2 PER 25 GRAM MATERIAAL).

Test	Materiaal	<i>E. coli</i> (kve/25 ml of 25 gram)	Zand ml	Berekende Concentratie (kve/ml)	Gemeten (n=6) (kve/ml)	R (%)
1	calcië	1,08E+09	25	4,30×10 <sup>7</sup>	2,0±0,7×10 <sup>5</sup>	0,5
1	Granaatzand	1,08E+09	25	4,3×10 <sup>7</sup>	1,6±0,1×10 <sup>6</sup>	3,7
1	Entzand	1,08E+09	25	4,3×10 <sup>7</sup>	3,7±0,7×10 <sup>6</sup>	8,6
2	Calcië	9,10E+05	17,9	5,1×10 <sup>4</sup>	4,1±1,5×10 <sup>1</sup>	0,1
2	Granaatzand	9,10E+05	10,4	8,7×10 <sup>4</sup>	5,7±1,2×10 <sup>2</sup>	0,7
2	Entzand	9,10E+05	15,6	5,8×10 <sup>4</sup>	1,7±0,2×10 <sup>3</sup>	2,9

### 3.2.2 Afsterving in de materialen

Bij de eerste afstervingstest werd een hoge concentratie van  $4,3 \times 10^7$  aan de materialen gedoseerd (Tabel 10) en bij 15 en 5°C geïncubeerd in het donker. Naast de materialen werd ook de doseersuspensie geïncubeerd bij dezelfde temperaturen.



FIGUUR 23. E. COLI (KVE/ML) IN WATER, (ENT)ZAND, GRANAATZAND EN CALCIET GEÏNCUBEERD BIJ 5 EN 15°C (VANUIT E. COLI CULTUUR OPGEKWEKT IN EEN RIJK MEDIUM).

De resultaten van test 1 tonen dat *E. coli* afsterft in de entvloeistof en dat de afsterving sneller verloopt bij 15°C dan bij 5°C (Figuur 23). De exponentiele afstervingsnelheden ( $k_a$ ) zijn berekend en vermeld in Tabel 11. Voor het water waren de  $k_a$ -waarden relatief laag in vergelijking tot waarden die in natuurlijk oppervlaktewater worden bepaald (Hijnen et al., 2007). In dergelijke watersoorten werden bij 15°C  $k_a$ -waarden van 0,1 – 0,25 ( $\log 10 \text{ d}^{-1}$ ) waargenomen.

De afsterving van *E. coli* was in de drie materialen geïncubeerd bij 5°C sterker dan in het water (Tabel 11). Bij deze temperatuur nam de *E. coli* concentratie in het calciet sneller af dan in zand en granaatzand, vooral bij de tweede test met een lagere ent. De  $k_a$  waarde van 0,587  $\text{d}^{-1}$  was tweemaal zo hoog als in het granaatzand (0,189  $\text{d}^{-1}$ ).

Opmerkelijk resultaat van de test was dat in zand en granaatzand bij 15°C een geringe toename van het aantal *E. coli* werd geconstateerd tijdens de incubatie (Figuur 23). Na een aanvankelijke daling nam na 5 dagen in het calciet bij 15°C ook de *E. coli* concentratie toe. Deze waarnemingen waren onverwacht. Bij deze lage temperatuur en laag vochtgehalte (0,1 ml per 25 ml droog zand; 0,4%) werd in deze natuurlijke materialen geen groei van *E. coli* verwacht. Uit een groeitest op bouillonagar en het selectieve medium LSA bij verschillende temperaturen blijkt groei van de gebruikte teststam WR1 bij 15°C op beide media binnen 6 dagen goed telbare kolonies opleverde, een bevestiging dat groei bij deze lage temperatuur goed mogelijk is.

De voedingsstoffen waarop groei plaatsvond kunnen afkomstig zijn van de materialen zelf of van de doseersuspensie waarin zich nog mediumresten en/of hoge concentratie van afgestorven *E. coli* bacteriën bevonden (cryptic growth). Omdat er geen groei in de

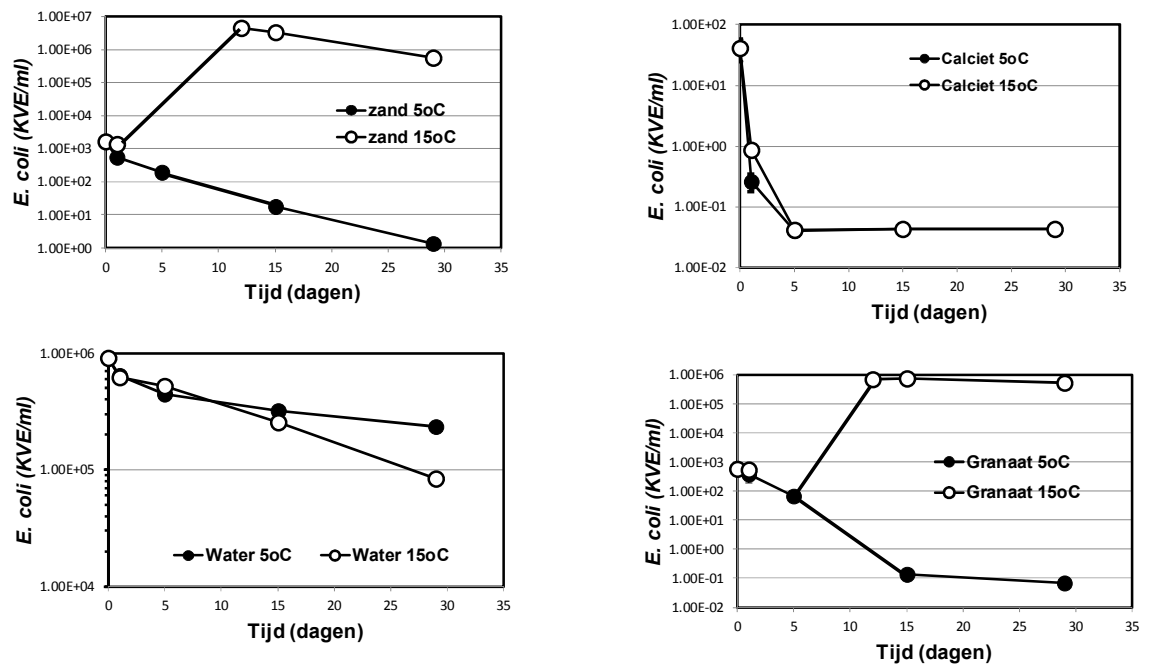
doseersuspensie plaatsvond tijdens de incubatie is het vermoeden dat het gaat om groei op stoffen in de materialen.

TABEL 11. DE EXPONENTIËLE AFSTERVINGSCONSTANTE ( $K_A = \text{LOG}_{10} \cdot D^{-1}$ ) BEREKEND UIT DE VERSCHILLENDE AFSTERVINGSCURVEN VAN TEST 1 EN TEST 2.

Materiaal	Temp. °C	Test 1			Test 2		
		$k_a$ (log <sup>a</sup> /d)	R2	P	$k_a$ (log <sup>a</sup> /d)	R2	P
Water	5	-0,047±0,005	0,97	<0,01	-0,018±0,004	0,86	<0,05
	15	-0,068±0,020	0,78	<0,05	-0,033±0,002	0,99	<0,001
Zand	5	-0,101±0,009	0,98	<0,005	-0,100±0,009	0,97	<0,005
Granaatzand	5	-0,077±0,013	0,92	<0,01	-0,189±0,002	0,99	<0,01
Calciet	5	-0,148±0,020	0,95	<0,01	-0,587±1,6	0,11	ns
	15	nvt	-	-	-0,067±1,6	0,001	ns

Om dit te testen is de proef herhaald met een envloeistof met een lagere *E. coli* concentratie door voor te kweken bij lage substraatconcentratie. Deze envloeistof is vervolgens geconcentreerd en in een concentratie gedoseerd aan de materialen die 1000 maal lager was dan in de eerste test (Tabel 11). Uit de incubatie van deze envloeistof blijkt dat deze voorgekweekte *E. coli* cellen minder sneller afsterven dan de *E. coli* cellen in de envloeistof van de eerste test voorgekweekt in een rijk medium (Figuur 24). De afsterving in het zand bij 5°C blijkt voor test 1 en 2 met dezelfde snelheid te verlopen (Tabel 11). In het granaatzand en calciet is de afsterving in test 2 echter sterker dan in test 1.<sup>5</sup> In zowel het zand en het granaatzand werd nu een sterke groei van *E. coli* bij 15°C waargenomen tot een maximale waarde die overeenkomt met de concentraties waargenomen in test 1 (Figuur 23 en Figuur 24). Dit maakt aannemelijk dat de groei van *E. coli* in de beide zandsoorten wordt veroorzaakt door aanwezigheid van organische verbindingen in de materialen.

<sup>5</sup> Vermoedelijk wordt dit door de voorkweek veroorzaakt: in de eerste test werd *E. coli* onder voedselrijke condities voorgekweekt en in de tweede test op voedselarme condities. De eerste cellen zijn dik en overleven langer in een dergelijk milieu dan de schraalhanzen die onder voedselarme milieu zijn voorgekweekt.



FIGUUR 24. *E. COLI* (KVE/ML) IN WATER, (ENT)ZAND, GRANAATZAND EN CALCIET GEÏNCUBEERD BIJ 5 EN 15°C (LAGERE ENT VANUIT ENTFLESJE).

### 3.2.3 Afdoding van micro-organismen bij de productie

De afdoding van micro-organismen bij de productie van het calciëet kan niet worden gemeten met *Aeromonas* als indicator omdat deze bacteriën niet in het onbehandelde materiaal werden aangetroffen. Tweemaal is daarom het koloniegetal op R2A medium (totaal aantal kweekbare heterotrofe bacteriën) met lang incuberen (10 dagen bij 25°C) bepaald voor na de behandeling. Op 28 januari en 2 maart 2015 bevatte het ruwe materiaal voor verwerking een koloniegetal van respectievelijk  $2 \times 10^6$  (enkelvoud) en  $1,9 \pm 0,3 \times 10^5$  KVE per ml (duplo). In het droge materiaal werd alleen in één van de monsters van 2 maart 1 KVE gevonden. De hieruit berekende inactivatiecapaciteit van het calciëetproductieproces op beide dagen was  $>4,5$  en  $3,8 \log_{10}$ , waarden die hoger zijn dan de vereiste  $3 \log_{10}$  genoemd in de BRL voor zand en entzand.

### 3.2.4 Discussie microbiologische kwaliteit entmateriaal

Uit de microbiologische analyses van de verschillende calciëetmonsters blijkt dat *E. coli* in geen van de monsters is aangetroffen. Enterococci zijn in ca. 10% van de monsters waargenomen en SSRC in 25%. *C. perfringens* inclusief sporen is gevonden in 5% van de monsters (3 van de 60 monsters) waarbij in 2 van de 3 monsters het monster negatief was voor SSRC. De enterococci zijn niet in de productmonsters aangetroffen en slechts in één monster van het product werd een SSRC waargenomen. Deze resultaten duiden op een lage fecale besmetting van het materiaal die meestal van oudere herkomst is.

Wanneer het ruwe calciëet laag fecaal besmet is en het *E. coli* aantal  $\leq 10$  KVE/ml is, zal op grond van de gegevens over inactivatie tijdens de productie, het product ruimschoots voldoen aan de microbiologische criteria. Belangrijk voor de microbiologische kwaliteit van het materiaal is het hygiënisch werken bij opslag van de materialen om herbesmetting te voorkomen.

Wanneer het calciëet na de productie fecaal wordt herbesmet zal er bij een opslag van 5-20 dagen het aantal *E. coli* bacteriën met 3 log zijn afgenomen. Pathogene bacteriën als *Campylobacter* sterven over het algemeen sneller in het milieu dan *E. coli* (Lund, 1996; Korhonen and Martikainen, 1991). Voor de zandsoorten waar de afsterving trager verloopt, is hiervoor een opslag van minimaal een maand nodig.

Over het algemeen wordt bij een hogere temperatuur een snellere afsterving verwacht; ongeveer een factor 2 per 10°C (Hijnen et al., 2007). In dit onderzoek werd echter voor *E. coli* bij 15°C duidelijke vermeerdering waargenomen in de zandsoorten, maar niet bij calciëet. Het droge zand was licht bevochtigd (0,1 ml/25 ml zand; vochtgehalte van 0,4%). Vermeerdering van *E. coli* in gesteriliseerde bodemsoorten *zonder begeleidende microbiologische populatie* (bacteriën en protozoën) geïncubeerd onder natuurlijke omstandigheden is eerder gepubliceerd door een aantal onderzoekers (Gerba and McLeod, 1976; Tate, 1978; LaLiberte and Grimes, 1982). De onderzochte zandsoorten waren weliswaar niet steriel maar wel gedroogd. Gebleken is dat *E. coli* bij enting aan droog zand toegepast als in dit onderzoek kan groeien, mogelijk omdat het beginniveau van de natuurlijke bacteriën in het zand (geen metingen gedaan) duidelijk lager is dan van de geënte *E. coli* stam. Ook onder praktijkcondities zijn aanwijzingen gevonden voor *E. coli* groei in ruw vochtig zand opgeslagen bij hogere temperaturen (persoonlijke mededeling, Teun de Goeij, Sibelco). Dit verschijnsel zet vraagtekens bij het in BRLK240 voorgestelde criterium voor *E. coli* in de ruwe grondstof voor drogen van <10 KVE/ml. Niet omdat dat niet meer veilig is, maar omdat een hoge *E. coli* concentratie hiermee niet uitsluitend is gekoppeld aan de mate van fecale verontreiniging. Door naast *E. coli* in de grondstof ook de enterococcon te meten kan de betekenis van hogere *E. coli* concentraties in de ruwe grondstof beter worden geduid. Hierbij moet worden aangenomen dat de enterococcon zich niet vermeerderen in het droge zand.

De waargenomen vermeerdering van *E. coli* was geen artefact in het onderzoek en is opmerkelijk te noemen. Groei van *E. coli* onder zulke 'droge' condities is niet bekend. Wel is groei van *E. coli* in gesteriliseerde bodemsoorten onder natuurlijke condities eerder gepubliceerd.

### 3.3 Gevolgen microbiologische kwaliteit calciëet voor waterkwaliteit

Zoals in de voorgaande paragraaf gepresenteerd voldoet de microbiologische kwaliteit van het als ent toegepaste calciëet aan de eisen zoals gesteld in de BRL K240, na eventuele aanpassing van het behandelproces en met voldoende aandacht voor hygiënisch werken. Met een beperkt aantal waarnemingen is aangetoond dat in het verwerkingsproces van de kalkkorrels tot fijne calciëetfracties een inactivatiecapaciteit werd bereikt die groter is dan de vereiste 3 log<sub>10</sub>. De aanwezigheid van een droogstap bij hoge temperatuur en met voldoende contacttijd in het verwerkingsproces van de kalkkorrel tot calciëet-ent draagt in belangrijke mate bij aan de microbiologische veiligheid van het calciëet als entmateriaal. Op basis van de bevindingen in dit rapport kan gesteld worden dat toepassing van calciëet als entmateriaal niet leidt tot een overschrijding van het vereiste infectierisico van drinkwater zoals genoemd in het Waterleidingbesluit.

### 3.4 De chemische kwaliteit van calciëet

Zowel de kalkkorrels als geproduceerde calciëet-ent zijn op verschillende momenten en op verschillende monsterpunten uitgebreid onderzocht op de chemische samenstelling. Verschillende chemische kwaliteitsaspecten van de calciëet zijn op verschillende momenten en op verschillende plekken in de calciëet keten bepaald om te onderzoeken of herintroductie van calciëet als entmateriaal mogelijk kan leiden tot contaminatie van drinkwater. De chemische parameters zijn bepaald bij alle drie de verwerkingstrials van kalkkorrels tot

entmateriaal. Het risico op accumulatie van verontreinigingen in de kalkkorrels is onderzocht middels modellering (hoofdstuk 4).

Het doel van de analyses was enerzijds om de chemische kwaliteit van zowel de kalkkorrels als het geproduceerde calciet-ent te controleren, en anderzijds om vast te stellen of er metalen vrijkwamen tijdens de productie van het entmateriaal die eventueel de chemische kwaliteit van het entmateriaal negatief zouden kunnen beïnvloeden (bijvoorbeeld door slijtage van de malers/brekers).

Tabel 12 geeft de resultaten van de chemische analyses (volledige resultaten in Bijlage IX). Ten eerste valt op dat sprake is van grote verschillende in het gemeten gehalte Ca, en in het berekende procentuele gehalte  $\text{CaCO}_3$ . De oorzaak hiervoor is niet duidelijk; wel is er gekeken of het vochtgehalte hieraan bijdraagt (uit de kalkkorrels verdwijnt bij het drogen circa 3% van het gewicht), en of andere elementen (Na, K) in het kristalrooster ingebouwd zijn (slechts sporen van gevonden, <300 mg/kg totaal). Het geproduceerde entmateriaal heeft een vergelijkbaar of een lager ijzergehalte dan de kalkkorrels. Waaraan dit ligt is niet duidelijk, mogelijk bevatte een deel van de kalkkorrels (HWL monsters) nog een kern van granaat.

Het geproduceerde entmateriaal van alle kalkkorrel verwerkende partijen voldoet op alle punten aan de gehanteerde normen, namelijk de normen uit de Regeling Materialen en Chemicaliën voor calciet als conditioneringsmiddel.

TABEL 12. SAMENVATTING CHEMISCHE ANALYSES VAN KALKKORRELS EN GEPRODUCEERD ENTMATERIAAL.

Parameter	eenheid	HWL	I	II	III	Norm
Al	mg/kg	53.9	43.6	3.7	9.6	-
As	mg/kg	<3 <sup>1)</sup>	0.1	0.1	0.2	3
Ca	mg/kg	372667	359000	433299	444790	-
Cd	mg/kg	<0.6	0.005	<0.01	0.03	2
Cr	mg/kg	<6 <sup>1)</sup>	0.2	0.1	0.1	10
Fe	mg/kg	426	113	22	28	-
Hg	mg/kg	<0.08	<0.001	0.003	0.001	0.5
Mg	mg/kg	10593	2150	1358	1508	-
Mn	mg/kg	18	22	1	12	-
Ni	mg/kg	<4 <sup>1)</sup>	0.5	0.5	0.7	10
Pb	mg/kg	<17 <sup>1)</sup>	0.1	0.03	0.08	10
Se	mg/kg	<10 <sup>1)</sup>	0.1	<0.2	<0.2	5
Sb	mg/kg	<4 <sup>1)</sup>	<0.004	<0.01	<0.01	3
% $\text{CaCO}_3$ <sup>2)</sup>	%	93	90	108	111	

De gepresenteerde gegevens betreft het gemiddelde van de analyses.

- HWL = kalkkorrels van Weesperkarspel zoals bepaald door de standaardanalyses van HWL.
- I = gemiddelde van kalkkorrels van Weesperkarspel en entmateriaal dat is geproduceerd uit kalkkorrels van Weesperkarspel door verwerkende partij I (zomerproef). Er lijkt geen significant verschil tussen entmateriaal en kalkkorrels te zitten.

- II = entmateriaal dat is geproduceerd uit kalkkorrels van Weesperkarspel door verwerkende partij II (winterproef 1).
- III = entmateriaal dat is geproduceerd uit kalkkorrels van OPB IJzeren Kuilen van WML door verwerkende partij III.
- Norm: volgens Tabel 5.

<sup>1)</sup> Rapportagegrens te hoog voor vergelijking met de norm, of dicht in buurt van de norm.

<sup>2)</sup> Berekend met behulp van het molecuulgewicht van Ca en CO<sub>3</sub>.

### 3.5 De fysische kwaliteit van calciet

Een aantal fysieke aspecten van het gemaakte entmateriaal is van belang voor toepassing in de ontharding, waaronder de deeltjesgrootteverdeling en de hardheid.

#### 3.5.1 Deeltjesgrootteverdeling

Voor de acceptatie van entmateriaal op Weesperkarspel hanteert Waternet de volgende fysische eisen:

- minder dan 2,5% fines (<0,10 mm), oftewel  $d_{2,5} > 0,10$  mm
- minder dan 10% deeltjes kleiner dan 0,40 mm, oftewel  $d_{10} > 0,40$  mm
- minder dan 10% deeltjes groter dan 0,60 mm, oftewel  $d_{90} < 0,60$  mm

Een laag percentage fines zorgt voor minder problemen op de carry-over filters, met fijnstof in de lucht en is efficiënter. De fractie 0,4-0,6 mm is optimaal voor het verkrijgen van een groot genoeg beschikbaar oppervlak in combinatie met het voorkomen van uitspoeling door de opwaartse stroomsnelheid die Waternet hanteert in Weesperkarspel. In Tabel 13 zijn de resultaten van de analyses gegeven, wat betreft deeltjesgrootteverdeling (details in Bijlage XIII).

TABEL 13. SAMENVATTING GEMETEN DEELTJESGROOTTEVERDELING VAN DE VERSCHILLENDE GEBRUIKTE ENTMATERIALEN.

Volumeverdeling [%]	Italiaans calciet [mm]	Verwerkende partij I [mm]	Verwerkende partij II [mm]	Verwerkende partij III [mm]
10	0,357	0,350	0,419	0,391
50	0,594	0,470	0,521	0,600
90	0,802	0,621	0,623	0,800

Het bij Verwerkende partij I en Verwerkende partij II geproduceerde entmateriaal voldoet aan de gestelde eisen. Het bij Verwerkende partij III geproduceerde entmateriaal voldoet slechts deels aan de gestelde eisen. Het aandeel fines is zeer klein (minder dan 1,1% <0,18 mm), maar slechts ongeveer 50% van de deeltjes zit in de gewenste fractie 0,4-0,6 (zie Bijlage XIII). Desondanks heeft Waternet besloten het entmateriaal te testen in Weesperkarspel.

#### 3.5.2 Hardheid

De hardheid van de kalkkorrels en het entmateriaal (granaatzand, zand, calciet, gebroken korrels) is van belang bij zowel het wassen van het entmateriaal en de introductie van het entmateriaal in de onthardingsreactoren, en is ook mogelijk van belang bij toepassing van het product in de industrie. In de loop van dit project zijn vragen ontstaan over de hardheid van de korrels, en waardoor deze wordt bepaald. Er zijn diverse gesprekken geweest met experts uit diverse sectoren (maalbedrijven, drinkwaterbedrijven). Hieronder volgt daarvan een samenvattend overzicht.



Kalkkorrels bestaan primair uit calciet, waarvan de hardheid volgens de schaal van Mohs (schaal 1 – 10) is gegeven als 3. In vergelijking met zand (silica in de kristalvorm kwarts) dat een Mohs hardheid heeft van 7 is calciet relatief zacht te noemen. Het is bekend dat de kalkkorrels harder zijn dan calciet uit mijnen. Waarom dit zo is, is niet precies bekend. Wel zijn een aantal mogelijke oorzaken gevonden:

- Volgens Koen Vos (Sibelco, mondelinge mededeling) zijn in kalkkorrels de calcietkristallen min of meer parallel aan elkaar gegroeid in een radiaal profiel. De dichtheid van de kristallen zoals op deze manier verpakt is hoger dan de dichtheid die van nature in calciet voorkomt. Zowel de hogere dichtheid als de parallelle oriëntatie kunnen redenen zijn dat de hardheid van kalkkorrels hoger is dan die van natuurlijk gegroeid calciet.
- De kristalstructuur van de kalkkorrels wordt mogelijk ook beïnvloed door de lokale oververzadigingsgraad in de reactor, de temperatuur van het water en de daarmee samenhangende aangroeisnelheid van het calciet.
- Volgens de heer Friedbert Holmer (Zweckverband Landeswasserversorgung) is de turbulentie onderin de reactor mede bepalend voor de hardheid van de kalkkorrels. Om deze reden wordt in de onthardingsreactoren te Langenau met een opwaartse snelheid van 30 m/h bedreven. In Nederland zijn veel hogere opwaartse snelheden gebruikelijk.
- Het is bekend dat voor substitutie van Ca met Mg in het kristalrooster met de substitutiegraad de hardheid van het materiaal toeneemt (lineair verband) (Kunitake et al. 2012). Gezien de beperkte hoeveelheid van de inbouw van Mg en andere atomen is de verwachting dat dit effect beperkt is; Kunitake et al. hebben laten zien dat de inbouw van 1% Mg de hardheid ongeveer 50% kan laten toenemen. In pellets blijft het percentage van niet Ca-atomen in het kristalrooster in de regel ruim onder de procent.
- Natuurlijk organisch materiaal wordt ook ingebouwd in de pellets. Het is mogelijk dat hierdoor de hardheid van het materiaal toeneemt. De analogie naar biomineralen lijkt voor de hand te liggen. In diverse biomineralen, zoals bijvoorbeeld bot, wordt een organisch materiaal gecombineerd met een anorganisch materiaal (collageen en calciumfosfaat in het geval van bot). De anorganische component zorgt vaak voor de sterkte van het materiaal, waarbij de organische component de vervormbaarheid (ductiliteit) verhoogt. De combinatie van eigenschappen zorgt er vaak voor dat er meer energie nodig is om het materiaal te bewerken (Meyers et al. 2008).

Op dit moment is zonder verder onderzoek niet duidelijk welk van de hierboven beschreven mechanismen in welke sterkte bijdragen aan de hardheid van kalkkorrels, of in hoeverre hier nog op valt te sturen in de procesvoering.

### 3.6 Praktijkervaringen verwerkende partijen en behaald rendement

#### 3.6.1 Zomerproef met Verwerkende partij I

De eerste van de praktijkervaringen is opgedaan met Verwerkende partij I. Dit bedrijf maalt al decennia kalkkorrels van drinkwaterbedrijven en verkoopt de gemalen kalk door. De benodigde kennis voor het malen van dit soort materiaal, en wat haalbaar is waren volgens de verwachting van de projectgroep bij dit bedrijf zeker aanwezig. Het bedrijf maalt calciet op relatief kleine schaal.

Bij het eerste bedrijfsbezoek is de behandelingstrein doorlopen (Bijlage X). Hierbij zijn diverse mogelijk paden van (her)besmetting van het geproduceerde entmateriaal gesignaleerd (o.a. open overdekte opslag, overdekte feedhopper in buitenlucht, met handen aan materiaal zitten). Het proces is wat bewerkelijk, o.a. door de kleine schaal, maar de communicatie met Verwerkende partij I was goed. Door de kleine schaal waarop het proces

plaatsvindt, is het malen verspreid over vele weken. Hierdoor was het mogelijk om van het eerste geproduceerde entmateriaal monsters te nemen en die te laten analyseren. De microbiologische analyses van het in eerste testen geproduceerde entmateriaal lieten een aantal positieven zien (paragraaf 3.2). Aangezien het entmateriaal aan de normen volgens paragraaf 2.4.2 dient te voldoen voor gebruik in de Nederlandse drinkwatersector, is er vervolgens een tweede bedrijfsbezoek uitgevoerd, waarbij tips zijn gegeven aan Verwerkende partij I met als doel het besmettingsrisico te minimaliseren.

In totaal is 50 ton naar Verwerkende partij I getransporteerd, waaruit 25 ton entmateriaal is geproduceerd (hoog rendement, ~50%). Het kleinschalige proces waarmee uiteindelijk gedurende een periode van een aantal weken entmateriaal is geproduceerd bestaat uit de volgende stappen: feedhopper, drogen (bij circa 200 °C), malen met een breker, zeven (met terugvoeren naar de breker van de overmaat, en aparte opvang van 0,4-0,6 mm fractie en ondermaat), en als laatste stap het nogmaals drogen (bij circa 200 °C) van de 0,4-0,6 mm fractie, tijdelijke opvang in big bags, later overzetten in silowagen. Dankzij de verbeteringen die zijn doorgevoerd na de bezoeken en de tweede droogstap annex desinfectiestap voldeed het geproduceerde entmateriaal aan de normen.

### 3.6.2 Winterproef deel 1 – Verwerkende partij II

Verwerkende partij II is een groot industrieel bedrijf met veel ervaring in het malen van kalk, en beperkte ervaring met het malen van kalkkorrels.

Bij het bedrijfsbezoek ten tijde van de productie van het entmateriaal (Bijlage XI) bleek dat er een beperkt aantal mogelijkheden voor besmetting waren (o.a. niet volledig afgesloten opslag, transport naar feedhopper met schep die in buitenlucht staat). Tijdens het maal- en zeefproces zitten de medewerkers in principe niet aan het materiaal. De verwachting was dat het geproduceerde entmateriaal hoogstwaarschijnlijk zou voldoen aan de normen volgens paragraaf 2.4.2.

Voor de test zijn 150 ton kalkkorrels van Weesperkarspel naar Verwerkende partij II getransporteerd om 25 ton entmateriaal te maken (een laag rendement van circa 18%). Het industriële proces waarbij 150 ton kalkkorrels binnen 24 uur kunnen worden verwerkt is opgebouwd uit de volgende stappen: feedhopper, drogen (materiaal warmt op tot maximaal 80 °C), malen (hamers), cycloon, zeven (ondermaat opvangen en deels voor verkoop, selectie van 0,5-0,65 mm fractie, overmaat terugvoeren), tankwagen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het rendement laag was, deels omdat dit productieproces niet geoptimaliseerd is. De ondermaat kon (deels) direct worden afgezet naar een andere industrie.

### 3.6.3 Winterproef deel 2 – Verwerkende partij III

Verwerkende partij III heeft veel ervaring met het op industriële schaal malen van kalk. Verwerkende partij III vermaakt reeds kalkkorrels en zij produceren reeds entmateriaal.

Bij het bedrijfsbezoek ten tijde van de productie van het entmateriaal (Bijlage XII) bleek dat er een zeer beperkt aantal mogelijkheden voor besmetting waren (het is mogelijk voor vogels om in de bedrijfshallen te komen, medewerkers zitten soms met hand aan halfproduct). Overheveling vanuit tankwagen naar feedhopper gaat via gekoppelde slang. Tijdens het maal- en zeefproces zitten de medewerkers tijdens normale bedrijfsvoering in principe niet aan het materiaal. De verwachting was dat het geproduceerde entmateriaal zou voldoen aan de normen volgens paragraaf 2.4.2.

Voor de test zijn 125 ton kalkkorrels van OPB IJzeren Kuilen (WML) naar Verwerkende partij III getransporteerd om 25 ton entmateriaal te maken (laag rendement). Het industriële proces waarbij 125 ton kalkkorrels binnen 24 uur kunnen worden verwerkt is opgebouwd uit de volgende stappen: feedhopper, drogen (materiaal warmt op tot maximaal 80 °C), malen (hamers), cycloon, zeven (ondermaat opvangen, selectie van 0,4-0,6 mm fractie, overmaat terugvoeren), silowagen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de zeef werd overbelast omdat de binnenkomende silowagens met kalkkorrels te snel gelost moesten worden. Hierdoor is de uiteindelijk geleverde fractie niet ideaal. Bij gebruik van het proces in de toekomst valt te verwachten dat op dit punt nog een grote verbeteringsslag gemaakt kan worden en wel degelijk aan de door Waternet gestelde eisen voor de deeltjesgrootteverdeling van het entmateriaal kan worden voldaan.

### 3.6.4 Rendementen

In Tabel 14 zijn de rendementen samengevat die bij de drie testen behaald zijn. In paragraaf 2.8 is aangegeven dat het rendement van belang is voor de kosten van calcië-ent. Uit de drie praktijktesten is gebleken dat de processen nog niet geoptimaliseerd zijn voor een continue, *full scale* toepassing. Vanwege die reden en vanwege de kosten systematiek hebben de in dit project behaalde rendementen geen direct effect op de kosten.

TABEL 14. SAMENVATTING RENDEMENTEN.

Verwerkende partij	rendement	opmerking
Verwerkende partij I	50%	relatief hoog rendement door lage throughput
Verwerkende partij II	18%	laag rendement, hoogstwaarschijnlijk niet geoptimaliseerd vanwege commercieel belang om rest materiaal af te zetten
Verwerkende partij III	20%	laag rendement, grote fractie fines, proces was niet geoptimaliseerd

## 3.7 Praktijkervaringen Waternet

### 3.7.1 Praktijkervaring zomerproef

De volgende omschrijving van de praktijkervaringen van Waternet over de zomerproef is afgeleid van het rapport "Transitie granaat naar gebroken pellets (calcië) als entmateriaal - Evaluatie zomerproef Ontharding Partij I Calcië" (Borsboom, 2015):

Vanaf 2 februari 2014 is in het drinkwateronthardingsproces op Weesperkarspel een nieuw materiaal ingezet om kalk uit drinkwater te verwijderen. Kalk dat eerst neersloeg op granaatzand afkomstig uit Australië is tijdens de zomerproef "Ontharden met Italiaans calcië" vervangen door calcië als entmateriaal. Na de transitie naar calcië als entmateriaal is een hoeveelheid pellets bij Verwerkende partij I gemalen, gezeefd en teruggevoerd in het onthardingsproces. Dit was de volgende fase van de zomerproef en betrof ontharden met gebroken pellets genaamd "Partij I calcië".

De vrijgekomen kalkpellets met calciëkern zijn vermalen bij Verwerkende partij I. Op 9 oktober 2014 is een deel van de vermalen kalkpellets opnieuw ingezet in het drinkwateronthardingsproces als vervanger van calcië.

Het restproduct van zuivere kalkpellets kan als nieuwe grondstof voor de industrie een hoogwaardigere en duurzamere bestemming krijgen.

De evaluatie vanuit de FMECA is onderverdeeld in vier onderdelen: Installatie, Kwaliteit, Mens en Procesautomatisering.

**Installatie:**

- De vervuiling door aanslag met calciet is groter. De aanslag treedt op in het gehele systeem. In leidingwerk, overlooppranden van reductoren en cyclonen. Hierdoor is de bewerkelijkheid en inzet van personeel hoger.

**Kwaliteit:**

- De uitgaande hardheid voldoet aan de eisen van 1,49 mmol/l (per 1-april-2015 is de eindhardheid 1,4 mmol/L)
- Er is uitspoeling van lichte fractie uit de reductoren. Dit is zichtbaar duidelijk in het wasprogramma, er is een langdurige witte waas in vergelijking bij het wasprogramma van granaatzand. Op de koolfilters is dit zichtbaar maar dit leidt niet tot problemen in het productieproces.

**Mens:**

- Het entmateriaalverbruik is toegenomen van 179 ton granaatzand in 2013 naar 300 ton calciet in 2014
- De hoeveelheid afgevoerde pellets is toegenomen van 1.857 ton in 2013 naar 2.054 ton in 2014

**Procesautomatisering:**

- De wasinstellingen waaronder wassnelheden van de calcietzandwasinstallatie dienen te worden geoptimaliseerd. Hierdoor is uitspoeling van een grotere fractie te voorkomen.

**3.7.2 Praktijkervaring winterproef**

De volgende omschrijving van de praktijkervaringen van Waternet over de winterproef is afgeleid van het rapport "Transitie granaat naar gebroken pellets (calciet) als entmateriaal - Evaluatie winterproef Ontharding Partij II en III Calciet" (Borsboom, 2015):

In het onthardingsproces van de drinkwaterproductie van Weesperkarspel is een proef gehouden met de inzet van gebroken pellets. Door de waterhardheid te reduceren worden tijdens het onthardingsproces kalkpellets van 1,0 mm gevormd. Voor de winterproef zijn kalkpellets door twee bedrijven gemalen en opnieuw ingezet in het drinkwaterproces. Net als bij de zomerproef is er ook een periode Italiaanse calciet gebruikt.

Van januari tot en met april 2015 is de winterproef gehouden. Het doel van de winterproef is om bij lagere watertemperaturen de gewenste hardheid te halen van 1,40 mmol/l.

De winterproef is gehouden met drie soorten entmateriaal met gewenste specificatie van 0,4 - 0,6 mm.

- Italiaans calciet
- Verwerkende partij II gebroken pellets
- Verwerkende partij III gebroken pellets

**Bevindingen Waternet:****Algemeen:**

1. Er is tijdens de winterproef geen nadelig effect op de te behalen hardheid van drinkwater waargenomen.

2. Er is een toename van storings bij aan en afvoer van entmateriaal en pellets.

*Italiaans calcië*: De ervaring met Italiaans calcië is dat er veel materiaal achter blijft op de apparatuur en leidingen. Tijdens transport van gewassen calcië ontstaan er veel verstoppingen in het leidingwerk. Bij het aanvullen van vers entmateriaal ontstaan er troebelingspieken in de reductor.

*Verwerkende partij II gebroken pellets*: Bij het aanvullen van vers entmateriaal ontstaan er troebelingspieken in de reductor, deze zijn kleiner dan bij Italiaans calcië. De handling, bij het vullen van de voorraadsilo, het wassen en transport naar de reductor, geeft minder problemen dan bij gebruik van Italiaans calcië.

*Verwerkende partij III gebroken pellets*: Door een grotere spreiding van diameter van pellets, 0,3 - 0,8 mm is er meer fijn materiaal uitgewassen. Tevens liep het afwegen minder soepel. Doordat er ook grotere gebroken pellets (0,8 mm) zijn aangevoerd is de verblijftijd van deze grote korrels in de reductor ook laag geweest.

Aanbevelingen Waternet:

Door de grote hoeveelheid storings tijdens aan en afvoer van entmateriaal en pellets dienen er aanpassingen en verbeteringen te worden gedaan aan leidingen en appendages. Voorgesteld wordt om de leverantie van gebroken pellets op 0,4 - 0,6 mm te houden en niet af te wijken.

### 3.7.3 Overall oordeel Waternet (zomerproef en winterproef):

Met elk entmateriaal wordt aan de normen en eisen voldaan bij Waternet. De overall indruk van Waternet over de verschillende entmaterialen, in volgorde van 'beste prestatie' is:

3. Verwerkende partij I calcië, gezeefd en twee maal verhit. Weinig fines, lage troebeling in de reductoren, goede handling.
4. Verwerkende partij II calcië, gezeefd. Meer fines met troebelingspieken bij het bijvullen van de reductoren. Goede handling.
5. Verwerkende partij III calcië. Breed spectrum aan korrelgrootte d10 d90 0,3 - 0,8 mm Veel uitspoeling, minder goede dosering in waskolom ( bij afwegen). Troebelingspieken bij bijvullen van de reductor.
6. Italiaanse ingekocht calcië. Veel last van verstopping veel hechting / aangroei aan de wanden. Troebelingspieken bij bijvullen van de reductor.



## 4 Synthese en variantbeoordeling

### 4.1 Introductie

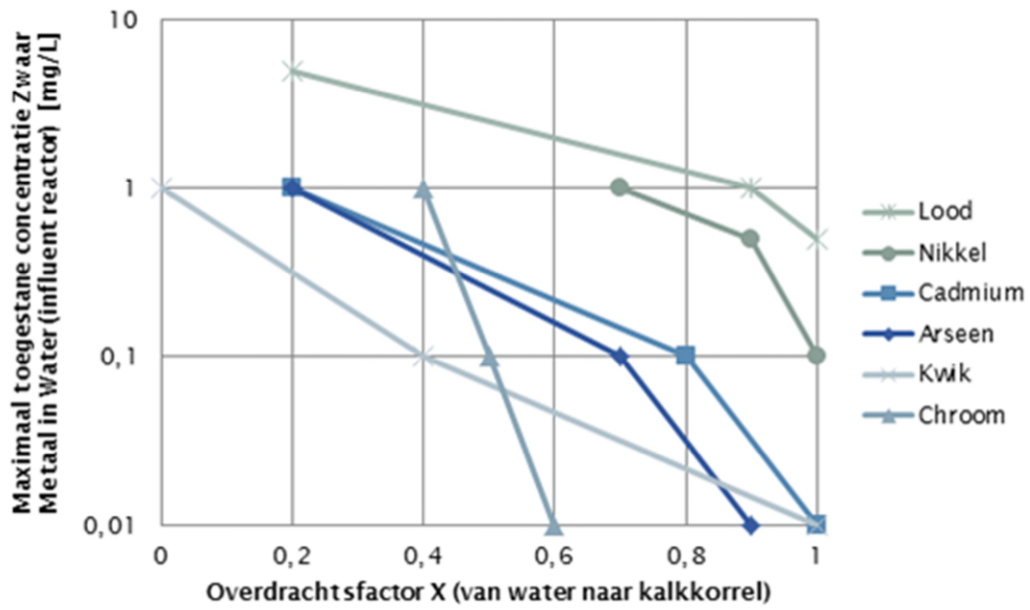
In dit hoofdstuk zijn de projectresultaten gepresenteerd die verkregen zijn op basis van synthese van de resultaten uit hoofdstuk 3 aangevuld met aanvullende analyses op basis van modelberekeningen van de kwaliteit van calciet, de duurzaamheidstechnische en economische haalbaarheid van de verschillende varianten om kalkkorrels te verwerken en vermarkten, en de ATA-certificatie gerelateerde aspecten bij die varianten. Al deze afzonderlijke resultaten zijn integraal verwerkt in een overall overzicht.

### 4.2 Modelleringsconcentratie zware metalen in kalkkorrel

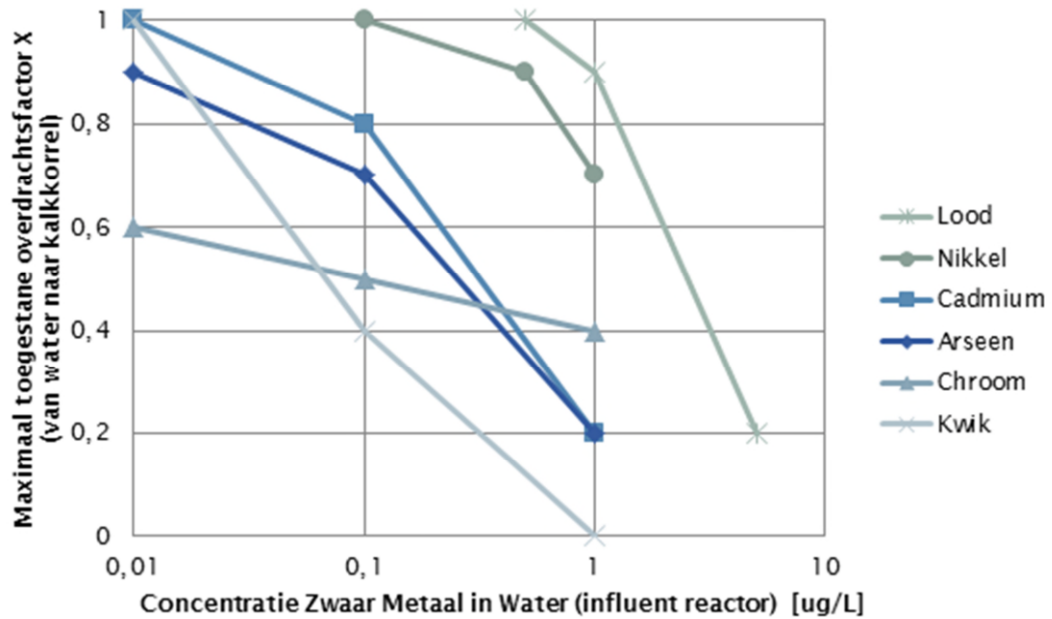
Modelberekeningen tonen aan dat, bij in de praktijk heersende omstandigheden, de concentratie zware metalen in de kalkkorrel en het hergebruikte calciet-ent na verloop van tijd gelijk zijn aan elkaar. Onder deze praktijkomstandigheden treedt accumulatie van zware metalen in de kalkkorrels niet op, en er bestaat geen risico bestaat voor overdracht van zware metalen vanuit het entmateriaal naar het drinkwater. Details over de modelberekening zijn opgenomen in Bijlage IV.

De zware metalen die in de kalkkorrels worden opgenomen zijn afkomstig uit het water (reactor influent) en de onthardingschemicaliën, naast de zware metalen die in het entmateriaal aanwezig zijn. Met behulp van de modelberekening is bepaald bij welke concentraties van een zwaar metaal in het reactor influent, bij verschillende overdrachtsfactoren van zware metalen tussen de waterfase en de kalkfase, een concentratie in de kalkkorrel (en daarmee het entmateriaal) wordt bereikt die niet voldoet aan de kwaliteitseis die geldt voor toepassing van calciumcarbonaat als conditioneringsmateriaal, zoals weergegeven in Tabel 5. Bij deze berekening is uitgegaan van de maximaal toelaatbare concentratie zware metalen in natronloog, gebaseerd op de Regeling Materialen en Chemicaliën. Deze concentraties en de overige uitgangspunten bij de ontharding zijn weergegeven in Tabel 7.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 25 en Figuur 26 en achterliggende data zijn weergegeven in Bijlage XIV.



FIGUUR 25. MAXIMAAL TOEGESTANE CONCENTRATIE ZWAAR METAAL IN REACTOR INFLUENT ALS FUNCTIE VAN OVERDRACHT X VAN WATER NAAR KALKKORREL



FIGUUR 26. MAXIMAAL TOEGESTANE OVERDRACHT X VAN WATER NAAR KALKKORREL ALS FUNCTIE VAN DE CONCENTRATIE VAN ZWAAR METAAL IN WATER (REACTOR INFLUENT).

Uit de modelberekeningen blijkt dat de concentratie van zware metalen in de kalkkorrel waaruit het calcië entmateriaal geproduceerd wordt onder bepaalde omstandigheden, d.w.z. combinaties van de concentratie zware metalen in reactor influent, concentratie zware metalen in toegevoerde onthardingschemicaliën en overdracht van zware metalen tussen



water en kalkfase, zulke waarden bereiken dat de kwaliteit van de kalkkorrel (en het calcië entmateriaal dat daar uit geproduceerd wordt) niet voldoet aan de normen die in de Regeling Materialen & Chemicaliën gelden voor calcië als toepassing als conditioneringsmiddel.

Voorbeelden:

- Uit Figuur 25: wanneer de overdracht van kwik van water naar de kalkfase 0,4 is, dan mag het reactor influent maximaal 0,1 µg/L kwik bevatten om nog net te voldoen aan de normen volgens basis de Regeling voor calcië als conditioneringsmiddel.
- Uit Figuur 26: wanneer het reactor influent 1 µg/L chroom bevat en de overdracht van water naar kalkfase 0,4 is, dan bevat de kalkkorrel - op basis van beoordeling als calcië als conditioneringsmiddel volgens de Regeling - te veel chroom om als entmateriaal toegepast te worden.

De modelberekening zijn gebaseerd op twee *worst case* aannames: 1) het entmateriaal wordt getoetst volgens normen die opgesteld zijn voor calcië als conditioneringsmiddel terwijl calcië hier in een kalkafzettend milieu wordt toegepast, en 2) de concentratie zware metalen in natronloog zijn ingesteld op de maximum waarden. Op basis van een beperkte set praktijkdata blijkt dat de concentraties van alle zware metalen in natronloog significant beneden de normwaarden liggen. Bij de totstandkoming van het rapport zijn geen praktijkdata bekend van overdrachtsfactoren en concentraties van zware metalen in het reactor influent. Tenslotte, uit een groot aantal bepalingen van de kalkkorrel kwaliteit is gebleken dat het calcië steeds aan de gehanteerde normen voldoet (zie paragraaf 3.4).

### 4.3 Marktanalyse en opbrengst

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de marktpotentie van zowel het calcië entmateriaal als de nieuwe kalkkorrels.

#### 4.3.1 Vraag vanuit de drinkwatersector naar calcië-ent

Een belangrijke drijfveer voor partijen om onderhavig project uit te voeren, was het sluiten van (een deel van) de kalkkorrelkringloop. De gebroken kalkkorrel wordt ingezet als nieuw entmateriaal voor ontharding van drinkwater volgens het kristallisatieproces, waarbij zandvrije kalkkorrels ontstaan. Dit proces kan 'oneindig' lang doorgaan.

Het jaarlijks volume kalkkorrel met een calciëkern bedraagt op dit moment 14.000 ton per jaar in Nederland. Hiervoor is circa 700 - 1400 ton entmateriaal (calcië) benodigd (de hoeveelheid benodigd ent als percentage van het kalkkorrel volume is casus afhankelijk). Om die hoeveelheid calcië-ent te produceren is uitgaande van een rendement van 50% circa 1400 - 2800 ton per jaar aan zandvrije kalkkorrels nodig.

Er wordt in Nederland op jaarbasis ca. 73.000 ton aan kalkkorrels geproduceerd (stand 2016). Grote verschuivingen in dit volume worden niet verwacht.<sup>6</sup> De potentiële markt voor entmateriaal is bij een aandeel van circa 5% ent in een kalkkorrel maximaal 3.400 ton per jaar. Om financiële- en technische redenen wordt echter verwacht dat niet alle ontharding overgaan op calcië-ent. Op basis van de onthardingslocaties die reeds op calcië-ent produceren, de voorgenomen besluiten om over te gaan op calcië-ent én bekende plannen, wordt verwacht dat in 2017 circa 60% van de ontharding zal plaatsvinden op calcië-ent. Dit komt overeen met een markt van circa 2.000 ton calcië-ent per jaar.

In de ons omliggende landen wordt ook onthard, zij het op veel kleinere schaal. Uitgaande van Vlaanderen en de Duitse grensstreek stijgt de vraag naar calcië-ent in potentie met een

<sup>6</sup> Tenzij Vitens op grotere schaal gaat ontharden op basis van een 'aangescherpt' onthardingscriterium.

extra volume van 700 – 1.000 ton per jaar. Als ook daar uiteindelijk 60% bereid is om daadwerkelijk het productieproces aan te passen leidt dat tot een additioneel marktpotentieel 500 ton calcië-ent per jaar.

Concluderend bestaat er een marktpotentieel van maximaal 4.400 ton in Nederland en de directe omgeving. Het is realistisch uit de te gaan van een transitie van circa 60% van de bedrijven, ofwel een markt van 2.650 ton calcië-ent per jaar.

#### 4.3.2 Vraag vanuit de markt naar kalkkorrels met hoge zuiverheid

De markt voor calciumcarbonaat in zijn totale omvang is vele malen groter dan de drinkwatersector aan volume zou kunnen produceren, nu en in de toekomst. Er bestaan voor calciumcarbonaat echter vele verschillende product-marktcombinaties (PMC's), waarbij de kalkkorrels zoals deze momenteel worden geproduceerd in een groot aantal gevallen niet geschikt zijn. Deze 'ongeschiktheid' wordt in de basis veroorzaakt door verschillende aspecten: de samenstelling, de aanwezigheid van een zandkern, de vorm en/of korrelgradatie, en de kleur.

Tot voor kort ontstond bij de bereiding van drinkwater calcië in de vorm van korrels met daarin een kern van zand/silicaat, zijnde rivierzand of granaatzand. Voor deze relatief laagwaardige korrels is een aantal markten ontwikkeld, zoals grindvervanger in beton, vulstof in composiet, pH neutralisatie van bodem of afvalwater en aquariumzand. In alle gevallen toepassingen waarbij een zandkern geen probleem is. Bij kippenvoer is de aanwezigheid van zand juist een voordeel.

Er zijn echter verschillende markten die de toepassing van zandvrije calciëkorrels vereisen, bijvoorbeeld:

- tapijttegels (bij het snijden van tegels slijten anders de messen te hard);
- papierindustrie (idem, alsook de onzuiverheden in het papier);
- ontzuring afvalwater (zand zorgt voor verstopping);
- glasindustrie (granaatzand bevat teveel ijzer);
- verf (onzuiverheden, kleur, hardheid);
- Kunststof.

Voorgenoemde markten komen in beeld wanneer de zand wordt vervangen door calcië als entmateriaal. De precieze omvang van de verschillende markten is niet precies bekend, maar ook hier staat vast dat deze groter zijn dan de drinkwatersector zou kunnen beleveren. Zo zou de tapijtindustrie in Nederland alleen al meer dan de helft van de productie voor haar rekening kunnen nemen.

Tot slot vragen veel PMC's om bewerkte (drogen, malen, zeven, hygiënisch betrouwbaar maken) kalkkorrels. Bij dit bewerken is de zandkern vaak een operationeel probleem, leidend tot hogere productiekosten. Zo zal een maalinstallatie vele malen sneller slijten als gevolg van de harde zandkern. De bewerkingskosten nemen bij kalkkorrels met zandkern tot 20 à 30 % toe ten opzichte van kalkkorrels zonder zandkern.

Concluderend: de totale markt voor calciumcarbonaat is vele malen groter dan de waterbedrijven kunnen beleveren. Er is echter een aantal interessante PMC's – in omvang eveneens vele malen groter dan de drinkwaterbedrijven aan calciumcarbonaat produceren – die op dit moment niet kunnen worden belevend wanneer de kalkkorrel een zandkern bevat. Daarnaast nemen de bewerkingskosten van kalkkorrels toe (vooral malen) wanneer de kalkkorrel zand bevat.

### 4.3.3 Opbrengsten

Calciumcarbonaat of calcië is een veel voorkomende grondstof en is ruim verkrijgbaar. Nederland heeft vier relatief kleine kalkgroeven: Winterswijk, Maastricht, Margraten en Valkenburg. De meeste calciumcarbonaat wordt dan ook geïmporteerd uit België, Duitsland en Frankrijk, met een totale waarde van 174 miljoen dollar per jaar (bron: <https://atlas.media.mit.edu/nl/profile/sitc/6611/>).

De verkoopwaarde van calciumcarbonaat wordt in sterke mate bepaald door de kwaliteit (fysisch, chemisch), de locatie waar het naar toe moet worden gebracht en de wijze waarop het wordt afgeleverd (bulk, silowagen, bigbag, etc.). Dit betekent dat de verkoopwaarde bij de eindafnemer weinig zegt over de waarde 'afgehaald' bij het drinkwaterbedrijf. Er vinden in de meeste gevallen nog behoorlijk wat stappen plaats die waarde toevoegen aan het product, maar ook kosten met zich meebrengen.

Bij de toepassingen zoals hierboven genoemd geldt grofstoffelijk dat voor de lagere verkoopwaarde minder inspanningen (en dus kosten) nodig zijn dan voor de hogere opbrengsten.

Wanneer ten opzichte van de kalkkorrel met zandkern (ref. 2014) de kosten worden meegenomen voor transport, drogen, malen, zeven, verpakken en/of hygiënisch betrouwbaar maken, wordt een hogere opbrengst 'af poort drinkwaterbedrijf' verwacht voor zandvrije kalkkorrels.

### 4.3.4 Interesse investeren in bewerkingsinstallatie

Wanneer de calcië-ent niet op locatie zelf geproduceerd wordt, dient het waterbedrijf de opdracht op de markt te zetten. Binnen het voorliggend project zijn ervaringen opgedaan met drie partijen die in staat zijn gebleken om geschikt entmateriaal te produceren. Alle drie partijen hebben kenbaar gemaakt dit voor de sector te willen gaan doen.

Verwerkende partij II heeft een specifieke locatie in beeld om calcië-ent te maken. Hier wordt op dit moment reeds calcië (met calciëkern) bewerkt. Met toevoeging van een zeef en eventueel een stap om de hygiënische betrouwbaarheid te vergroten kan het calcië-ent daar zonder problemen geproduceerd worden.

Verwerkende partij III maakt reeds ent voor een waterproductielocatie. Op korte termijn zou men hiervandaan kunnen leveren. Verwerkende partij III onderzoekt tevens te mogelijkheid om op hun locatie een 'dedicated' productielijn te maken voor kalk uit de drinkwatersector.

Verwerkende partij I heeft een fabriek staan die reeds jarenlang verschillende producten maakt uit calcië uit de drinkwatersector. Voor Verwerkende partij I is lokaal geen zandvrije kalkkorrel beschikbaar, waardoor men voor het maken van calcië-ent afhankelijk is van leveranties elders. Dit maakt deze optie op de korte termijn financieel en duurzaamheidstechnisch minder interessant. Verwerkende partij I kan echter op vrij korte termijn een pilotfabriek realiseren die op korte termijn aan de vraag naar calcië-ent kan voldoen. Daarnaast is ook Verwerkende partij I geïnteresseerd om uiteindelijk een grote(re) fabriek te bouwen.

## 4.4 Kostenanalyse

Een uitgebreide omschrijving van de kostenberekening is weergegeven in Bijlage V, een samenvatting van de kosten (CAPEX, OPEX en totaal) per Mm<sup>3</sup> drinkwater per jaar en per ton eindproduct beschikbaar voor verkoop is weergegeven in Tabel 16. Zoals in Bijlage V uitgebreid beschreven is voor de Varianten 1B en 3 een andere methodiek gebruikt dan voor de

Varianten 9, 12 en 12+3; Variant 6 is een tussenvariant. De consequentie is dat de vergelijking met enig voorbehoud gedaan wordt.

De input voor de kostenberekening (gebaseerd op o.a. de massabalansen uit paragraaf 2.3) is samengevat in Tabel 15.

TABEL 15. INPUT KOSTENBEREKENING.

Variant	0A granaat	0B calciet	1B	3	6	9	12	12A	3 +12
(gezamenlijke) zuiveringsgrootte (Mm <sup>3</sup> /j)	10	10	10	10	10	96	268	268	268
calcietproductie (ton/j)	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600	25.000	70.000	70.000	70.000
inkoop calciet	0	262	0	0	0	0	0	0	0
entmateriaal t.o.v. calcietproductie	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
maalrendement (excl. slib)			50%	50%	100%	100%	100%	100%	50%
calcietproductie t.b.v. entmateriaal (ton/j)	0	0	520	520	260	2500	7.000	7.000	14.000
fijne calciet fracties naar slibopvang (nauwelijks restwaarde)	0	0	260	260	0	0	0	0	7.000
<b>calciet voor verkoop (excl. slib) (ton/jaar)</b>	<b>2879</b>	<b>2879</b>	<b>2355</b>	<b>2355</b>	<b>2617</b>	<b>25233</b>	<b>70000</b>	<b>70000</b>	<b>63000</b>
calciet voor verkoop t.o.v. productie (excl. slib)	110%	110%	90%	90%	100%	100%	100%	100%	90%
eindproduct	pellets zandkern	pellets calciet	pellets calciet	pellets calciet	droge fracties	droge fracties	droge fracties	droge fracties	droge fracties
indicatie grootte uurproductie (kg/h)			240	400	1990	10.000	27.000	27.000	21.600
aantal malers t.o.v. uurproductie			1	2	≥2	≥2	≥2	≥2	≥2
malen			onder water	onder water	droog	droog	droog	droog	droog

TABEL 16. SAMENVATTING KOSTEN PER VARIANT (INDICATIE CAPEX, OPEX EN TOTAAL PER MM3/JAAR EN PER TON VERKOCHT EINDPRODUCT. + IS HOGE, 0 IS MID, EN - IS LAGE KOSTEN

Variant	Capex €/Mm <sup>3</sup>	Opex €/Mm <sup>3</sup>	Totaal €/Mm <sup>3</sup>	Capex €/ton	Opex €/ton	Totaal €/ton
	€/ Mm3/j			€/ ton verkocht product		
0A/0C. Referentie met zand. <i>eindproduct: kalkkorrels (zand)</i>	+	+	+	+	+	+
0B. Referentie met inkoop calciet. <i>eindproduct: calcietpellets</i>	+	+	0	+	+	0
1B: malen calciet per reactor. <i>eindproduct: calcietpellets</i>	-	+	0	-	+	0
3: malen calciet per ontharding voor entmateriaal. <i>eindproduct: calcietpellets</i>	0	+	0	0	+	0
6: droog malen calciet per ontharding, entmateriaal en andere producten. <i>eindproduct: droge fracties</i>	-	-	-	-	-	-
9: droog malen calciet op ontharding, regionaal, voor entmateriaal en andere producten. <i>eindproduct: droge fracties</i>	+	-	-	+	-	-
12: centraal droog malen calciet, voor entmateriaal en andere producten (huur). <i>eindproduct: droge fracties</i>	+	-	-	+	-	-
12A: centraal droog malen calciet, voor entmateriaal en andere producten (investeren). <i>eindproduct: droge fracties</i>	-	-	-	-	-	-
12+3: lokaal nat malen ent, pellets centraal droog verwerken. <i>eindproduct: droge fracties</i>	0	-	-	0	-	-

De volgende zaken vallen op:

- De investeringen bij de grootschalige varianten vallen relatief laag uit vanwege het feit dat uit is gegaan van huur in plaats van aanschaf. Ter vergelijking is daar Variant 12A aan toegevoegd die wel gebaseerd is op investeren in plaats van huur.
- De investeringen voor Variant 3 zijn lager dan Variant 1B omdat bij Variant 1B bij elke reactor een maalvoorziening wordt geïnstalleerd.

- Het verschil tussen de kosten voor Variant 12 en 12A zijn significant. Het verschil wordt veroorzaakt door de financieringswijze.
- De kleinschalige varianten (nat malen) zijn qua kosten goedkoper dan de grootschalige varianten (droge verwerking).

De gegevens over opbrengsten uit paragraaf 4.3.3 zijn in Tabel 17 gecombineerd met de kosten (indicatie €/ton: - is lage opbrengst/hoge kosten, 0 is mid opbrengst/mid kosten, + is hoge opbrengst/lage kosten).

TABEL 17. NETTO OPBRENGSTEN (INDICATIE €/TON VERKOCHT CALCJET) PER VARIANT.

Variant →	0A granaat	0C calciet	1B	3	6	9	12	12A	12+3
Kosten (€/ton verkocht calciet)	+	0	0	0	-	-	-	-	-
Opbrengsten (€/ton calciet)	-	0	0	0	+	+	+	+	+
Netto opbrengst (€/ton calciet)	0	0	-	0	+	+	+	0	0

De genoemde opbrengsten dienen met enige voorzichtigheid gebruikt te worden. Uit de gecombineerde kosten en opbrengstgegevens blijkt dat de grootschalige varianten met opwerking tot droge calciet eindproducten gunstiger uitvallen. De kosten voor Variant 1B (nat malen op elke reactor) vallen hoger uit dan de opbrengsten. De referentievarianten zitten rond het *break-even point*.

#### 4.5 Technische haalbaarheid

De technische haalbaarheid van het droog verwerkingsproces (drogen, malen, zeven) is in dit project middels een drietal testen, elk bij een andere verwerkende partij, aangetoond.

De technische haalbaarheid van het nat malen van calciet lijkt vooralsnog goed haalbaar. Voor bevestiging van het concept van nat malen wordt aanbevolen een representatieve maalproef (nat onderwater) te laten uitvoeren. Dit kan naar verwachting binnen een redelijke termijn en tegen beperkte kosten. Aanbevolen wordt het concept na bevestiging door de maalproef te testen in een pilot.

In Tabel 18 zijn diverse technische aspecten voor de verschillende Varianten samengevat. Hierin worden vooral de verschillen in onzekerheden benoemd. In absolute zin geldt het voorbehoud dat iedere maal-installatie nieuw is voor de watersector. Daarnaast kennen dergelijke installaties de typische aspecten van behandeling van droge producten zoals bijvoorbeeld bij kalkmelk aanmaakinstallaties of actiefkool, zijnde stof, slijtage, en onderhoud.

TABEL 18. TECHNISCHE ASPECTEN MAALVOORZIENING EN BEOORDELING PER VARIANT.

Variant →	1B	3	6	9	12
<b>Aspect</b>					
bestaand toegepast principe	ja, niet vaak	ja, niet vaak	ja	ja	ja
bekende leveranciers	1	1	diverse	diverse	diverse
voorbehoud leverancier	maalproef	maalproef	maalproef	-	-
pilot noodzakelijk	ja	ja	nee	nee	nee
onderhoud	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	intensief maar bekend	intensief maar bekend
stofvorming	nee	nee	ja	ja	ja
storingsongevoeligheid	gemiddeld, eenvoudig systeem, wel onderhoud aan maler	gemiddeld, eenvoudig systeem, wel onderhoud aan maler	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem

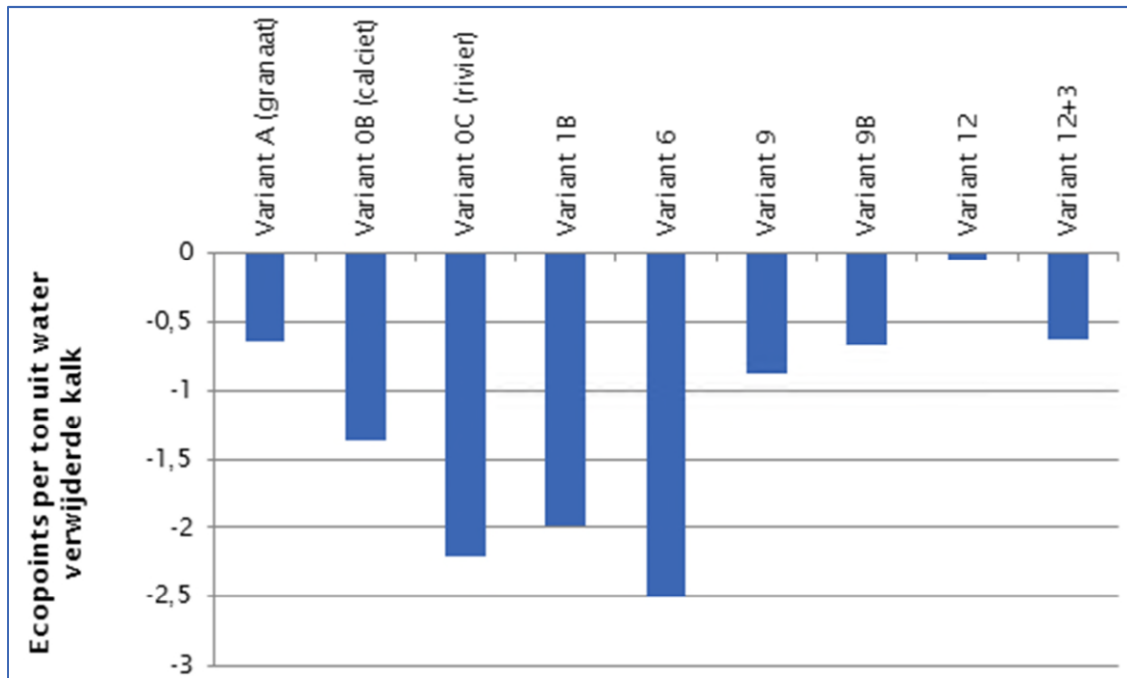
#### 4.6 LCA resultaten

De totale milieu-impact (uitgedrukt in Ecopunten per ton kalk dat uit water verwijderd is) op basis van de LCA-berekeningen is voor alle varianten weergegeven in Figuur 27. Deze grafiek maakt inzichtelijk dat geen van de varianten een negatieve milieu-impact heeft. Variant 6 heeft de grootste positieve duurzaamheidsimpact, dit is de variant waarbij entmateriaal en calciet fracties lokaal droog voor eigen gebruik worden geproduceerd. Daarna volgen Variant 0C, de referentie variant met rivierzand, en Variant 1B waarbij het entmateriaal lokaal nat wordt geproduceerd. De Variant 0C scoort goed vanwege het feit dat het entmateriaal (rivierzand) in Nederland geproduceerd wordt. De variant met de grootste schaal (Variant 12) scoort het slechtst met betrekking tot duurzaamheid. Variant 9B is een sub-variant van Variant 9, waarbij het aantal onthardingens gelijk is gesteld aan Variant 12.

De LCA score varieert tussen de - 0,05 en - 2,5 ecopunten per ton uit water verwijderde kalk. Een waarde van 1000 ecopunten representeert de milieu-impact van een West-Europees persoon per jaar. In Nederland ontstaan jaarlijks ca. 73.000 ton kalkkorrels. Onder aanname dat 10% van deze massa entmateriaal is, ontstaat jaarlijks ruim 65.000 ton kalk uit drinkwater. Wanneer de LCA score van elke variant op deze hoeveelheid kalk betrokken wordt komt de milieu impact van de varianten in absolute zin overeen met een besparing van de totale milieu-impact van 4 tot 165 mensen per jaar. Deze data zijn opgenomen in Tabel 19 als "persoon milieu-impact equivalenten". Ten opzichte van de referentiecasi met granaatzand (Variant 0A) is de verbetering door Variant 0C (referentie rivierzand), Variant 1B (lokaal nat malen) en Variant 6 (lokaal droge producten) gelijk aan de jaarlijkse milieu-impact van respectievelijk 103, 89 of 123 personen.

LCA-technisch gesproken is er weinig verschil tussen de Varianten 6, 9, 12 en 12+3, aangezien alleen sprake is van meer of minder transport van kalkkorrels en calciet-ent tussen de verschillende locaties. In Variant 12 is sprake van het meeste transport, daarom scoort deze variant het slechtst ten opzichte van vergelijkbare varianten (6 en 9). Wanneer de transport afstand tussen de verschillende locaties in Variant 9 en 12 tot nul zou naderen,

dan ontstaat daarmee Variant 6. Variant 12+3 levert een verbetering ten opzichte van Variant 12 omdat het entmateriaal op locatie wordt geproduceerd.



FIGUUR 27. SAMENVATTING LCA BEREKENINGEN (UITGEDRUKT IN ECOPUNTEN PER VERWIJDERDE TON UIT WATER VERWIJDERDE KALK)

In het algemeen kan gesteld worden dat de nauwkeurigheid van LCA verbeterd kan worden door de voorkomen emissies beter in kaart te brengen.

De LCA is uitgevoerd door verschillende processtappen te formuleren, namelijk:

1. Aanvoer van ingekocht entmateriaal (granaatzand, calciet of rivierzand);
2. Nat malen van kalkkorrels tot ent;
3. Opwerking van kalkkorrels tot droge calciet producten;
4. Transport kalkkorrels naar verwerkingslocatie (intern transport);
5. Transport calciet-ent terug;
6. Lozing afval;
7. Transport producten (kalkkorrels, calciet) t.b.v. afzet (extern transport);
8. A. Voorkomen emissies inkoop kalksteen;
9. B. Voorkomen emissies opwerking kalksteen;
10. C. Voorkomen emissies inkoop zand.

In Tabel 19 is per processtap aangegeven wat de duurzaamheidsimpact in ecopunten per ton verwijderd kalk is, alsmede wat de "persoon milieu-impact equivalent" score is.



TABEL 19. DUURZAAMHEIDSEFFECT IN ECO-PUNTEN PER PROCESSTAP EN IN "PERSOON MILIEU-IMPACT EQUIVALENTEN"

processtap	Variant →	OA granaat	OB calciet	OC rivier	1B	6	9	9B	12	12+3
1 ent aanvoer		2,68	2,6	0,907						
2 nat malen					0,811					0,811
3 opwerking kalkkorrels (drogen, malen, zeven)		2,23	8,92	2,23	7,3	22,3	22,3	22,3	22,3	18,3
4 transport kalkkorrels naar verwerkingslocatie (intern transport)							1,5	1,69	2,25	1,84
5 transport calciet-ent terug							0,136	0,153	0,205	
6 lozen afval		0,244	0,446	0,446	0,812					0,812
7 transport t.b.v. afzet producten (transport extern)		2,25	2,25	2,25	1,84	2,05	2,05	2,05	2,05	1,84
8A voorkomen emissie 'kalksteen'		-3,62	-5,79	-3,62	-4,74	-6,58	-6,58	-6,58	-6,58	-5,92
8B voorkomen emissie opwerking kalksteen		-2,23	-8,92	-2,23	-7,3	-20,3	-20,3	-20,3	-20,3	-18,3
8C voorkomen emissie 'zand'		-2,19	-0,877	-2,29	-0,718					
<b>Totaal ecopunten/ton kalk</b>		<b>-0,64</b>	<b>-1,37</b>	<b>-2,21</b>	<b>-1,99</b>	<b>-2,51</b>	<b>-0,87</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,054</b>	<b>-0,62</b>
<b>Totaal ecopunten/ton kalk ten opzichte van Variant OA</b>		<b>0</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,9</b>	<b>-0,2</b>	<b>-0,03</b>	<b>+ 0,6</b>	<b>+ 0,02</b>
<b>Totaal "persoon milieupact equivalenten"</b>		<b>42</b>	<b>90</b>	<b>145</b>	<b>131</b>	<b>165</b>	<b>57</b>	<b>44</b>	<b>4</b>	<b>41</b>
<b>Totaal "persoon milieupact equivalenten" t.o.v. Variant OA</b>		<b>0</b>	<b>48</b>	<b>103</b>	<b>89</b>	<b>123</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>- 39</b>	<b>- 1</b>

Door de impact van elke processtap per scenario afzonderlijk in kaart te brengen is inzichtelijk geworden welk processtep een (relatief) groot impact heeft. Door kalkkorrels als kalksteen af te zetten wordt er een groter positief effect op de duurzaamheidsimpact gerealiseerd dan wanneer het als zandvervanger wordt afgezet.

Wanneer de kalkkorrels opgewerkt worden middels drogen, malen en zeven, is direct zichtbaar dat dit een grote negatieve milieu-impact heeft. Voor de grootschalige varianten (Variant 6, 9 en 12) wordt deze impact niet volledig gecompenseerd door de voorkomen emissies voor de opwerking van primaire kalksteen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat meer kalkkorrels hoogwaardig opgewerkt dan afgezet worden, omdat een deel van het hoogwaardig opgewerkte calciet teruggevoerd wordt als entmateriaal. Voor de referentievarianten (OA, OB, OC) en de lokale variant met nat malen (1B) is de milieu-impact vanwege opwerking van de kalk gelijk aan de voorkomen emissie van de opwerking.

#### 4.6.1 Optimalisatie Variant 6

De opwerking tot nat entmateriaal kost minder energie dan hoogwaardige opwerking middels drogen, malen en zeven (40 kWh ten opzichte van 200 kWh). Voor Variant 6 (de best scorende variant met een droogstap) lijkt het daarom interessant alleen dat deel dat als entmateriaal benodigd is laagwaardiger (nat) op te werken, en het resterende deel tot droge producten. Deze subvariant is uitgewerkt als Variant 6B en weergegeven in Tabel 20. Er gaat relatief veel materiaal verloren bij de natte opwerking van kalkkorrels tot calcië-ent (50% rendement), dat deel wordt als afval afgevoerd. Ondanks het feit dat de afvoer als afval een kleine milieu-impact heeft, kan 10% van de totale kalkkorrel massa niet als hoogwaardig materiaal afgezet worden. Daardoor levert deze stroom geen voorkomen emissies op. Variant 6B scoort hierdoor slechter dan Variant 6.

Wanneer het verlies als gevolg van natte opwerking significant gereduceerd kan worden (stel naar nul), dan laat een aanvullende LCA zien dat het interessant is om binnen Variant 6 een aparte stroom kalkkorrels nat tot ent op te werken. Deze subvariant is als Variant 6C weergegeven in Tabel 20. De tabel laat zien dat een separate natte opwerking tot calcië-ent met een hoog rendement een significante verbetering oplevert van Variant 6 door een tweeledig effect: het energiegebruik voor opwerking wordt gereduceerd en de hoogwaardige afzet neemt toe door afname van de afvalstroom (positieve impact vanwege voorkomen emissies). Qua duurzaamheidsimpact scoort Variant 6C daarmee het best van alle varianten.

TABEL 20. LCA SUBVARIANTEN 6B EN 6C.

processtap	Variant →		
	6	6B	6C
1 ent aanvoer			
2 nat malen		0,811	0,406
3 opwerking kalkkorrels (drogen, malen, zeven)	22,3	18,3	20,3
4 transport kalkkorrels naar verwerkingslocatie (intern transport)			
5 transport calcië-ent terug			
6 lozen afval		0,812	
7 transport t.b.v. afzet producten (transport extern)	2,05	1,84	2,05
8A voorkomen emissie 'kalksteen'	-6,58	-5,92	-6,58
8B voorkomen emissie opwerking kalksteen	-20,3	-18,3	-20,3
8C voorkomen emissie 'zand'			
<b>Totaal</b>	<b>-2,51</b>	<b>-2,46</b>	<b>-4,13</b>

#### 4.6.2 Parameter sensitiviteit analyse

##### Afstand transport

In feite worden de verschillen tussen de Varianten 6, 9 en 12 voor een belangrijk deel veroorzaakt door de mate van transport van kalkkorrels en entmateriaal: Variant 12 wordt via Variant 9 "gereduceerd" tot Variant 6, wanneer alle opwerkactiviteiten op één locatie plaatsvinden en het transport van calcië daarmee voor een belangrijk deel gereduceerd wordt. De introductie van extra transport heeft een groot negatief effect op de duurzaamheid. Uit de LCA blijkt dat het transport van kalkkorrels naar een verwerkingslocatie elders een ongunstig effect heeft op de duurzaamheidsbeoordeling. Deze bevinding is gebaseerd op de jaarlijkse operationele impact. Wanneer ook de impact van de

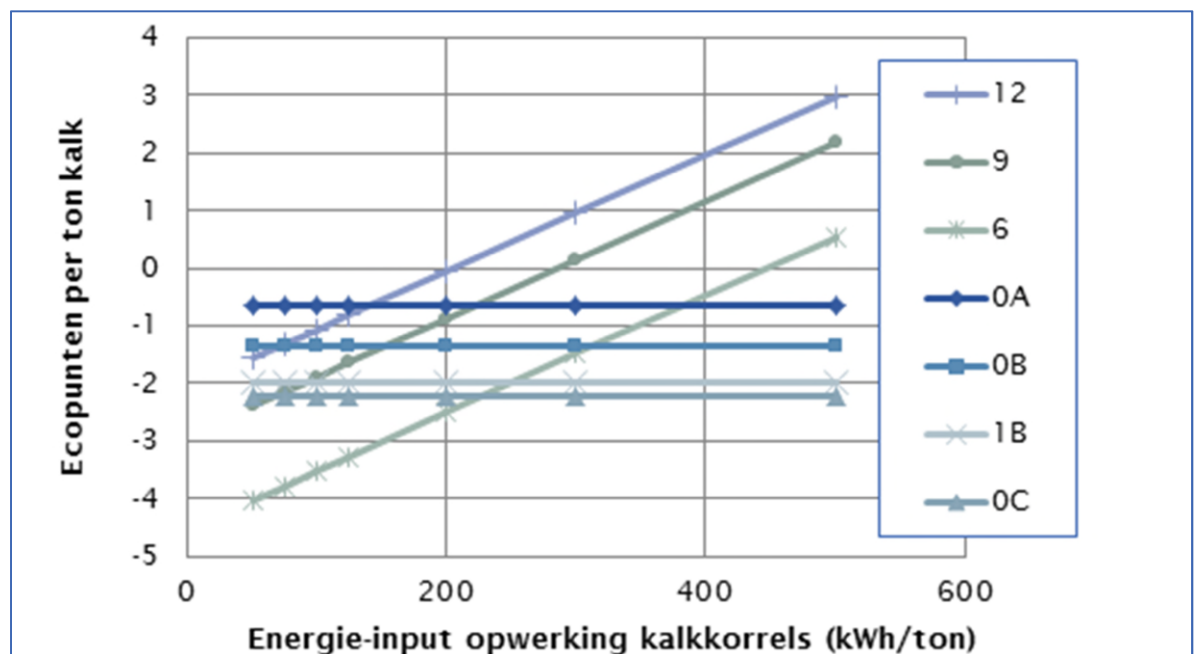
bouw (en onderhoud) van één versus meerdere installaties voor de opwerking van kalkkorrels meegenomen zouden worden kan deze vergelijking in potentie anders uitvallen.

### Energiegebruik

Het energiegebruik voor opwerking van kalkkorrels tot droge calciëetproducten is van grote invloed op de duurzaamheidsimpact van de Varianten 6, 9, en 12. Voor de varianten 0A, 0B, 0C, 1B en 12+3 is er geen verschil in de milieu-impact door het veranderen van het energiegebruik benodigd voor opwerking van kalkkorrels, omdat de impact door de benodigde energie gelijk is aan impact van de voorkomen emissie van opwerking. Voor de andere varianten resulteert een reductie van de energie-input van 200 naar 100 kWh/ton in een significante duurzaamheidswinst van circa 1 ecopunt/ton. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 21 en Figuur 28. De break-even punten zijn af te lezen uit deze figuur.

TABEL 21 . IMPACT ENERGIE-INPUT KALKKORREL OPWERKING

Variant→	0A	0B	0C	1B	6	9	9B	12	12+3
<b>Opwerking energie kalkkorrels (kWh/ton kalkkorrel)</b>									
50	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	-4,03	-2,39	-2,19	-1,57	-0,62
75	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	-3,78	-2,14	-1,94	-1,32	-0,62
100	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	-3,52	-1,89	-1,68	-1,07	-0,62
125	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	-3,27	-1,63	-1,43	-0,81	-0,62
<b>200 (basis)</b>	<b>-0,64</b>	<b>-1,37</b>	<b>-2,21</b>	<b>-1,99</b>	<b>-2,51</b>	<b>-0,87</b>	<b>-0,67</b>	<b>-0,054</b>	<b>-0,62</b>
300	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	-1,49	0,142	0,35	0,96	-0,62
500	-0,64	-1,37	-2,21	-1,99	0,53	2,17	2,37	2,99	-0,62



FIGUUR 28. IMPACT ENERGIE-INPUT KALKKORREL OPWERKING.

### Energiebron

In de LCA analyse is uitgegaan van marktenergie met hoog voltage (H). Deze energiemix is het best vergelijkbaar met de Nederlandse markt en komt overeen met de energieprijzen die bij de kostenberekening is gehanteerd. Vanwege de grote impact van het energiegebruik is gekozen om de LCA uit te voeren met verschillende energiebronnen (wind, kernenergie, de huidige mix van Nederland, en Medium voltage). Wind energie blijkt de laagste milieu-impact te geven. De impact van een overstap naar windenergie blijkt het gunstigst voor Variant 6. Ook is de impact op de andere grootschalige varianten met een relatief hoog energiegebruik (Variant 9 en 12) hoog, alsmede het effect op Variant 1B. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 22.

TABEL 22 ECO-PUNTEN PER SCENARIO MET VERSCHILLENDE ENERGIE BRONNEN.

Variant →	Ref OA	Ref OB	Ref OC	1B	6	9	9B	12	12+3
<b>energie type</b>	<b>granaat</b>	<b>calciet</b>	<b>rivier</b>						
Markt (H) (basis)	-0.64	-1.37	-2.21	-1.99	-2.51	-0.87	-0.67	-0.054	-0.62
Wind (H)	-0.64	-1.37	-2.21	-2.74	-4.38	-2.74	-2.54	-1.92	-1.37
Kern energie (H)	-0.64	-1.37	-2.21	-2.70	-4.28	-2.64	-2.44	-1.82	-1.33
Productie mix (H)	-0.64	-1.37	-2.21	-2.13	-2.86	-1.22	-1.02	-0.403	-0.76
Markt (M)	-0.64	-1.37	-2.21	-1.97	-2.45	-0.81	-0.60	0.0094	-0.59

#### 4.6.3 Vergelijk met eerdere LCA studies

Twee Waternet rapporten zijn gebruikt waarin eerder een duurzaamheidsanalyse ten behoeve van entmateriaal voor het onthardingsproces is bepaald (Borsboom 2012, Schetters 2013). In beide rapporten is gefocust op varianten die in deze studie overeenkomen met de referentie varianten OA, OB en OC en laten vergelijkbare LCA analyse resultaten zien. Beide studies gaan uit van vergelijkbare orde grootte voor transport afstand en massa's. Deze studies laten zien dat in alle varianten het transport de grootste duurzaamheidsimpact kent. In deze studie is ook het hergebruik van kalkkorrels beschouwd, en in de meeste toepassingen (hergebruik kalkkorrels met granaatzand kern of calciet pellets van hoge zuiverheid) resulteert het hergebruik in een positieve duurzaamheidsimpact. Echter, in de betreffende studies is geen rekening gehouden met de benodigde opwerking van kalkkorrels om deze hoogwaardig af te kunnen zetten. In dat opzicht geeft voorliggende duurzaamheidsbeoordeling een gedetailleerder en realistischer beeld.

#### 4.6.4 LCA-score versus andere indicatoren

In het voorliggend project is de duurzaamheid middels LCA bepaald. Middels die methodiek is het mogelijk om de duurzaamheidsimpact te kwantificeren. Andere duurzaamheidsindicatoren zijn de mate van hergebruik of resource efficiency en bijdragen aan de circulaire economie. De laatst genoemde indicatoren zijn niet gekwantificeerd, echter het is evident dat de betreffende concepten waarbij kalkkorrels worden opgewekt tot entmateriaal voor hergebruik in de ontharding goede toonbeelden zijn van resource recovery en passen bij de gedachte van de circulaire economie. Daarnaast heeft een dergelijk hergebruik concept een positief effect op het imago van de watersector.

#### 4.7 ATA-certificatie

ATA-certificatie is het enige gangbare voorbeeld van een 'erkende kwaliteitsverklaring' volgens de Regeling Materialen en Chemicaliën.

Technisch gezien is het noodzakelijk om voor alle materialen en chemicaliën die in aanraking komen met drinkwater een ATA-certificaat aan te vragen. In deze paragraaf wordt

geadviseerd om voor bepaalde varianten (zoals gedefinieerd voor de kosten-baten analyse en LCA, zie paragraaf 2.3) op basis van aangereikte argumentatie geen ATA-certificaat aan te vragen maar in plaats daarvan aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Inspectie Leefomgeving en Transport) en de Commissie van Deskundigen Materialen en Chemicaliën te laten weten waarom hier gemotiveerd van wordt afgeweken.

---

*De volgende beschrijving van de overdracht tussen water en vaste materialen in een onthardingsreactor is van belang bij de verdere advisering t.a.v. het al dan niet noodzakelijk zijn van een ATA-certificaat:*

*Door de eigenschappen van het te behandelen water in combinatie met de toevoeging van basische chemicaliën heerst in fluïde bed onthardingsreactoren een kalkafzettend milieu (hoge pH waarden, hoge oververzadiging van calciumcarbonaat, hoog calciumcarbonaat afzettingspotentieel). Naast afzetting van calcium uit water zullen ook bepaalde andere kationen die in water aanwezig zijn in meer of mindere mate afgezet worden in de kalkkorrels; dit blijkt ook in de praktijk. In deze situatie is sprake van massatransport vanuit de waterfase richting de vaste fase (kalkkorrels). Stofoverdracht van de waterfase naar de vaste fase is het principe achter deze onthardingstechniek en wordt aangetoond door de vorming van kalkkorrels. Er treedt bij de heersende omstandigheden geen omgekeerd massatransport (uitloging) plaats van de vaste fase (kalkkorrels) naar de waterfase. Dat is anders bij de onthardingschemicaliën die aan water worden toegevoegd. Deze chemicaliën worden als vloeibare stroom, zijnde een oplossing of een suspensie, gemengd met water, waarbij de componenten die in de vloeibare stroom aanwezig zijn (nagenoeg <sup>7</sup>) volledig oplossen in de waterfase (volledige massa overdracht van chemicaliënstroom naar waterfase). Eventuele verontreinigingen aanwezig in de onthardingschemicaliën zullen oplossen in de waterfase en deels opgenomen worden in de vaste fase.*

---

#### **4.7.1 Varianten 0A, 0B, 0C**

De drinkwatersector koopt het materiaal in bij een externe partij die het materiaal niet *dedicated* voor de drinkwatersector bereidt en verwerkt. Het materiaal is afkomstig uit groeven of rivieren en wordt na verwerking door de leverancier bij toepassing in contact gebracht met drinkwater. Deze entmaterialen dienen een ATA-productcertificaat te bezitten.

#### **4.7.2 Varianten 1B en 3**

Het entmateriaal wordt in-line uit eigen kalkkorrels geproduceerd. De kalkkorrels worden na verwerking (malen en wassen) terug gebracht in de onthardingsreactoren. De chemische samenstelling verandert daar niet bij. De kalkkorrels worden in-line vermalen en gesorteerd, en de deeltjes die terug worden gebracht hebben een kleinere deeltjesgrootte. Deze fysische verandering heeft geen effect op de waterkwaliteit anders dan bedoeld, namelijk stimulering en facilitering van het afzetten van kalk. In deze situatie is certificatie van het entmateriaal niet noodzakelijk vanwege de volgende argumenten:

---

<sup>7</sup> In geval van natronloog is de overdracht volledig. In geval van kalkmelk, dat een suspensie is van calciumhydroxide, zal het grootste deel van de werkzame component oplossen in water. Echter, een ongewenst effect dat kan optreden is het inkapselen van calciumhydroxide door vorming van een calciumcarbonaatlaagje, waardoor het ingekapselde deel van de calciumhydroxide niet zal oplossen in de waterfase.

- Het entmateriaal ontstaat tijdens het gesloten zuiveringsproces uit reactoreigen materiaal, het materiaal dat in de reactoren aanwezig is. Daarmee verandert de chemische samenstelling van het vaste materiaal in de reactoren niet. Bovendien vindt bij de heersende omstandigheden geen uitloging van het vaste materiaal plaats, ook niet nadat de deeltjesgrootte van het reactoreigen materiaal is aangepast.
- Het materiaal wordt quasi in-situ geproduceerd, er is geen contact tussen het entmateriaal en de buitenwereld. Tijdens het malen en wassen worden geen chemicaliën (bijvoorbeeld 'maalhulpmiddelen') toegevoegd.

Advies m.b.t. aanpak proces wetgeving: Partij die deze toepassing inzet stelt een brief op aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Inspectie Leefomgeving en Transport) en een afschrift aan de Commissie van Deskundigen Materialen en Chemicaliën waarin de partij de stelling inneemt dat op basis van genoemde argumenten certificatie niet noodzakelijk is. Aanbevolen wordt om eenmalig aan te tonen dat risico's m.b.t. uitloging niet bestaan, aan de hand van:

- De resultaten van de modellering die in het kader van TKI Calcië project is uitgevoerd;
- Praktijkdata waterkwaliteit ontharding (influent en effluent), kwaliteit chemicaliën en kalkkorrels;
- Uitloogtest volgens NEN-EN 12902:2004 (Materialen voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie - Anorganische filterhulp- en filtermaterialen - Beproevingmethoden).

#### 4.7.3 Variant 6

Het entmateriaal wordt in eigen beheer on-site uit eigen kalkkorrels geproduceerd door het materiaal te behandelen in een droog-, maal- en zeef stap. Een deel van de verwerkte kalk wordt na verwerking als entmateriaal terug gebracht in de onthardingsreactoren. De chemische samenstelling verandert niet tijdens de verwerking van kalkkorrel tot entmateriaal en andere calciëfracties. In de verwerking worden geen additieven zoals maalhulpstoffen toegepast. Wanneer sprake is van een droger met direct contact tussen vlam en de kalk dient aangetoond te worden dat dit contact de kalkkwaliteit niet negatief beïnvloedt<sup>8</sup>. De kalk die als entmateriaal wordt terug gebracht heeft een kleinere deeltjesgrootte. Deze fysische verandering heeft geen effect op de waterkwaliteit anders dan bedoeld, namelijk stimulering en facilitering van het afzetten van kalk.

In deze situatie is certificatie van het entmateriaal niet noodzakelijk vanwege de volgende argumenten:

- Het entmateriaal wordt geproduceerd uit reactoreigen materiaal, het materiaal dat in de reactoren aanwezig is. Daarmee verandert de chemische samenstelling van het vaste materiaal in de reactoren niet. Bovendien vindt bij de heersende omstandigheden geen uitloging van het vaste materiaal plaats, ook niet nadat de deeltjesgrootte van het reactoreigen materiaal is aangepast.
- Het materiaal wordt in eigen beheer on-site geproduceerd. Er is nagenoeg geen contact tussen het entmateriaal en de buitenwereld.
- Bij de bewerking worden geen additieven, zoals maalhulpstoffen, toegepast, noch vindt er contaminatie van de kalk plaats in de droogstap omdat er geen sprake is van direct vlam-kalk contact of omdat aangetoond kan worden dat contaminatie niet optreedt in geval van direct vlam-kalk contact.

<sup>8</sup> Bij Verwerkende partij I was sprake van direct contact tussen een vlam die ontstond door verbranding van diesel en de kalkkorrels. Deze partij kalk is geanalyseerd op de aanwezigheid van PAK's. Uit deze bepaling bleek dat geen PAK's zijn aangetroffen.

Advies m.b.t. aanpak proces wetgeving: Partij die deze toepassing inzet stelt een brief op aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Inspectie Leefomgeving en Transport) en een afschrift aan de Commissie van Deskundigen Materialen en Chemicaliën waarin de partij de stelling inneemt dat op basis van genoemde argumenten certificatie niet noodzakelijk is. Aanbevolen wordt om eenmalig aan te tonen dat risico's m.b.t. uitloging niet bestaan, aan de hand van:

- De resultaten van de modellering die in het kader van TKI Calciet project is uitgevoerd;
- Praktijkdata waterkwaliteit ontharding (influent en effluent), kwaliteit chemicaliën en kalkkorrels;
- Uitloogtest volgens NEN-EN 12902:2004 (Materialen voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie - Anorganische filterhulp- en filtermaterialen - Beproevingmethoden)

Aanbevolen wordt om aan te tonen dat risico's m.b.t. contaminatie door contact met de vlam (als dat het geval is) beheerst worden.

#### 4.7.4 Variant 9

Het entmateriaal wordt in beheer van een waterbedrijf uitgevoerd op de site van het betreffende waterbedrijf. Het entmateriaal wordt geproduceerd door het materiaal te behandelen in een droog-, maal- en zeef stap. Een deel van de verwerkte kalk wordt na verwerking als entmateriaal terug gebracht in de onthardingsreactoren van het verwerkende bedrijf, een deel van verwerkte kalk wordt als entmateriaal door collega drinkwaterbedrijven in de regio toegepast. De chemische samenstelling van de kalk verandert niet tijdens verwerking van kalkkorrel tot entmateriaal en andere calciet fracties. In de verwerking worden geen additieven zoals maal hulpstoffen toegepast. Wanneer sprake is van een droger met direct contact tussen vlam en de kalk dient aangetoond te worden dat dit contact de kalk kwaliteit niet negatief beïnvloedt (zie vorige voetnoot). De kalk die als entmateriaal terug wordt gebracht heeft een kleinere deeltjesgrootte. Deze fysische verandering heeft geen effect op de waterkwaliteit anders dan bedoeld, namelijk stimulering en facilitering van het afzetten van kalk.

In deze situatie is een ATA-productcertificaat van het entmateriaal de beste oplossing om de kwaliteit van het entmateriaal te garanderen vanwege het volgende argument:

Er vindt menging van kalkkorrels plaats, de verwerking is weliswaar *dedicated* voor kalkkorrels, maar bedrijven krijgen niet per definitie hun eigen kalk terug. In het geval dat bedrijven gegarandeerd hun eigen kalk terug krijgen zou ATA-certificatie niet noodzakelijk zijn (zie argumentatie Variant 6). Ingeschat wordt dat het passender en gemakkelijker is om een ATA-certificaat te verkrijgen dan om het logistiek zodanig te regelen dat ieder bedrijf gegarandeerd de eigen kalk terug krijgt ('ATA-procescertificaat'). De collega waterbedrijven die het entmateriaal afnemen van het producerende waterbedrijf bepalen aan welke specificaties het entmateriaal dient te voldoen. Deze worden in een privaatrechtelijke overeenkomst vastgelegd.

Er lijken geen belemmeringen te zijn voor verkrijging een ATA-certificaat.

In deze situatie wordt tevens aanbevolen om een ATD-certificaat te verkrijgen (Attest Transport Drinkwaterchemicaliën) volgens de BRL K 15001. Daarmee wordt de kwaliteit van het entmateriaal van producent tot aan de gebruiker gewaarborgd.

Advies m.b.t. aanpak proces wetgeving: Partij die deze toepassing inzet zet in overleg met de kalkkorrels verwerkende partij het certificatie traject in gang.

#### 4.7.5 Variant 12

Het entmateriaal wordt in beheer van een derde partij uitgevoerd op een aparte site. Het entmateriaal wordt geproduceerd door het materiaal te behandelen in een droog-, maal- en zeefstap. Een deel van de verwerkte kalk wordt na verwerking als entmateriaal gedistribueerd naar de waterbedrijven en toegepast als entmateriaal. De chemische samenstelling van de kalk is afhankelijk van de mix kalkkorrels die behandeld wordt (samenstelling kalkkorrels per bedrijf en de verhouding tussen volumes kalkkorrels per bedrijf) en verandert verder niet tijdens verwerking van de korrels. In de verwerking worden geen additieven zoals maalhelpstoffen toegepast. Wanneer sprake is van een droger met direct contact tussen vlam en de kalk dient aangetoond te worden dat dit contact de kalk kwaliteit niet negatief beïnvloedt (zie vorige voetnoot). De kalk die als entmateriaal terug wordt gebracht heeft een kleinere deeltjesgrootte. Deze fysische verandering heeft geen effect op de waterkwaliteit anders dan bedoeld, namelijk stimulering en facilitering van het afzetten van kalk.

In deze situatie is een ATA-productcertificaat van het entmateriaal de beste oplossing om de kwaliteit van het entmateriaal te garanderen vanwege het volgende argument:

Er vindt menging van kalkkorrels plaats, de verwerking is weliswaar *dedicated* voor kalkkorrels, maar bedrijven krijgen niet per definitie hun eigen kalk terug. In het geval dat bedrijven gegarandeerd hun eigen kalk terug krijgen zou ATA-certificatie niet noodzakelijk zijn (zie argumentatie Variant 6). Ingeschat wordt dat het passender en gemakkelijker is om een ATA-certificaat te verkrijgen dan om het logistiek zodanig te regelen dat ieder bedrijf gegarandeerd de eigen kalk terug krijgt ('ATA-procescertificaat').

Er lijken geen belemmeringen te zijn voor verkrijging een ATA-certificaat.

In deze situatie wordt tevens aanbevolen om een ATD-certificaat te verkrijgen (Attest Transport Drinkwaterchemicaliën) volgens de BRL K 15001. Daarmee wordt de kwaliteit van het entmateriaal van producent tot aan de gebruiker gewaarborgd.

Advies m.b.t. aanpak proces wetgeving: Partij die deze toepassing inzet zet in overleg met de kalkkorrels verwerkende partij het certificatie traject in gang.

#### 4.7.6 Variant 12+3

Deze variant is voor wat betreft de productie van entmateriaal hetzelfde als Variant 3, daarom is ook bij deze variant geen ATA-certificaat noodzakelijk.

### 4.8 Overall synthese

In Tabel 23 wordt een overall beeld gecreëerd naar aanleiding van alle resultaten voor alle beoordelingscriteria, voor elke variant.



TABEL 23. OVERALL BEELD RESULTAAT PER BEOORDELINGSCRITERIUM EN PER VARIANT.

Variant → [Referentie Nummer] + Naam	[ 0A ] Granaat zand	[ 0B ] Calciet	[ 0C ] Rivier zand	[ 1B ] 1 maler per reactor	[ 3 ] Centraal malen fabriek	[ 6 ] Lokaal	[ 9 ] Centraal. Bij 1 waterbedrijf	[ 12 ] Centraal. Separate plant	[ 12 + 3 ] Combi
	Referentie varianten. Inkoop entmateriaal. Natte kalkkorrels voor markt.			Lokaal, in-situ malen voor productie eigen entmateriaal. Natte kalkkorrels voor markt.		Droge productie eigen entmateriaal. Droge calciet fracties voor markt.			Combi Lokaal + Centraal
criterium									
Netto opbrengst (indicatie €/ton verkocht eindproduct: -, 0 of +)	0	0	0*	-	0	+	+	+	0
Duurzaamheid (LCA, ecopunten)	-0,6	-1,4	-2,2	-2,0	-2,0**	-2,5	-0,9	-0,05	-0,6
Besmettingsrisico microbiologie ("som" herkomst en verwerking)	0	0	0	+	+	0	0	0	+
Contaminatie chemisch, door verwerking	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Contaminatie chemisch, door accumulatie	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Advies t.a.v. Certificatie	ATA	ATA	ATA	geen ATA	geen ATA	geen ATA	ATA	ATA	geen ATA
Technische haalbaarheid	+	+	+	? pilot	? pilot	+	+	+	? pilot
Praktijkervaring Waternet (handling, vervuiling)	+	0	?	?	?	+	+	+	?

- \* Aanname: rivierzand gelijk als granaatzand.
- \*\* Aanname: Variant 3 gelijk als Variant 1B.

Een plot van de duurzaamheidsimpact versus de netto opbrengsten laat duidelijk zien hoe de opbrengsten en duurzaamheidsimpact zich verhouden voor varianten die sterk op elkaar lijken:

- Variant 0A, 0B en 0C; De netto opbrengsten van de referentievarianten zijn marginaal, bij calcië is er sprake van een kleine positieve netto opbrengst. De goede duurzaamheidsscore van de referentievariant met rivierzand ten opzichte van de referentievariant met calcië wordt veroorzaakt door het feit dat de relatief lokale productie van dit entmateriaal sterker weegt dan de voorkomen emissie die bewerkstelligt wordt door de inzet van kalkkorrels met calciëtkern.
- Variant 1B en 3; De duurzaamheidsscore van deze varianten is gelijk, maar door de efficiëntere investering bij Variant 3 scoort deze beter wat betreft netto opbrengsten.
- Variant 6, 9 en 12; De duurzaamheidsscore neemt af en de opbrengsten nemen toe naarmate het concept grootschaliger wordt opgezet vanwege de introductie van extra transport enerzijds en economische schaalvoordelen anderzijds.
- Variant 3, 12 en 12+3; Door het combineren van Variant 3 en Variant 12 tot Variant 12+3 wordt het duurzaamheidsvoordeel van Variant 3 teniet gedaan door de negatieve score van Variant 12, en vice versa wat betreft de opbrengsten, zodat de Variant 12+3 nagenoeg gelijk scoort als de referentievariant met granaatzand (0A).

De gegevens over kosten en duurzaamheid zijn uit de betreffende paragrafen overgenomen. De chemische kwaliteit is niet onderscheidend. Met betrekking tot de praktijkervaringen met handling geeft Waternet de voorkeur aan gemalen kalkkorrels of granaatzand ten opzichte van calcië uit een betreffende mijn. WML ondervindt geen noemenswaardige problemen met het ingekocht calcië. Brabant Water ondervindt vergelijkbare ervaringen als Waternet met een toename van troebeling door ingekocht calcië. Met betrekking tot ATA-certificatie zijn alle varianten gelijk gescoord, ofwel omdat een ATA-certificaat niet noodzakelijk wordt geacht, ofwel omdat een ATA-certificaat noodzakelijk is maar geen belemmeringen worden gezien om het certificaat te verkrijgen. Er is vertrouwen dat het natte maalconcept van de Varianten 1B en 3 zal slagen al wordt aanbevolen de techniek eerst op pilot schaal te testen; de technische haalbaarheid van de andere concepten is aangetoond in dit project.

Met betrekking tot het besmettingsrisico is de huidige situatie is als neutraal (0) beoordeeld (sprake van een beheersbaar risico). De varianten met in-line productie van eigen ent middels nat malen hebben naar verwachting een lager risico op besmetting (score +). Het risico op microbiologische besmetting van de overige varianten met aanvullende verwerking (drogen, malen, zeven), eventueel op andere locatie, zijn neutraal gescoord (0, zijnde een beheersbaar risico) op basis van de ervaringen in dit project. Uitgesplitst naar het risico met betrekking tot de herkomst (externe bron of eigen kalkkorrels) en de bewerking, leidend tot de overall score:

- Referentievarianten: herkomst 0, bewerking 0, overall score 0;
- Nat malen (1B, 3): herkomst +, bewerking +, overall score +;
- Droog malen (6, 9, 12): herkomst +, bewerking 0, overall score 0.

Uit de overall synthese komt naar voren dat Variant 6 op alle aspecten goed scoort. Ten opzichte van deze variant:

- scoort Variant 3 ook goed, deze kent een beperkter microbiologisch risico, maar heeft een marginale netto opbrengst.
- scoort Variant 9 ook goed, deze heeft een hogere opbrengst maar een lagere duurzaamheidsscore.

- scoren de referentievarianten met calciëet of rivierzand ook goed, al hebben deze varianten een minder gunstige duurzaamheidsimpact en zijn de netto opbrengsten marginaal.

Variant 1B scoort op alle aspecten goed met uitzondering van de opbrengsten, deze zijn negatief. De grootschalige Varianten 9 en 12 scoren het best met betrekking tot netto opbrengsten, en scoren gemiddeld tot slecht met betrekking tot duurzaamheid. Het combineren van Variant 12 met Variant 3 komt ten opzichte van Variant 12 ten goede aan de duurzaamheidsimpact, maar dat gaat ten koste van de opbrengsten.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

De testen met grootschalige verwerking van kalkkorrels tot calcië als entmateriaal en de toepassing van dat entmateriaal zijn succesvol verlopen. Zowel bij hoge als bij lage watertemperatuur functioneert de ontharding met de hergebruikte kalkkorrels als entmateriaal volgens wens. Tijdens alle testen is aan de drinkwaterkwaliteit eisen voldaan, waaronder de microbiologische eisen en de totale hardheids. Toepassing van gemalen en gezeefde kalkkorrels in de praktijk is beheersbaar.

Ten aanzien van de **microbiologische kwaliteit** van calcië en drinkwater gelden de volgende conclusies:

- Op basis van een groot aantal microbiologische bepalingen blijkt dat het risico op fecale besmetting van calcië tijdens verwerking tot entmateriaal beheersbaar is.
- Het calcië dat in dit project geproduceerd is en als entmateriaal is toegepast, voldoet aan de relevante normen voor toepassing van filtermedia en entmaterialen (BRL K240). Met de hittebehandeling tijdens de productie wordt voldoende afdoding tijdens het verwerkingsproces bereikt zodat toepassing van calcië-ent niet leidt tot overschrijding van het wettelijk vastgestelde infectierisico.
- De afsterving van de indicator voor fecale besmetting *E. coli* op calcië gaat sneller dan op zand. Wanneer het calcië 5 tot 20 dagen bij respectievelijk hoge en lage temperatuur in opslag blijft, vindt een 3 log reductie van *E. coli* plaats. Dit is een duur die in de praktijk goed haalbaar en realistisch is.
- Op basis van de herkomst van de bron voor het entmateriaal en het verwerkingsproces wordt ingeschat dat de varianten met nat in-situ malen het best scoren wat betreft het risico op microbiologische besmetting. Bij de overige varianten is het risico op besmetting bij een adequate verwerking van kalkkorrels tot calcië – dat wil zeggen waarbij voldaan wordt aan de eisen uit de BRL K240 en waarbij met voldoende aandacht voor hygiëne gewerkt wordt – dusdanig laag dat voldaan kan worden aan de microbiologie gerelateerde wettelijke eisen voor drinkwater.

Ten aanzien van de **chemische kwaliteit** van calcië gelden de volgende conclusies:

- Omdat normen voor (teruggewonnen) calcië als entmateriaal ontbreken in de Regeling Materialen en Chemicaliën Drinkwater- en warmtapwatervoorzieningen zijn deze ten behoeve van dit project gelijk gesteld aan de normen voor calcië als conditioneringsmiddel. In die toepassing lost calcië op in water, terwijl in de ontharding sprake is van afzetting van calcië. Het toepassen van deze normen is daarmee een *worst case* benadering. Het entmateriaal dat uit kalkkorrels door de minerale grondstoffen leveranciers geproduceerd is, voldoet aan alle chemische normen.
- Er is geen materiaal vrij gekomen uit de installaties die gebruikt zijn door de verwerkende partijen om de kalkkorrels op te werken tot calcië entmateriaal.
- Op basis van modelberekeningen blijkt dat er een stabiele situatie optreedt waarbij de concentratie van zware metalen in de kalkkorrel en het entmateriaal gelijk worden. Met andere woorden, er treedt geen accumulatie op van verontreinigingen in de kalkkorrel. Uit modelberekeningen blijkt voorts dat de *waarde* van de concentratie zware metalen in de kalkkorrels de eerdergenoemde normwaarden in principe kunnen overschrijden. Echter, op basis van algemene kennis over praktijkinstellingen van een onthardingsreactor en de metingen die verricht zijn in dit project, is overschrijding zeer onwaarschijnlijk.

Ten aanzien van de fysische kwaliteit van calciet (deeltjesgrootte verdeling) gelden de volgende conclusies:

- Op basis van ervaringen met drie verwerkende partijen is aangetoond dat het met voldoende aandacht voor de bedrijfsvoering en optimalisatie van het verwerkingsproces mogelijk is om aan de gewenste deeltjesgrootteverdeling specificaties te voldoen.

Ten aanzien van de **kosten en opbrengsten** van de verschillende varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet geldt de volgende conclusie:

- De kleinschalige varianten, waarbij het eigen entmateriaal lokaal middels nat malen geproduceerd wordt zijn qua kosten voordeliger dan de grootschalige varianten met droge opwerking tot verschillende calciet producten. Echter, de grootschalige varianten scoren beter ten aanzien van de opbrengsten van het surplus calciet, hetgeen deze varianten overall aantrekkelijker maakt dan de kleinschalige varianten. De referentievariant met ingekocht calciet als entmateriaal heeft ook positieve overall opbrengsten. Hierbij dient het voorbehoud gemaakt te worden dat de methodieken voor kostenraming van de kleinschalige en grootschalige varianten verschillend is.

Ten aanzien van de **bedrijfsvoering** van de kalkkorrel verwerkende partijen en de technische haalbaarheid gelden de volgende conclusies:

- De zomerproef met Verwerkende partij I heeft door een lage throughput een hoog rendement opgeleverd. De lage throughput werd veroorzaakt door een semi-continue bedrijfsvoering en de noodzaak om het calciet twee maal te verhitten.
- De winterproef met Verwerkende partij II werd gekenmerkt door een hoge throughput en een relatief laag rendement. Het rendement is niet geoptimaliseerd.
- De winterproef met Verwerkende partij III met kalkkorrels van WML werd gekenmerkt door een redelijke throughput en een relatief laag rendement. De throughput en het rendement zijn niet geoptimaliseerd.
- Aangetoond is dat het droge proces om kalkkorrels op te werken tot calciet met de gewenste specificaties effectief is. Aanbevolen wordt om het nat malen op pilot schaal te testen alvorens dit principe in de praktijk toe te passen.

Ten aanzien van de **duurzaamheid** van de verschillende varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet gelden de volgende conclusies:

- De variant met de lokale, droge productie van eigen entmateriaal, de referentievariant met inkoop van rivierzand, en de variant met in-situ natte productie van eigen entmateriaal zijn het meest duurzaam.
- Het opwerken van kalkkorrels op locatie is duurzamer dan transport naar een centrale opwerkingslocatie en verwerking aldaar. Dit wordt veroorzaakt door de negatieve impact van extra transport van kalkkorrels.
- Opwerking van kalkkorrels tot droge, hoogwaardige calciet is gunstiger wanneer dit op locatie gebeurt, maar vooral wanneer de kalkkorrels benodigd voor het entmateriaal apart middels nat malen verwerkt worden (lager energiegebruik) mits het rendement van de natte verwerking hoog is. Daardoor blijft een grotere calciet stroom over voor hoogwaardige afzet en komt deze in aanmerking als voorkomen emissie in plaats van afval.
- De energie die benodigd is om kalkkorrels op te werken tot droge, hoogwaardige producten wordt voor een belangrijk deel gecompenseerd door een vergelijkbare vermeden energie-input die nodig zou zijn om primaire kalk op te werken.
- In dit project is de duurzaamheid middels LCA bepaald. Middels die methodiek is het mogelijk om de duurzaamheidsimpact te kwantificeren. Andere duurzaamheidsindicatoren zijn de mate van hergebruik of resource efficiency, en

bijdragen aan de circulaire economie. De laatst genoemde indicatoren zijn niet gekwantificeerd, echter het is evident dat de betreffende concepten waarbij kalkkorrels worden opgewerkt tot entmateriaal voor hergebruik in de ontharding goede toonbeelden zijn van resource recovery en passen bij de gedachte van de circulaire economie. Daarnaast heeft een dergelijk hergebruik concept een positief effect op het imago van de watersector.

Ten aanzien van de **ATA-certificatie** bij de verschillende varianten voor verwerking van kalkkorrels en vermarkting van calciet gelden de volgende conclusies:

- ATA-certificatie van (hergebruikt) entmateriaal is noodzakelijk in geval van inkoop bij marktpartijen (de referentievarianten), en voor de grootschalige varianten met centrale verwerking, waarbij kalkkorrels van verschillende bedrijven centraal verwerkt worden tot entmateriaal en andere calcietproducten. Bepaalde op de markt verkrijgbare entmaterialen (referentievariant) hebben reeds een ATA-certificaat. Bij de grootschalige, centrale varianten wordt geen belemmering verwacht voor verkrijgen van een ATA-certificaat
- Bij de overige varianten wordt aanbevolen om niet in te zetten op certificatie en om bij de betrokken instanties gemotiveerd aan te geven dat certificatie niet noodzakelijk geacht wordt. Samengevat is de afwezigheid van de noodzaak gebaseerd op het feit dat de kalkkorrel na beperkte bewerking op dezelfde plek wordt teruggebracht, in een kalkafzettend milieu, terwijl is aangetoond dat accumulatie van zware metalen niet zal optreden.

Ten aanzien van de **bedrijfsvoering** van het waterbedrijf gelden de volgende conclusies:

- Met betrekking tot handling en vervuiling geeft Waternet de voorkeur aan entmateriaal van gebroken kalkkorrels of granaatzand ten opzichte van ingekochte Italiaanse calciet.
- WML ondervindt geen noemenswaardige problemen met het ingekocht calciet. Brabant Water heeft vergelijkbare ervaringen als Waternet met een toename van troebeling door ingekocht calciet.

Een **overall conclusie** zal per bedrijf afhangen van de heersende prioriteiten ten aanzien van de verschillende afwegingscriteria en de daarmee samenhangende weegfactoren. Wanneer geen gewicht wordt toegekend aan de verschillende criteria lijkt Variant 6 (lokale, droge productie van eigen entmateriaal en andere calciet fracties) het best te scoren. Variant 3 (lokaal, in-situ productie van eigen entmateriaal, natte kalkkorrels voor de markt) heeft een marginale opbrengst, echter een beperkter microbiologisch risico. De referentievarianten met calciet en rivierzand scoren vergelijkbaar met Variant 6, echter de opbrengsten zijn marginaal. De grootschalige varianten met centrale, droge opwerking van eigen entmateriaal en droge calciet fracties voor de markt (Varianten 9 en 12) scoren goed met betrekking tot kosten en scoren gemiddeld tot slecht met betrekking tot duurzaamheid.

## 5.2 Aanbevelingen

- Uit dit onderzoek is gebleken dat eigen calciet dienst kan doen als entmateriaal. Voor een definitieve toepassing wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar de wijze waarop de bewerking van de eigen kalkkorrels het best kan worden georganiseerd.
- In deze studie is gebleken dat het onder bepaalde omstandigheden voor *E. Coli* mogelijk is om zich te vermeerderen op zand. Het wordt aanbevolen om de consequenties van deze bevinding voor de reguliere kwaliteitsbewaking bij de drinkwaterbereiding en voor het in de BRL K240 voorgestelde criterium voor *E. Coli* in de ruwe grondstof nader te onderzoeken.
- In deze studie is alleen de operationele duurzaamheidsimpact beschouwd, de bouw van een opwerkingsinstallatie is hierin niet meegenomen. Om de nauwkeurigheid van de

- duurzaamheidsanalyse te vergoten dient een situatie onderzocht te worden over een periode van meerdere jaren waarin de effecten van de bouw verdisconteerd worden. Met betrekking tot vergelijking van de varianten waarbij sprake is van één centrale hoogwaardige verwerking van kalkkorrels (met transport als gevolg) ten opzichte van de variant met een lokale hoogwaardige opwerking zou het oordeel kunnen veranderen doordat de bouw van meerdere locaties ongunstiger is dan de bouw van één locatie.
- Het wordt aanbevolen om te onderzoeken of het noodzakelijk is om de Regeling Materialen en Chemicaliën aan te vullen met kwaliteitsnormen voor calcië voor toepassing als entmateriaal.

## 6 Referenties

Hofman, J., Kramer, O.J.I., van der Hoek, J.P., Nederlof, M. and Groenendijk, M., (2007), Twenty years of experience with central softening in The Netherlands: Water quality - Environmental benefits - Costs. *Water21*, (July), 21-24.

Palmen, L., W. Oorhuizen, H. Koppers and Hofs, B., (2012), Calciët als alternatief entmateriaal bij ontharding produceert hoogwaardige kalkkorrel. *H2O magazine*, 45(10), 35-37.

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Ladder\\_van\\_Lansink](http://nl.wikipedia.org/wiki/Ladder_van_Lansink)

Schettters, M. J. A., van der Hoek, J. P., Kramer, O. J. I., Kors, L. J., Palmén, L. J., Hofs, B., Koppers, H., (2015), Circular economy in drinking water treatment: reuse of ground pellets as seeding material in the pellet softening process. *Water Science & Technology*, 71.4, 479 - 486.

Schettters, M.J.A., van der Hoek, J. P., Baars, E., Hofs, B., Koppers, H., (2015), Ontharding duurzamer en goedkoper met pure kalkkorrels. *H2O magazine*, 48(3), 30-33.

BRL K240 (2014). Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Zand en grind voor de drinkwaterproductie. Kiwa Rijswijk.

Borsboom, M.P.M., Transitie granaat naar gebroken pellets (calciët) als entmateriaal - Evaluatie winterproef Ontharding ... Calciët, *Waternet rapport*, 2015.

Borsboom, M.P.M., Transitie granaat naar gebroken pellets (calciët) als entmateriaal - Evaluatie zomerproef Ontharding ... Calciët, *Waternet rapport*, 2015.

### Referenties LCA:

Barrios, R. B., M. A. Siebel & A. van der Helm (2004) Environmental and financial impact assessment of two plants of Amsterdam water supply. Thesis, UNESCO-IHE.

Borsboom, M. (2012) LCA calciët en granaatgebruik; duurzaamheidsonderzoek van entmateriaal dat wordt gebruikt bij het onthardingsproces van drinkwater in Leiduin. *Waternet rapport*.

Schettters, M. J. A. (2013) Grinded Dutch calcite as seeding material in the pellet softening process. Master thesis, Tu Delft.

BRL K240 (2014). Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Zand en grind voor de drinkwaterproductie. Kiwa Rijswijk.

### Referenties microbiologische bepalingen en resultaten:

Gerba, C.P. and J.S. McLeod, 1976. Effects of sediments on the survival of *Escherichia coli* in marine environments. *Appl. Environ. Microbiol.* 32:114-120.



- Hijnen, W.A.M., A.T. Lugtenberg, H. Ruiters, R.R.J. Vink and G.J. Medema 2007. Decay rate index of *E. coli* and enterococci in fresh and salt bathing waters. AWWA Water Quality Technology Conference, Charlotte, US.
- Hijnen, W.A.M. 2008. Herziene notitie entzand. PBC MB 08-41, Programma Begeleidings commissie Microbiologie.
- Hijnen, W.A.M. en T. de Goeij, 2013a. Microbiologische veiligheid van drie zandproductielocaties van de firma Filcom. KWR 2013.004, Nieuwegein, NL.
- Hijnen, W.A.M. 2013b. Microbiologische veiligheid van de zandproductie te Nieuwe Pekela van zandzuigbedrijf het Noorden. KWR 2013.104.
- Korhonen, L.K. and P.J. Martikainen, 1991. Survival of *Escherichia coli* and *Campylobacter jejuni* in untreated and filtered lake water. J. Appl. Bacteriol. 71:379-382.
- LaLiberte, P. and D.J. Grimes, 1982. Survival of *Escherichia coli* in Lake bottom sediments. Appl. Environ. Microbiol. 43:623-628.
- Lund, V. 1996. Evaluation of *E. coli* as an indicator for the presence of *Campylobacter jejuni* and *Yersinia enterocolitica* in chlorinated and untreated oligotrophic lake water. Water Research, 30:1538-1534.
- Tate, R.L., III, 1978. Cultural and environmental factors affecting the longevity of *Escherichia coli* in histosols. Appl. Environ. Microbiol. 35:925-929.

## Bijlage I BRL K240

### Achtergrond BRL K240

Een Beoordelingsrichtlijn (BRL) bevat alle functionele eisen waaraan een product volgens drie partijen (de producent, de eindgebruiker en de certificeerder) zou moeten voldoen. Nadat een BRL is vastgesteld, kunnen producten volgens die BRL beoordeeld, en kan het product een KIWA-certificaat verkrijgen als het aan de eisen van de BRL voldoet. Momenteel zijn er ca. 110 BRL's voor producten in contact met drinkwater. De BRL is een privaatrechtelijke aangelegenheid. Meer informatie over de samenhang tussen Kiwa-certificaten en BRL's is omschreven in Bijlage II.

Het is van belang dat de toegepaste materialen bij drinkwaterbereiding van dusdanige kwaliteit zijn dat de microbiologische veiligheid van het drinkwater niet in het gedrang komt. Voor de toepassing van **filtergrind** (zand of grind als filtratiemedium) en voor de toevoeging van **entzand** (of meer algemeen: voor entmateriaal) in onthardingsreactoren bij de drinkwaterbereiding is de BRL K240 ontwikkeld waarin microbiologische kwaliteitscriteria voor het product zijn opgenomen en aanvullende eisen zijn gesteld voor de productie van dit entzand. Deze criteria en eisen zijn bedoeld om te kunnen voldoen aan de microbiologische eisen voor drinkwater in het Drinkwaterbesluit.

De BRL K240 is de "Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa productcertificaat voor Zand en grind voor de drinkwaterproductie". In deze BRL zijn alle relevante eisen opgenomen die door Kiwa worden gehanteerd als grondslag voor de afgifte en instandhouding van een Kiwa-productcertificaat voor zand en grind voor de drinkwaterproductie, op basis van het Kiwa-Reglement voor Productcertificatie. Deze producten dienen gelet op hun toepassing te voldoen aan wettelijke criteria die zijn vastgelegd in het Drinkwaterbesluit en de Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwater-voorziening.

### Kwaliteitseisen BRL K240

De BRL K240 richt zich op filterzand en entzand, in voorliggend onderzoek is aangenomen dat de eisen ook gelden voor entmateriaal zoals (hergebruikt) calciet in het algemeen. In de BRL K240 zijn eindproduct criteria opgenomen die zijn vermeld in Tabel 24.

TABEL 24. EINDPRODUCT EISEN VOOR DE MICROBIOLOGISCHE KWALITEIT VAN FILTERZAND/ENTZAND (BRON: BRL K240, 2014) GEBASEERD OP METINGEN IN DE PRAKTIJK EN DE ANALYSEGRENS VAN DE BEPALING .

Parameters	Criteria <sup>a</sup> (kve <sup>b</sup> / ml zand)	Bepalingsmethode
<i>E.coli</i> Enterococcen <i>Clostridium perfringens</i> (incl. sporen) SSRC <sup>c</sup>	<1 kve per 10 ml <1 kve per 10 ml <1 kve per 1 ml <1 kve per 1 ml	Bijlage III
<sup>a</sup> de grenswaarde betreft de aantoonbaarheidsgrens van de bepalingmethode <sup>b</sup> kolonievormende eenheid <sup>c</sup> sporen van sulfiet reducerende Clostridia		

Bovenstaande eisen zijn gebaseerd op haalbaarheid en meetbaarheid (analysegrens van de bepaling). Er is een microbiologische risicoanalyse uitgevoerd waaruit is geconcludeerd dat bovenstaande eis voor *E. coli* als indicator voor het risico van *Campylobacter* een factor 1000 lager moet zijn (Hijnen, 2008, Tabel 25). Op grond hiervan is voor de productie van filterzand en entzand een aanvullende eis voor de productie gesteld voor de inactivatie van *E. coli* van 3 log en een toelaatbare *E. coli* concentratie in het ruwe materiaal van 10 per ml. Deze inactivatie eis wordt getoetst door de reductie van het aantal *Aeromonas* bacteriën (Hijnen en de Goeij, 2013a) of het heterotrofe koloniegetal bij 25°C op R2A-medium te bepalen bij de verwerking van ruw zand tot entzand (Hijnen, 2013b). Het koloniegetal wordt toegepast wanneer het *Aeromonas* aantal in natuurlijk materiaal niet hoog genoeg is.

TABEL 25. MICROBIOLOGISCHE VEILIGHEIDSEIS VOOR *E. COLI* IN HET ENTZAND GEBASEERD OP (I) DE IN HET MILIEU WAARGENOMEN VERHOUDING TUSSEN VOORKOMEN VAN PATHOGEEN EN *E. COLI*, (II) EEN ZAND/WATER-RATIO VOOR BACTERIE UITSPOELING VAN 1 000 EN (III) DE VOOR DE PATHOGENEN VEREISTE DRINKWATER CONCENTRATIE (<math>1,2 \times 10^{-6}</math>/L VOOR EEN JAARLIJKS INFECTIERISICO VAN  $10^{-4}</math>).$

Pathogenen	Pathogeen/ <i>E.coli</i> ratio	<i>E. coli</i> criterium n/ml	<i>E. coli</i> Analysegrens n/ml	Vershil Criterium/AG log
<i>Campylobacter</i>	0,015	0,000067	0,07	3,0
<i>Cryptosporidium</i>	3,00E-05	0,03	0,07	0,5
<i>Giardia</i>	3,00E-04	0,003	0,07	1,5
Enterovirussen	1,00E-05	0,1	0,07	0,0

## Bijlage II ATA-Certificatie

Deze bijlage bevat achtergrond informatie over ATA-certificatie. Deze informatie is in het onderzoek gebruikt om duidelijkheid te verschaffen over het type certificaat dat het calciet als entmateriaal al dan niet zou moeten verkrijgen, de verschillen tussen product- en procescertificaat, en de relatie tussen een BRL (specifieke informatie over BRL K240 in Bijlage I) en een ATA-certificaat.

Over het onderscheid tussen certificaten: Een Kiwa-certificaat is een **productcertificaat** en wordt op basis van een BRL opgesteld door "*all parties concerned*". Een BRL bevat alle functionele eisen waaraan een product volgens drie partijen (de producent, de eindgebruiker en de certificeerder) zou moeten voldoen. Als een BRL is vastgesteld kunnen producten die toegelaten willen worden volgens die BRL beoordeeld worden, en kan een Kiwa-certificaat worden afgegeven wanneer het product aan de BRL voldoet. Er zijn 110 BRL's voor producten in contact met drinkwater. De BRL is een privaatrechtelijke aangelegenheid, het ATA-certificaat is publiekrechtelijk. In elke BRL wordt verwezen naar de Regeling materialen en chemicaliën, daarmee staat in elke BRL dat voldaan dient te worden aan die Regeling en dat ATA-certificatie noodzakelijk is.

ATA-certificatie. Het Kiwa-ATA-certificaat (attest toxicologische aspecten) gaat over toxicologie, het certificaat gaat niet over microbiologische veiligheid. Het ATA-certificaat omvat toxicologie en esthetische aspecten, en in de toekomst ook informatie over de biofilmvormingspotentie. Dit heeft betrekking op alle punten van winning tot aan het leveringspunt en valt onder de verantwoordelijkheid van het drinkwaterbedrijf. Alle onderdelen tussen winning en de watermeter dienen op individueel niveau te voldoen aan de Regeling materialen en chemicaliën, en dienen een erkende verklaring hebben (ATA in de volksmond). De samenstelling van het materiaal wordt bekeken, de hoeveelheid die kan uitloggen en dus de hoeveelheid die bij de klant kan komen. De normwaarden waarop de certificatie is gebaseerd zijn voor oppervlaktewater- en grondwaterprocessen gelijk, en zijn onafhankelijk van de behandeling die het water ondergaat. Hiermee wordt het verschil zichtbaar tussen het mitigeren van de chemische contaminatie risico's en de microbiologische betrouwbaarheid. Beide aanpakken zijn gebaseerd op een risico benadering, echter beheersing van het chemisch risico bij toediening van chemicaliën (ATA-certificatie, betrekking op chemie, wettelijke verplichting) is onafhankelijk van zuivering, terwijl controle van de microbiologische betrouwbaarheid gebaseerd is op de grondstof en het behandelingsproces van het water (wettelijk verplicht is een infectierisico van  $10^{-4}$  op reinwater, aan te tonen via de AMVD methodiek). De BRL K240 bevindt zich qua normstelling daartussen, deze BRL heeft betrekking op microbiologische betrouwbaarheid en bevat microbiologische normen voor filtergrind en entmateriaal die onafhankelijk zijn van het behandelingsproces van water.

Over **procescertificatie**, aan de hand van een voorbeeld: pot A en pot B is nodig om een epoxy coating op te brengen. Beide producten hebben een productcertificaat, er is één BRL voor het coating materiaal. Echter, de potten dienen op de juiste manier en onder de juiste condities te worden aangebracht ter plekke. Daar is het procescertificaat voor nodig, en er is één BRL nodig voor procescertificatie. Proces certificatie is ook van belang bij de reactivatie van actieve kool bijvoorbeeld. Als je kunt borgen en borgen dat de kool van fabriek A na

reactivatie weer terug bij fabriek A dan wordt daarmee het proces gecertificeerd dat de kool die weg gaat dezelfde kool is als terug geleverd wordt.

Het **Kiwa-ATA<sup>PLUS</sup> certificaat** (ofwel het ATD volgens BRL 15001, attest transport drinkwater chemicaliën) vult het gat op tussen private regelgeving voor transport van producent die een ATA-certificaat hebben tot aan gebruiker, omdat een ATA-certificaat strikt gesproken alleen geldt tot aan de uitgangspoort van de producent.

**Certificaathouder:** dit kunnen verschillende partijen zijn, waaronder de producent, de transporteur maar ook het drinkwaterbedrijf.

Een en ander wordt nader toegelicht in de eerste twee nieuwsbrieven van CAD (Contactgroep ATA Drinkwaterbedrijven):

- 1<sup>e</sup> nieuwsbrief juni 2014, onderdelen: onderscheid Kiwa-certificatie en Kiwa-ATA-certificatie, en ATA-paragraaf
- 2<sup>e</sup> nieuwsbrief okt 2014, onderdelen: Kiwa-ATA en nagroei, en ATD-gecertificeerde vervoerders.

Passage nieuwsbrief CAD nr 1. Onderscheid Kiwa-certificatie en Kiwa-ATA-certificatie, en 'ATA-paragraaf':

"Een certificatie-instelling certificeert een willekeurig product op basis van een van kracht zijnde 'beoordelingsrichtlijn', een BRL. In zo'n document zijn alle van toepassing zijnde 'functionele eisen' (criteria of parameters en bijbehorende beproevingsmethodes met eisen of grenswaarden) vastgelegd. Bij het voldoen aan alle functionele eisen wordt een product gecertificeerd, mede door toezicht van de certificatie-instelling op de kwaliteitsborging bij de vervaardiging van een product. Zo verstrekt Kiwa Nederland een 'Kiwa-keur' (kwaliteitsverklaring) op bijvoorbeeld dubbel glas.

Certificatie van producten in contact met drinkwater is/wordt om historische redenen (in het verleden eigendom van de gezamenlijke Nederlandse drinkwaterbedrijven) gedaan door certificatie-instelling Kiwa Nederland. Kiwa-beoordelingsrichtlijnen voor producten in contact met drinkwater moeten in twee delen worden onderscheiden: (i) de functionele eisen, het privaatrechtelijke deel en (ii) gezondheidskundige aspecten of de zogeheten ATA-paragraaf, het publiekrechtelijke deel. Die ATA-paragraaf omvat de volgende tekst:

'Producten en materialen die in contact (kunnen) komen met water, drinkwater of warm tapwater mogen geen stoffen afgeven in hoeveelheden die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de consument of anderszins de drinkwaterkwaliteit aantasten. Daartoe dienen de producten of materialen te voldoen aan de toxicologische, microbiologische en organoleptische eisen die zijn vastgelegd in de van kracht zijnde Ministeriële 'Regeling materialen en chemicaliën drink- en warm tapwatervoorziening' (gepubliceerd in de Staatscourant). Dit betekent dat de procedure voor het verkrijgen van een erkende kwaliteitsverklaring, zoals bedoeld in de vigerende Regeling, met positief resultaat dient te zijn afgerond.

Producten of materialen die zijn voorzien van een kwaliteitsverklaring, afgegeven door bijvoorbeeld een buitenlandse certificatie-instelling, mogen ook in Nederland worden toegepast, mits deze kwaliteitsverklaring door de Minister gelijkwaardig is verklaard aan de kwaliteitsverklaring zoals bedoeld in de Regeling.'

Hierbij wordt het voorbeeld gegeven van PVC buizen. Ook de betreffende Kiwa-BRL bevat een ATA-paragraaf. Dat betekent dat Kiwa-gecertificeerde PVC buizen zowel voldoen aan alle functionele eisen volgens de BRL én gezondheidskundig goed zijn bevonden. Alle PVC buizen met een Kiwa-keur beschikken dus tevens over een Kiwa-ATA. Voor andere Kiwa-gecertificeerde producten in contact met drinkwater zou dat ook het geval moeten zijn. Als voorbeeld worden dan watermeters genomen. Uit de informatie op de Kiwa-website blijkt dat er vooralsnog slechts één type watermeter over een Kiwa-ATA beschikt (een ultrasone meter van een Deense leverancier). Een toxicologische evaluatie van de andere 9 Kiwa-gecertificeerde watermeters is blijkbaar nog niet uitgevoerd. Een en ander impliceert dat voor alle producten in contact met drinkwater vooralsnog de overzichten met Kiwa-ATA-gecertificeerde producten op de Kiwa-website moeten worden geraadpleegd om na te gaan of een bepaald product daadwerkelijk over zo'n kwaliteitsverklaring beschikt.

Voor niet alle producten in contact met drinkwater is een Kiwa-BRL opgesteld en vindt uitsluitend een toxicologische evaluatie plaats. Bij het gewenste resultaat van zo'n evaluatie wordt op die producten een 'Kiwa-ATA-certificaat' afgegeven."

Passage nieuwsbrief CAD okt 2014, onderdelen: Kiwa-ATA en nagroei, en ATD-gecertificeerde vervoerders:

#### *"Kiwa-ATA en nagroei*

Op grond van artikel 19 'Zorgplicht' van het Drinkwaterbesluit en dan met name onderdeel b van lid 1, maakt naast toxicologische en organoleptische aspecten ook nagroei onderdeel uit van de voor materialen in contact met drinkwater bedoelde erkende kwaliteitsverklaring. Uit de Regeling (bijlage A) blijkt het voor nagroei qua materialen te gaan om kunststoffen, rubberproducten, folies en mogelijk membranen. Bijlage C 'Onderzoeksmethoden' noemt de bepalingsmethode voor nagroei: 'de norm NVN 1225:2004 en'. De titel van die norm is 'Drinkwater - Bepaling van de biomassa-productiepotentie (BPP) van kunststof materialen, metalen en coatings in contact met (leiding)water'. Daarbij wordt verder aangegeven: '..... zal de norm NVN 1225:2004 en van toepassing zijn na vaststelling van de beoordelingscriteria door de commissie.' In het onderdeel 'Toelichting' bij de Regeling wordt daarbij het volgende opgemerkt: 'Voor het bepalen van mogelijke nagroeieffecten (biofilmvormingspotentie) is een methode opgenomen. Een beoordeling op deze aspecten zal plaatsvinden zodra de Minister voorzien heeft in beoordelingscriteria.' Tot nog toe zijn door de Minister geen beoordelingscriteria voor nagroei vastgesteld, zodat dit onderdeel van het Kiwa-ATA nog steeds geen invulling heeft gekregen. Eerder dit jaar is onder de Commissie van Deskundigen wel de Subcommissie Implementatie BPP gevormd. Ans Versteegh vervult de voorzittersrol van die Subcommissie en vanuit de drinkwatersector participeren Marco Dignum (Waternet) en Paul van der Wielen (KWR) daarin.

Samenvattend: nagroei als onderdeel van het Kiwa-ATA is nog in ontwikkeling en daarom vooralsnog niet van toepassing.

#### *ATD-gecertificeerde vervoerders*

Het Kiwa-ATA op een product (publiekrechtelijk) geldt letterlijk tot aan de poort van een productielocatie. Voor het vervoer van bulkchemicaliën ten behoeve van de drinkwaterbereiding is enkele jaren geleden daarom door de drinkwatersector, vervoerders en certificatie-instelling Kiwa Nederland de BRL-K1 5001 'Beoordelingsrichtlijn kwaliteit leveringsketen chemicaliën drinkwatervoorziening voor het Kiwa procescertificaat voor het

transport van drinkwaterchemicaliën, aan te duiden als het Kiwa ATD' (privaatrechtelijk) van 9 november 2009 ontwikkeld. Op basis van die Kiwa-BRL zijn op dit moment 9 vervoerders van bulkchemicaliën gecertificeerd<sup>9</sup>. In de achterliggende periode heeft een van die vervoerders het volgende aan de Productgroep ATA gemeld: *'Aanvullend wil ik hier melden dat dit zo kon gebeuren daar de ontvangende partijen nooit en te nimmer ook maar de moeite nemen om een zegel te controleren. Het verzegelen van de oplegger bij aanvang en het verbreken/herzegelen van de oplegger bij laden/lossen ligt volledig bij de chauffeur. Hierdoor sluipen dergelijke discrepanties in het systeem. Wij staan alleen in het geloofwaardig houden van de BRL daar de in de vervoersketen betrokkenen het laten afweten en er vanuit de visie van de norm dus geen sprake is van Kiwa-ATD transport.'*

Bij inspectiebezoeken tijdens leveringen aan drinkwaterbedrijven blijken Kiwa-medewerkers dezelfde ervaringen te hebben, die helaas structureel van aard zijn.

De verzegeling van tankauto's zou eerder al in verschillende gremia zijn aangekaart, maar blijkbaar nog steeds niet met het gewenste resultaat. Om die reden wordt het ook hier nog weer onder de aandacht van de drinkwaterbedrijven gebracht. De leveringsketen van waterbehandelingschemicaliën kan uitsluitend worden gesloten als alle partijen hun taken en verantwoordelijkheden correct invullen. Binnen de CAD is de afspraak gemaakt dat door de drinkwaterbedrijven meer zal worden toegezien op de kwaliteitsborging van het vervoer van die chemicaliën."

---

<sup>9</sup> Zie via hyperlink <http://portal.kiwa.info/Certificaten1.html>, invullen '15001' in het veld 'Norm/BRL'.

## Bijlage III Methoden microbiologische bepalingen

### Methode voor isolatie en (standaard) bepaling van micro-organismen

Voor korrelige materialen als entzand is een eenvoudige methode ontwikkeld om micro-organismen te isoleren en daarna op standaard manier te bepalen. De methode is ontwikkeld om de besmettingsgraad van het water bij toepassing van het materiaal in de praktijk zo goed als mogelijk te bepalen. Het zand wordt hiervoor in een vaste volume verhouding van 1:10 met water 2 minuten handmatig geschud. Na bezinking van de vaste delen worden de microbiologische parameters in de bovenstaande suspensie bepaald. Voor calcië wordt dezelfde methodiek toegepast om de fecale besmetting van het toegepaste materiaal te bepalen. Over de recovery van deze methode is nog niets bekend. Het is dan ook de vraag wat de recovery van de methode is en of deze van zand en calcië verschilt.

### Microbiologische kwaliteit van calcië

In het traject van hergebruik van kalkkorrels van Waternet zijn op verschillende punten calciëmonsters genomen voor microbiologisch onderzoek. In deze materialen zijn de volgende analyse bepaald zoals beschreven in de BRL K240:

- *Escherichia coli*
- Enterococcen
- *Clostridium perfringens* (incl. sporen)
- Sporen van sulfiet reducerende clostridia

### Inactivatie capaciteit van het productieproces

Om de inactivatie van micro-organismen bij het productieproces van calcië als entmateriaal te bepalen zijn in een aantal monsters vóór en ná de productie het aantal *Aeromonas* bacteriën en het koloniegetal op R2A-medium bij 25°C bepaald. Uit het verschil kan de decimale eliminatie DE of logreductie worden berekend met:

$$DE(\text{logreductie}) = \log[C_{\text{voor}}] - \log[C_{\text{na}}]$$

### Recovery van de bepaling

De recovery van de microbiologische methode voor calcië (calcië-ent die bij Verwerkende partij I is geproduceerd) alsmede de entmaterialen op zandbasis (rivier- of grovezand en granaatzand: monster rivierzand van Filcom, monster granaatzand van Waternet) is bepaald met behulp van een doseerproef. Aan monsters entmateriaal werd een bekende hoeveelheid *E. coli* gedoseerd. De test is op twee manieren uitgevoerd:

- een hoge dosering vanuit een voorgekweekte cultuur in bouillon. *E. coli* stam WR1 is geënt in Lab Lemco Broth (LLA Oxoid CM0015) en geïncubeerd overnacht bij 37°C. Deze cultuur is daarna driemaal gewassen in steriel drinkwater door centrifugeren gedurende 10 minuten (4000 RPM). Daarna zijn de cellen gedoseerd aan het zand.
- een lage dosering vanuit een entflesje (huisvoorschrift KLMB-016). *E. coli* stam WR1 is vanuit een op bouillonagar opgekweekte cultuur geënt aan steriel mineraal medium met 0,1 mg glucose-C/l. Na het bereiken van het groeimaximum is de cultuur geconcentreerd door centrifugeren en gedoseerd aan het zand.



Om een homogene verdeling van *E. coli* te bewerkstelligen zijn in de eerste test 20 porties van 25 ml calcië, granaatzand en entzand vermengd met 0,1 ml entvloëistof met een bekende concentratie *E. coli*. Deze zijn een scheidtrechter samengebracht en gedurende 1 uur gemengd (RPM 100).

Bij test 2 is dezelfde enting uitgevoerd met een geconcentreerde cultuur voorgekweekt met de entflësjes methode (huisvoorschrift KLMB-016) aan 20 porties van 25 gram en volgens dezelfde methode gemengd.

De gedoseerde *E. coli* concentratie volgt uit de *E. coli* concentratie in de entvloëistof die aan het bekende volume materiaal is gedoseerd. Met de stortgewichten van calcië, granaatzand en entzand van resp. 1,4, 2,4 en 1,6 g/ml zijn de gedoseerde concentraties per materiaal berekend.

De recovery is bepaald uit de berekende gedoseerde concentratie en de in zesvoud gemeten gemiddelde concentratie in het materiaal met:

$$R = \frac{C_{gedoseerd}}{C_{gemeten}} * 100\%$$

#### Afstervingsnelheid

De snelheid waarmee de aantallen *E. coli* in het materiaal afsterft is bepaald door na de dosering aan de entmaterialen in de recovery-test monsters hiervan te incuberen bij 5 en 15°C en gedurende een maand een aantal maal het aantal *E. coli* te bepalen. De exponentiële afstervingsconstante is bepaald uit het lineaire deel van de logconcentratie versus tijdplot

$$\text{Log}_{10} \frac{C_t}{C_0} = -k_a \cdot t$$

waarin  $C_0$  en  $C_t$  de concentraties zijn op  $t=0$  en na  $t$  dagen en  $-k_a$  de exponentiële afstervingsconstante (log 10).

## Bijlage IV Modelling massabalans en accumulatiekans zware metalen

### Introductie

In het project worden kalkkorrels die ontstaan bij pellet ontharding vermalen en gezeefd en opnieuw toegepast als entmateriaal. Materialen die in aanraking komen met drinkwater dienen volgens de wet te beschikken over een Kiwa-ATA. Accumulatie van zware metalen zou ongewenst kunnen zijn omdat het gehalte zware metalen in het calcië (als entmateriaal) na verloop van tijd te hoog zou kunnen worden voor toepassing in drinkwaterbereiding. In deze bijlage is op modelmatige wijze bekeken of – en onder welke omstandigheden – het eventueel mogelijk is dat zware metalen accumuleren in de kalkkorrels en entmateriaal, en wat het effect op afgifte aan drinkwater is.

### Conclusie

Het model toont aan dat, bij in de praktijk heersende omstandigheden, de concentratie zware metalen in de kalkkorrel en het hergebruikte calcië-ent na verloop van tijd gelijk zijn aan elkaar, dat geen risico bestaat voor accumulatie van zware metalen in de kalkkorrels, en dat geen risico bestaat voor overdracht van zware metalen vanuit het entmateriaal naar het drinkwater.

Wel kan de concentratie in de kalkkorrel waaruit het calcië entmateriaal geproduceerd wordt onder bepaalde omstandigheden, d.w.z. combinaties van de concentratie zware metalen in reactor influent, concentratie zware metalen in toegevoerde onthardingschemicaliën en overdracht van zware metalen tussen water en kalkfase, zulke waarden bereiken waarbij de kwaliteit van de kalkkorrel (en het calcië entmateriaal dat daar uit geproduceerd wordt) niet voldoet aan de normen die in de Regeling Materialen & Chemicaliën gelden voor calcië als toepassing als conditioneringsmiddel.

### Massabalans zware metalen

De massabalans van een zwaar metaal ZM in water, loog, entmateriaal en kalkkorrel ziet er schematisch als volgt uit:

											<b>water effluent:</b>	
										\	$m_{W, UIT}$	[kg/h]
<b>ent:</b>										/	$C_{ZM, W, UIT}$	[mg/L]
$m_{ENT, IN}$	[kg/h]										$C_{Ca, UIT}$	[mg/L]
$C_{ZM, ENT, 0}$	[mg/L]											
<b>natronloog:</b>												
$m_{LOOG, IN}$	[kg/h]											
$C_{ZM, LOOG, 0}$	[mg/L]											
											<b>kalkkorrels:</b>	
<b>water influent:</b>										/	$m_{KORREL, UIT}$	[kg/h]
$m_{W, IN}$	[kg/h]									/		
$C_{ZM, W, 0}$	[mg/L]									\		
$C_{Ca, IN}$	[mg/L]											

Symbolen:

$m_{X, IN/UIT}$  = massadebiet van X, ingaand/uitgaand

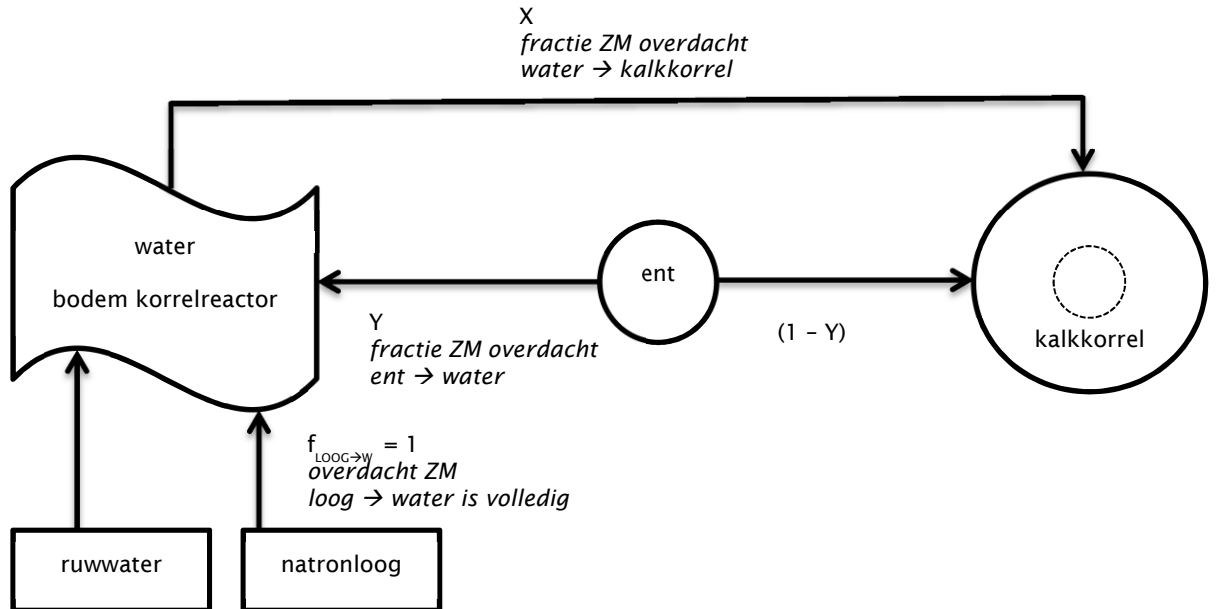
$C_{ZM, X, 0}$  = concentratie van zwaar metaal (ZM), in stroom X, punt 0.

Etc.

### Overdrachtsmodel zware metalen

Uit het overdrachtsmodel blijkt dat ZM (zware metalen) vanuit het entmateriaal via twee routes in de kalkkorrel terecht kunnen komen:

- Direct door aangroei tot korrel (1 - Y)
- Indirect door oplossen in water (Y) en overdracht van water naar korrel (X).



Aangenomen wordt dat de overdracht van ZM van natronloog naar de waterfase volledig is ( $f = 1$ ). Alle ZM uit het natronloog zal eerst oplossen in het water, zodat de concentratie in het reactor influent de resultante is van het aandeel ZM in ruwwater plus het aandeel ZM uit natronloog. De concentratie ZM in water kan vervolgens eventueel nog hoger worden door overdracht van entmateriaal naar water (fractie Y). In het model is aangenomen dat netto overdracht plaatsvindt van waterfase naar kalkkorrels (fractie X). Deze netto overdracht is een voorwaarde voor accumulatie van ZM, en sluit aan bij wat er in de theorie en uit de praktijk bekend is: het water is zeker na toediening van een basisch onthardingschemalie kalkafzettend zodat netto overdracht van water naar vast plaatsvindt.

Uit de bovenstaande massabalans en verschillende overdrachten van zware metalen tussen de verschillende fasen kan onderstaande vergelijking worden afgeleid voor de concentratie van ZM (willekeurig zwaar metaal) in de kalkkorrel. Daarin is de concentratie van ZM in het entmateriaal een input parameter.

Vergelijking 1:

$$C_{ZM,KORREL} = \frac{X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}] + [Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN} \cdot C_{ZM,ENT,0}}{m_{KORREL}}$$

In deze vergelijking kunnen de volgende deeltermen fysisch worden geduid:

$X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}]$	Overdracht (fractie X) van de totale hoeveelheid ZM aanwezig in ruwwater + loog van de waterfase naar de kalkkorrel
$[Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN} \cdot C_{ZM,ENT,0}$	Y.X: Achtereenvolgens de overdracht van entmateriaal naar water (fractie Y) en de overdracht van water naar kalkkorrel (fractie X). (1 - Y): Fractie die niet wordt overgedragen aan water en dus direct in de kalkkorrel terecht komt.
$[Y \cdot X + (1 - Y)]$	De waarde van deze term ligt tussen 0 - 1. Deze term geeft de route weer van ZM uit entmateriaal naar de kalkkorrel, direct dan wel indirect via de waterfase.

**Onder bepaalde (in de praktijk geldende) omstandigheden zal na i cycli de samenstelling van het entmateriaal gelijk zijn aan de samenstelling van de kalkkorrel.**

Dit is middels een wiskundige reeks aangetoond in Bijlage 1. Daar is middels een model aangetoond dat de samenstelling van kalkkorrel en entmateriaal na verloop van voldoende tijd gelijk zijn. Daarnaast wordt verwacht dat de samenstelling van de kalkkorrel niet zal wijzigen door terugvoer van datzelfde kalk als entmateriaal, omdat het water kalk afzettend is en het entmateriaal niet in oplossing zal gaan en er blijkt in de praktijk een netto ZM overdracht te zijn van waterfase naar kalkkorrel, en niet van kalkkorrel naar waterfase. Dat zal naar verwachting niet veranderen op het moment dat deze zelfde kalkkorrel in gebroken vorm in de reactor wordt terug gebracht. Het kleinere oppervlak van het teruggevoerde entmateriaal speelt hierbij geen rol omdat het oppervlak voor de kinetiek van belang kan zijn, wat pas een rol speelt wanneer de drijvende kracht (thermodynamische parameter) oplossen van ZM uit kalk naar water toelaat. Met andere woorden, verwacht wordt dat Y erg dicht bij 0 zal zijn.

Onder bepaalde omstandigheden kan de concentratie ZM in de korrel toenemen in de tijd, echter dan gaat het om theoretische situaties (d.w.z. situaties die in de praktijk niet voorkomen, zie Bijlage 1).

Deze modelresultaten en redeneringen kunnen in de praktijk getoetst worden middels een meetprogramma rond de reactor.

In dat geval kan de concentratie ZM in de kalkkorrel en het entmateriaal als volgt uit bovenstaande vergelijking analytisch bepaald worden:

*Vergelijking 2:*

$$C_{ZM,KORREL} = \frac{X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}]}{m_{KORREL} - [Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN}}$$

De concentratie ZM in de korrel neemt toe naarmate:

- er meer overdracht vanuit water en loog naar de korrel is (de teller);
- de hoeveelheid geproduceerde korrels lager is (eerste term noemer);
- de overdracht van ent naar korrel groter is (tweede term noemer). Deze is maximaal wanneer er geen overdracht is van ent naar water (Y = 0), of wanneer er volledige

overdracht plaatsvindt van water naar korrel ( $X = 1$ ). In dat laatste geval komt ZM uit ent via water ( $Y$ ) geheel ( $X=1$ ) in korrel terecht, en het restant ( $1-Y$ ) komt direct in korrel terecht.

De concentratie ZM in het reactor effluent wordt als volgt bepaald:

*Vergelijking 3:*

$$C_{ZM,W,UIT} = \frac{(1-X) \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0} + Y \cdot m_{ENT,IN} \cdot C_{ZM,ENT,0}]}{m_W}$$

Als volledige overdracht plaatsvindt van water naar korrel ( $X = 1$ ) zal de concentratie ZM in het reactor effluent 0 zijn. De waarde van  $X$  kan afgeschat worden aan de hand van praktijkdata.

#### Bijdrage ZM aan effluent per bron

De bijdrage van zware metalen aan het reactor effluent is opgebouwd uit een bijdrage van drie bronnen, namelijk:

1. Het ruwwater. Het deel van ZM dat in het ruwwater aanwezig is en niet in de korrel wordt ingebouwd komt in het reactor effluent terecht (fractie =  $1 - X$ ).
2. De natronloog. Het ZM dat in de natronloog aanwezig is wordt volledig overgedragen naar de waterfase (zie eerder aanname, fractie = 1). Een deel daarvan wordt niet in de kalkkorrel ingebouwd en komt in het reactor effluent terecht (fractie =  $1 - X$ ).
3. Het entmateriaal. Een deel van ZM wordt overgedragen naar de waterfase (fractie =  $Y$ ). Een deel daarvan wordt niet in de kalkkorrel ingebouwd en komt in het reactor effluent terecht (fractie =  $1 - X$ ).

De verschillende bijdragen (massadebiet) van ZM aan het reactor effluent zijn als volgt:

$m_{ZM,W,EFFLUENT} = (1 - X) \cdot m_W \cdot C_{ZM,W,0}$
$m_{ZM,LOOG,EFFLUENT} = (1 - X) \cdot f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}$
$m_{ZM,ENT,EFFLUENT} = (1 - X) \cdot Y \cdot m_{ENT,IN} \cdot C_{ZM,ENT,0}$

Voor typische waarden is het de verdeling van het aandeel ZM in reactor effluent als volgt (aan te passen in Excel model):

1. Aandeel ruwwater: 80 - 90%
2. Aandeel natronloog: 5 - 15%
3. Aandeel entmateriaal: 1 - 5%

## BIJLAGE 1

Onder aanname dat de concentratie ZM in de kalkkorrel en het entmateriaal elkaar zullen benaderen na verloop van tijd (dit is zeer waarschijnlijk, of feitelijk per definitie het geval, wanneer sprake is van een stabiele bron en bedrijfsvoering is het mogelijk om die concentratie uit te rekenen (vergelijking 2). Hieronder wordt aangetoond onder welke voorwaarden deze aanname geldt.

Vergelijking 1 wordt omgeschreven zodat de concentratie ZM in de kalkkorrel in cyclus  $i+1$  wordt bepaald door de concentratie ZM in het ent van diezelfde cyclus, welke gelijk is aan de concentratie ZM in kalkkorrel uit de voorgaande cyclus  $i$ :

*Vergelijking 4*

$$C_{ZM,KORRELi+1} = \frac{X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}] + [Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN} \cdot C_{ZM,KORRELi}}{m_{KORREL}}$$

en vereenvoudigd, *Vergelijking 5*:

$$C_{i+1} = \frac{X \cdot [A + B] + [Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot D \cdot C_i}{E} = \frac{X \cdot [A + B]}{E} + \frac{[Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot D}{E} \times C_i$$

Of (*Vergelijking 6*):

$$C_{i+1} = \beta + \alpha \times C_i$$

Met (*Vergelijking 7*):

$$\alpha = \frac{[Y \cdot X + (1 - Y)] \cdot m_{ENT,IN}}{m_{KORREL}}$$

En (*Vergelijking 8*)

$$\beta = \frac{X \cdot [m_{W,IN} \cdot C_{ZM,W,0} + f_{LOOG \rightarrow W} \cdot m_{LOOG,IN} \cdot C_{ZM,LOOG,0}]}{m_{KORREL}}$$

De vraag is onder welke omstandigheden, d.w.z. voor welke parameter waarden voor  $\alpha$  en  $\beta$ , dit schema convergeert, zodat  $C_{i+1}$  uiteindelijk gelijk wordt aan  $C_i$ . In dat geval is het toegestaan om de betreffende aanname te doen.

De reeks ontwikkelt zich als volgt:

$$\text{voor } i = 0: C_1 = \beta + \alpha \times C_0$$

$$\text{voor } i = 1: C_2 = \beta + \alpha \times C_1 = \beta + \alpha \cdot \beta + \alpha^2 \times C_0$$

etc., tot *Vergelijking 9*:

$$\text{voor } i - 1: C_i = \alpha^i \times C_0 + \beta \cdot \sum_0^{i-1} \alpha^{i-1}$$

Vergelijking 10:

$$\text{voor } i: C_{i+1} = \alpha^{i+1} \times C_0 + \beta \cdot \sum_0^i \alpha^i$$

De waarde van de sommatie termen convergeren als  $\alpha < 1$ , en heeft als waarde  $[1 + \alpha/(1-\alpha)]$ , als volgt (Vergelijking 11):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n \alpha^i = 1 + \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

Convergeren van de reeks kan worden aangetoond:

Het verschil tussen  $C_{i+1}$  en  $C_i$  dient naar 0 te gaan bij een toenemend aantal cycli  $i$ , ofwel de ratio tussen  $C_{i+1}$  en  $C_i$  dient naar 1 te gaan bij een toenemend aantal cycli  $i$ .

De wijze middels verschil wordt hieronder uitgewerkt. Na  $n$  cycli geldt:

$$C_{n+1} - C_n = \left[ \alpha^{n+1} \times C_0 + \beta \cdot \sum_0^n \alpha^i \right] - \left[ \alpha^n \times C_0 + \beta \cdot \sum_0^{n-1} \alpha^i \right]$$

$$C_{n+1} - C_n = (\alpha - 1) \cdot \alpha^n \times C_0 + \beta \cdot \left[ \sum_0^{n-1} \alpha^i + \alpha^n \right] - \beta \cdot \left[ \sum_0^{n-1} \alpha^i \right]$$

Vergelijking 12:

$$C_{n+1} - C_n = (\alpha - 1) \cdot \alpha^n \times C_0 + \beta \cdot \alpha^n$$

welke convergeert bij een toenemend aantal cycli en waarden voor  $\alpha < 1$ . De waarden van  $C_0$  en  $\beta$  zijn daarin niet meer van belang. Tevens volgt voor de concentratie ZM in de kalkkorrel bij gelijk stellen van  $C_{n-1}$  aan  $C_n$  (Vergelijking 13):

$$C = \frac{-\beta}{(\alpha - 1)}$$

welke na substitutie van de termen  $\alpha$  en  $\beta$  gelijk is aan vergelijking 2.

### Kan de concentratie toenemen in de korrel?

1.  $\alpha > 1$

De reeks convergeert niet voor waarden van  $\alpha > 1$ . Die waarde wordt bepaald door de verhouding tussen de toegevoegde hoeveelheid ent en de afgevoerde hoeveelheid kalk (verhouding  $m_{\text{ENT, IN}} / m_{\text{KORREL}}$ ). Onder praktijk situaties zal die waarde kleiner zijn dan 1. Praktijk waarden voor  $\alpha$  zijn doorgaans klein, orde grootte 0,1. In het theoretische geval dat de hoeveelheid toegevoegd ent langdurig groter is dan de hoeveelheid afgevoerd kalk zal de concentratie ZM in de kalkkorrel volgens het model toenemen. Fysisch is dit echter niet mogelijk aangezien het entmateriaal geproduceerd wordt uit de kalkkorrels.



2.  $\alpha < 1$

De reeks convergeert voor waarden kleiner dan 1, naarmate het aantal cycli  $n$  toeneemt, en de snelheid van het convergeren hangt af van de waarden  $C_0$ ,  $\alpha$ , en  $\beta$  voor de continue oplossing (leidend tot vergelijking 14), en ook voor de stapgrootte ' $\Delta n$ ' voor de discrete vergelijking 12. De concentratie als continue functie van  $n$ , die laat zien hoe snel de concentratie tot de evenwichtswaarde komt, wordt verkregen door integratie van vergelijking 12, en op basis van de juiste randvoorwaarden:

$$C_{n+1} - C_n = \frac{dC}{dn} = (\alpha - 1) \cdot \alpha^n \times C_0 + \beta \cdot \alpha^n$$

$$dC = \int (\alpha - 1) \cdot \alpha^n \times C_0 + \beta \cdot \alpha^n dn$$

Met randvoorwaarden:

$$C(n = 0) = C_0$$

$$C(n = \infty) = C_{\text{EVENWICHT}} = \beta / (1 - \alpha)$$

*vergelijking 14 (continue oplossing C(n)):*

$$C(n) = \frac{\beta}{1 - \alpha} + \left[ C_0 - \frac{\beta}{1 - \alpha} \right] e^{\ln(\alpha) \cdot n}$$

De convergentiesnelheid van de continue en discontinue oplossing is verschillend, en is voor bepaalde combinaties van waarden voor  $\alpha$  en  $n$  gelijk.

De bevindingen met het model worden ondersteund door het volgende gedachten experiment:

OF er is sprake van een grote overdracht van ZM vanuit entmateriaal naar water, en in dat geval zal de concentratie ZM in de kalk afnemen en dooft het effect uit, of anders beredeneerd: de ZM die in ent zit is afkomstig van ruwwater en loog en zal in de volgende cyclus weer worden afgegeven aan water. OF er is sprake van geen/nauwelijks overdracht van ZM vanuit ent naar water, en in dat geval wordt de concentratie ZM in water en kalkkorrel "zoals altijd gewoon" bepaald door de opname van ZM uit water en loog in de kalkkorrel.

# Bijlage V Kostenbepaling calciet varianten – memo Best Works



Best Works B.V.  
technisch adviesbureau



Bremhoek 7  
8072 KB Nunspeet  
(06) 22 61 14 64  
KvK 08186828  
jorgen@best-works.nl  
www.best-works.nl

onderwerp	Businesscase: technische haalbaarheid en kosten
project	Calciet als entmateriaal
opdrachtgever	Reststoffenunie
datum	27 maart 2015
aan	Hay Koppers, Olaf van der Kolk, Luc Palmen
kopie	-
losse bijlage	kosten-2.xls

## 1. Inleiding

De drinkwatersector heeft het voornemen om bij onthardingsinstallaties over te gaan naar calciet als entmateriaal in plaats van entzand. Door deze transitie van entzand naar calciet neemt de waarde van de geproduceerde calciet pellets toe en wordt het gehele drinkwaterproces in potentie duurzamer. De Reststoffenunie heeft Best Works daarom gevraagd een businesscase te doen voor de productie van entmateriaal uit calciet voor de aspecten technische haalbaarheid en kosten. De overige aspecten zullen door derden nader ingevuld worden.

Op 15 december 2014 zijn op de TKI Hollandse calciet bijeenkomst potentiële opties besproken voor productie van entmateriaal en op 14 januari 2015 zijn de opties verder aangescherpt. De volgende opties en varianten worden in deze notitie besproken:

- Optie 1b: nat, onder water malen van calciet per reactor en direct terugvoeren van geproduceerde entmateriaal per reactor. Systeem omvat in hoofdzaak per reactor een maler en wasser. Het gehele proces vindt onder water plaats. Voor verkoop zijn uitsluitend natte pellets beschikbaar.
- Optie 3: nat, onder water malen van calciet per zuivering en direct terugvoeren van geproduceerde entmateriaal. Systeem omvat in hoofdzaak per zuivering twee malers en wassers. Het gehele proces vindt onder water plaats. Voor verkoop zijn uitsluitend natte pellets beschikbaar.
- Optie 6: droog malen van calciet per zuivering voor entmateriaal en andere producten. Dit systeem omvat een mini fabriek: transport, drogers, malers, opslag pellets, opslag

verschillende fracties. Dit systeem produceert entmateriaal en gemalen fracties voor verkoop.

- Optie 9: droog malen van calciet op zuivering regionaal voor entmateriaal en andere producten (huur, conform recente info RU). Het systeem omvat een complete maalfabriek.
- Optie 12: droog centraal (landelijk) malen van calciet voor entmateriaal en andere producten (huur, conform recente info RU). Het systeem omvat een complete maalfabriek.
- Ter vergelijking optie 12a: centraal malen van calciet voor entmateriaal en andere producten (investeren conform W+B notitie, voor malen Calciets met zandkern; optie is dus duurder door zwaarder equipment)
- Optie 12+3: lokaal malen voor entmateriaal, pellets centraal verwerken; dat is 90% van optie 12 (90% i.p.v. 100% kan worden verkocht door het lokaal malen en verlies van 10% aan fijne slibfracties). Deze optie produceert entmateriaal apart van Calciets. Evident is dat dit een relatief dure optie is. Het voordeel is echter dat het besmettingsrisico van entmateriaal tijdens transport en opslag wordt geminimaliseerd.

Deze opties kennen onderling een groot aantal verschillende aspecten. Zie bijlage 1 voor een toelichting van deze aspecten. Besproken is in het overleg van 14 januari 2015 dat nat malen uitsluitend zinvol is voor kleinschalige lokale toepassingen.

## 2. Uitgangspunten

### 2.1 Gebruikte informatie

De volgende informatie is gebruikt

- Witteveen+Bos rapportage: Technical note Business Case Softening Pellet Processing, d.d. 19-11-2013  
*Betreft een businesscase voor een fullscale plant voor 35.000 of 70.000 ton per jaar om geproduceerde calcietspellets met zandkern te vermalen tot kleinere fracties om dit af te zetten in de markt*
- KWR rapportage: Ontharden met Hollands calciets, KWR 2014.010, d.d. januari 2014 inclusief Afstudeerrapport (TU Delft) van Marc Schetters  
*Deze rapportage geeft veel detailinformatie m.b.t. het gehele proces en de proeven op Weesperkarspel*
- KRR rapportage: Calciets als entmateriaal voor pelletontharding, Hergebruik van pellets en economische afweging, KWR 2012.006, d.d. januari 2012  
*Deze rapportage bespreekt decentrale verwerking met kosten gebaseerd op een capaciteit van ca. 300 versus 1300 ton per jaar (200 versus 800 kg/hr). Kosten voor drogen, arbeid, onderhoud en aanpassingen aan het proces om de ontharding heen (handling, opslag, wassen, etc.) zijn niet meegenomen. Het afschrijven van de kosten voor de machines over slechts vijf jaar is hiervoor compensatie in een poging om een meer reële inschatting van de totale kosten te verkrijgen.*
- E-mail van: Olaf van der Kolk, d.d. 4-2-2015 m.b.t. kosten malen Calciets.
- E-mail van: Hosokawa, d.d. 18-2-2015 en 23-2-2015 m.b.t. kosten, slijtdelen en technische haalbaarheid
- E-mail van: Jongerius, d.d. 25-2-2015, m.b.t. kosten.

- *Interview met: Olaf van der Kolk en Luc Palmen d.d. 14-1-2015 en 25-2-2015, m.b.t. kosteninformatie en -interpretatie.*
- *Interview met: Leon Kors en Erik Baars d.d. 27-1-2015, m.b.t. ervaringen met het malen van calciet in een pilot op Weesperkarspel.*
- *Interview met: Menno Logmans (leverancier malers: Hosokawa), d.d. 2-2-2015, m.b.t. technische haalbaarheid en mogelijkheden.*
- *Interview met: Wijnand van 't Hazeveld (leverancier malers: Jongerius), d.d. 4-2-2015, m.b.t. technische haalbaarheid en mogelijkheden.*

## 2.2 Beoordelingsaspecten

Tijdens de TKI bijeenkomst is aangegeven dat de beoordeling van de verschillende opties uiteindelijk op basis van de volgende criteria zal plaatsvinden:

- Kosten (CAPEX, OPEX)
- Opbrengsten (Afzetmarkten)
- Waterkwaliteit
- Duurzaamheid (MRPI)
- Certificeerbaarheid
- Bedrijfszekerheid (zekerheid afzetmarkt, zekerheid productie calciet)
- Kans van slagen businessconcept
- Technische haalbaarheid / proeven

Best Works beperkt zich tot een vergelijking van kosten en de technische haalbaarheid (het eerste en laatste punt).

## 2.3 Identificatie van aandachtspunten bij uitwerking van opties

De volgende aandachtspunten zijn op voorhand geïdentificeerd:

1. Kan nat gemaal worden (dus met toevoeging van water)?
2. Kan een (in-line en) geautomatiseerd systeem gerealiseerd worden? Hoe gaat het vullen van een maalsysteem? Is dit batch-gewijs? Is dit af te stemmen op het batch-gewijs aflatenvan pellets?
3. Hoeveel onderhoud is nodig?
4. Hoe vaak is een storing te verwachten?

### 3. Uitwerking businesscase

#### 3.1 Algemeen

##### Decentraal malen van calcië

Optie 1b en 3 zijn opties voor het decentraal op zuiveringen malen van calcië, met als enige doel om entmateriaal te verkrijgen. De opzet van de installatie is eenvoudig en is globaal als volgt:

1. Pellets worden afgetapt en met een pomp naar een draaiende maalvoorziening getransporteerd die de pellets maalt. Dit vindt geheel onder water plaats.
2. Na het malen worden de pellets naar een wasser of cycloon getransporteerd, waar de fijne maalfracties worden weggespoeld.
3. De grove maalfracties worden teruggeleid naar de onthardingsreactoren.

Kanttekeningen bij dit proces zijn:

- De maler bestaat uit een hamer die de pellets stuk slaat en door een maalzeef forceert.
- De exacte grootteverdeling van de grove maalfracties mag een redelijke spreiding kennen, zolang maar een minimum grootte wordt gehaald voor het onthardingsproces. Enkele calciëkorrels van bijvoorbeeld 0,8 mm zijn geen obstakel voor het onthardingsproces. De bredere grootteverdeling beperkt de complexiteit van de installatie en beperkt het verlies aan uitspoelen van fijne fracties als slib. Wat grovere calciëkernen zullen wat sneller tot complete pellets aangroeien.
- Bij het selecteren van de maler kan de grootteverdeling gefinetuned worden door selectie van de juiste maalzeef. Hoe groter de gaten in de maalzeef hoe minder fijne fracties, maar ook hoe groter gemiddeld de maalfracties zullen zijn.
- De maler mag niet overvuld raken. Dit impliceert dat een batch pellets een beperking in omvang zal kennen. De grootte van de maler en de maximale duur dat de pellet-aftap geopend is, moet ter zijner tijd op elkaar afgestemd worden.
- Het gehele systeem is gesloten en al het malen vindt compleet onder water plaats.
- Het gehele systeem is volledig geautomatiseerd.
- Optie 1b heeft een maler per reactor en geen centraal leidingwerk, optie 3 maalt met twee reactoren en verdeelt naderhand het entmateriaal met centraal leidingwerk.

De technische haalbaarheid is getoetst op basis van leveranciersinformatie. De kosten van deze opties zijn geraamd door een inschatting te maken van de benodigde onderdelen en de kosten daarvan te ramen (op basis van DACE of eigen inschatting door vergelijking met qua complexiteit vergelijkbare onderdelen).

Optie 6 is eigenlijk een hybride variant. In deze variant wordt droog gemaal. Het betreft een decentrale optie met droog malen. Qua techniek lijkt deze optie op de varianten van centraal malen.

#### **Centraal malen van calcië**

Optie 9, 12 en 12a betreffen grootschalige opties met centrale verwerking van calcië (regionaal en landelijk). Van deze opties is al informatie aanwezig over de technische haalbaarheid en de kosten uit eerdere studies. De aard van de installatie is veel complexer met het karakter van een fabriek. De installatie is globaal als volgt opgebouwd:

- Opslag van pellets
- Droogvoorzieningen
- Maalvoorzieningen
- Sorteervoorzieningen
- Diverse opslagbunkers voor gemaalde fracties
- Transportvoorzieningen tussen de verschillende processtappen
- Gebouw, ruimtebeslag en algemene voorzieningen
- Personeel is noodzakelijk om het gehele systeem te bedienen

#### **Verschillen qua aard centraal versus decentraal**

Bij het vergelijken van de centrale versus decentrale opties moet rekening gehouden worden met de verschillen in aard. Tevens geldt voor de centrale versus de decentrale opties dat de kosten door een ander partij alsmede op een geheel andere wijze geraamd zijn. Dit beperkt in hoeverre centraal en decentraal onderling vergelijkbaar zijn. De huidige kostenraming is daarom in teamverband getoetst en geëvalueerd.

### **3.2 Technische haalbaarheid**

#### **Droog malen (optie 6, 9, 12 en 12a)**

Calcië is een materiaal dat op grote schaal droog wordt gemaal. De technische haalbaarheid van droogmalen is dan ook geen knelpunt. Het ontbreken van een zandkern maakt het malen eenvoudiger dan in de Witteveen+Bos studie waarbij nog uitgegaan werd van calcië met een zandkern.

#### **Nat malen (optie 1b en 3)**

De technische haalbaarheid van nat malen is tijdens deze studie onderzocht door contact op te nemen met twee leveranciers: Jongerius te Nijkerk en Hosokawa te Doetinchem. Daarnaast is in Wikipedia aangegeven dat nat (onder water) malen als principe bestaat. Gebleken is dat Hosokawa naar verwachting in staat is apparatuur te leveren voor opties 1b en 3 (zie bijlage 2 voor de voorgestelde apparatuur) die eenvoudig onder water kan malen. De apparatuur van Jongerius voldoet niet (zie onderstaand). Samenvattend komt een en ander op het volgende neer:

1. Hosokawa bevestigt dat zij malers hebben die compleet onderwater kunnen malen. Dit vereenvoudigt het systeem zowel qua aansluitingen als qua procesbesturing.

2. Hosokawa heeft voor verschillende groottes verschillende installaties.
3. Hosokawa geeft aan dat calcië geen moeilijk materiaal is om te malen (er zijn veel hardere materialen in haar tak van industrie). Hosokawa verwacht dan ook geen problemen en storingen.
4. Hosokawa levert installaties op maat.
5. Hosokawa heeft voorlopige uitspraken gedaan omtrent de capaciteit van haar apparatuur. Voor definitieve uitspraken over de capaciteit en het functioneren van de apparatuur moet een maalproef worden uitgevoerd. Deze maalproef kost enkele duizenden euro's en is representatief voor verschillende groottes van installaties.
6. Hosokawa verwacht een standtijd van een halfjaar voor de zeef in de maler, en voor de hamers minimaal een jaar.
7. De opzet van de installatie is eenvoudig te automatiseren.
8. Jongerius geeft aan dat wel water toegevoegd mag worden aan het maalproces, maar slechts een beperkte hoeveelheid. Dit is een lastige beperking.
9. Jongerius verkoopt malers die open zijn. Ook dit is een lastige beperking.
10. Jongerius vindt calcië een relatief hard materiaal, afgezet tegen de farmacie en voedingsmiddelenindustrie waar haar apparatuur voor bestemd is.
11. Jongerius maakt een voorbehoud omtrent de slijtage van onderdelen. Dit is een risico.
12. Jongerius verkoopt een standaard product.

### **Conclusies nat malen**

Het volgende wordt geconcludeerd:

1. De technische haalbaarheid van het nat malen van calcië lijkt vooralsnog goed haalbaar.
2. Voor bevestiging van het concept van nat malen wordt aanbevolen een representatieve maalproef (nat onderwater) te laten uitvoeren. Dit kan binnen een redelijke termijn tegen beperkte kosten.
3. Aanbevolen wordt het concept na bevestiging door de maalproef te testen in een pilot.

Deze conclusies zijn alleen relevant indien besloten wordt voor opties 1b of 3 om decentraal nat te gaan malen.

### **Overzicht overwegingen technische haalbaarheid**

Onderstaand worden in tabelvorm diverse aspecten voor de verschillende opties samengevat. Hierin worden vooral de verschillen in onzekerheden samengevat. In absolute zin geldt dat natuurlijk het voorbehoud dat iedere maal installatie innovatief is en nieuw voor de watersector. Daarnaast kennen dergelijke installaties de typische

aspecten van behandeling van droge producten zoals bijvoorbeeld bij kalkmelk aanmaakinstallaties of actiefkool: stof, slijtage, onderhoud, etc..

Aspect	1b	3	6	9	12
bestaand toegepast principe	ja, niet vaak	ja, niet vaak	ja	ja	ja
bekende leveranciers	1	1	diverse	diverse	diverse
voorbehouden leveranciers	maalproef	maalproef	maalproef	-	-
pilot noodzakelijk	ja	ja	nee	nee	nee
investeringen in eerste fullscale systeem	-	-	0	0	+
onderhoud	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	onzeker, verwachting beperkt, 2x/j	intensief maar bekend	intensief maar bekend
besmettingsrisico	laag, gesloten lokaal systeem	laag, gesloten lokaal systeem	risico lokale besmetting, open systeem	lokaal / transportrisico, open systeem	lokaal / transportrisico, open systeem
vrijkomen van stof	nee	nee	ja	ja	ja
onrendabele fracties (slib)	<10%	<10% laag, eenvoudig systeem	ca. 0%	ca. 0%	ca. 0%
Storingsongevoeligheid	gemiddeld, eenvoudig systeem, wel onderhoud aan maler	gemiddeld, eenvoudig systeem, wel onderhoud aan maler	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem	matig, malen en droge stoffen vergen aandacht, wel beproefd systeem

### 3.3 Kosten

In de losse bijlage (hier niet weergegeven) wordt een uitgebreid overzicht van de verschillende kosten gegeven (Capex en Opex). In onderstaande tabel worden de kosten (afgerond) kort samengevat (-, 0 of + staat voor: laag, middel, hoog):



Beschrijving	Capex €/Mm <sup>3</sup>	Opex €/Mm <sup>3</sup>	Totaal €/Mm <sup>3</sup>	Totaal €/ton	Eindproduct
Huidige situatie				+	pellets (zand)
Situatie met alleen inkoop van calcië				+	pellets
Optie 1b: malen van calcië per reactor				0	pellets
Optie 3: malen van calcië per zuivering alleen voor entmateriaal				+	pellets
Optie 6: malen van calcië per zuivering voor entmateriaal en andere producten				-	gesorteerde fracties
Optie 9: malen van calcië op zuivering regionaal voor entmateriaal en andere producten (huur, conform recente info RU)				-	gesorteerde fracties
Optie 12: centraal malen van calcië voor entmateriaal en andere producten (huur, conform recente info RU)				-	gesorteerde fracties
Optie 12a: centraal malen van calcië voor entmateriaal en andere producten (investeren conform W+B notitie, voor malen Calcië met zandkern; optie is dus duurder door zwaarder equipment)				-	gesorteerde fracties
Optie 12+3: lokaal malen voor entmateriaal, pellets centraal verwerken; dat is 90% van optie 12 (90% i.p.v. 100% kan worden verkocht door het lokaal malen).				-	gesorteerde fracties
<p><b>Let op:</b> de opties 1b en 3 zijn <b>niet</b> onderling vergelijkbaar met opties 9 en verder! De ramingsmethodiek is noodzakelijkerwijs afwijkend. Vooral geldt bovendien dat de aard van verkoopbare producten en daarmee ook de marktvisie totaal anders is. Ook de aanwezigheid van niet of slecht verkoopbare fracties (fijn, nat slib) verschilt. Optie 6 is een tussenvariant, zie onderstaande opmerkingen.</p>					

### Opmerkingen

- De nauwkeurigheid van de ramingen is ±30%.
- De huidige situatie betreft alleen kosten voor transport.

- In geval van inkoop van calcië worden, naast kosten voor calcië, ook kosten gemaakt voor transport en meerkosten t.g.v. (mogelijk) extra verbruik van chemicaliën.
- Van optie 12 (en 9) gaat uit van maximaal huren van bestaand equipment, optie 12a gaat uit van complete realisatie van een eigen installatie. Optie 12a (alleen ter referentie) is bovendien duurder doordat de prijsstelling gebaseerd is op het malen van calcië met een zandkern.
- De opties met nat malen (1b en 3) en droogmalen (9, 12, 12a) zijn op een andere wijze geraamd (zie paragraaf 3.1.). Optie 6 is qua methodiek een tussenvariant.
- Voor optie 6 geldt dat de jaarlijkse kosten (OPEX) geraamd zijn op basis van door de Reststoffenunie aangeleverde kosten voor grootschalige installaties zoals opties 9 en 12. De kapitaal kosten (CAPEX) zijn geraamd op basis van een kosten inschatting van de onderdelen van een “mini” fabriek.
- In een Witteveen+Bos studie is gebleken dat het opschalen van een installatie van 35.000 naar 70.000 nauwelijks schaalvoordelen oplevert: investeringen en operationele kosten nemen per ton nauwelijks af, transport neemt qua kosten zelfs wat toe.  
Tussen haakjes zijn als gevoeligheidsanalyse de kosten geraamd waarbij wel gerekend is met een “kunstmatig” schaalvoordeel. Dit schaalvoordeel komt erop neer dat een 2 keer zo grote installatie  $2^{0,68} = 1,6x$  zoveel kost. Dit “kunstmatige” schaalvoordeel is niet uit andere studies bevestigd, en slechts ter illustratie van de gevoeligheid voor een schaalvoordeel.
- Het is niet bevestigd (bron Luc Palmen) of het produceren van calcië inderdaad leidt tot meerkosten qua spoelwater en chemicaliën. Daarnaast is een flinke besparing mogelijk op inkoop van entzand, die van geval tot geval verschilt. De gehanteerde kosten/besparingen zijn mogelijk conservatief en gebaseerd op het gemiddelde van granaat- en rivierzand bij gebruik van kalkmelk. Mochten deze kosten wegvallen dan levert dit een kostenreductie van ca. € 4 per ton op. Deze kosten zijn ook substantieel afhankelijk van het gebruik van granaat- versus rivierzand of het toepassen van kalkmelk of natronloog (in totaal zijn vier varianten mogelijk, KWR heeft de varianten van granaat en rivierzand met toepassing van kalk aangeleverd). Op basis van de geconstateerde variatie tussen granaat en rivierzand in combinatie met kalk moet gedacht worden aan een kosten variatie van plus of min € 4 per ton.
- De benodigde hoeveelheid entzand en hoeveelheid geproduceerde kalk is van invloed op de kosten. De door KWR aangereikte voorbeelden verbruiken minder entzand dan het uitgangspunt van de TKI-bijeenkomst van 10%. De businesscase is uitgegaan van een conservatieve benadering en 10%. Ter illustratie: de besparing van het vorige punt kan ook omgeslagen worden naar geproduceerde  $Mm^3/j$  in plaats naar tonnen geproduceerd calcië, in dat geval valt de besparing wat gunstiger uit. Dit is het gevolg van de aanwezige verschillen in deze verhoudingen.
- Het wat hoge uitgangspunt van 10% van het geproduceerde calcië voor benodigde entmateriaal en de veel lagere entmateriaal behoefte in de aangeleverde casussen van KWR (op basis van ontharding met

kalk) leidt ook tot enige discrepanties in de omvang van de besparingen op ingekocht entmateriaal. De beperkte impact van deze discrepantie is zo ingeschat dat de besparing relatief laag uitvalt (maximaal enkele euro's per ton verkocht calcië). Bij finetuning van de spreadsheet op reële situaties kan deze discrepantie in uitgangspunten worden geëlimineerd.

- Voor transport is met een vrij grove benadering gerekend. Aangezien hier sprake is van substantiële kosten valt hier mogelijke ook substantieel te besparen.
- Op de combinatie van optie 3 + 12 zijn nog nadere varianten denkbaar. Bijvoorbeeld zou op enkele zuiveringen, conform het proces van optie 3: nat malen, al het vrijkomende calcië omgezet kunnen worden in entmateriaal dat vervolgens gedistribueerd wordt naar andere zuiveringen. De andere zuiveringen produceren pellets die centraal worden verwerkt. Deze variant bespaart op de kosten voor productie van entmateriaal (t.o.v. optie 12+3), maar introduceert wel weer de opslag, het transport van entmateriaal met bijhorende kosten en besmettingsrisico's.

### **Toelichting losse bijlage**

Als losse bijlage is een kostenspreadsheet bij deze notitie meegeleverd. De indeling hiervan is als volgt:

- Overzicht: de samenvatting van CAPEX en OPEX
- Uitgangspunten: de uitgangspunten die gebaseerd zijn op de ontvangen kostengegevens. De achterliggende bronnen hiervan zijn weergegeven in de tabbladen "granaat → calcië", "rivier → calcië", input\_RU en mails.
- De opties zijn uitgewerkt in de tabbladen 1b t/m 12a.
- De selectie van opties is gegeven op het tabblad "geselecteerde opties"
- Eenvoudig aan te passen waarden zijn in blauw gemarkeerd op de betreffende tabbladen.

### **3.4 Input qua besmettingsrisico**

De verschillende opties kennen een aantal kenmerkende verschillen die van invloed zullen zijn op het risico van besmetting van entmateriaal. Onderstaand worden deze gegeven:

- Optie 1b: het entmateriaal blijft in een gesloten systeem, dedicated voor een reactor.
- Optie 3 en optie 12+3: het entmateriaal blijft in een gesloten systeem, materiaal van reactoren wordt onderling uitgewisseld.
- Optie 6: het entmateriaal wordt geproduceerd door opgeslagen pellets afkomstig van de eigen zuivering te drogen en te malen.

Voor deze optie is overwogen om ook nat te malen om entmateriaal eenvoudig direct terug te kunnen voeren en de fracties voor de markt af te splitsen. Het grote nadeel is dan dat de geproduceerde fracties voor de markt veel natter zijn en de benodigde energie voor drogen onevenredig zou toenemen.

- Optie 9: het entmateriaal wordt geproduceerd door opgeslagen pellets afkomstig van de eigen zuivering en zuiveringen van andere drinkwaterbedrijven te drogen en te malen.
- Optie 12 en optie 12a: het entmateriaal wordt centraal geproduceerd door opgeslagen pellets afkomstig van alle participerende drinkwaterbedrijven te drogen en te malen in een dedicated systeem voor drinkwaterbedrijven.
- Optie 13: commerciële productie van entmateriaal door derden (niet uitgewerkt, reeds bekend bij de Reststoffenunie): het entmateriaal wordt centraal geproduceerd door opgeslagen pellets afkomstig van alle participerende drinkwaterbedrijven te drogen en te malen in een **niet** dedicated systeem voor drinkwaterbedrijven.  
Optie 13a is identiek met dat verschil dat wel een dedicated systeem wordt toegepast.

### 3.5 Voorlopige deelconclusies

Op basis van de twee (conform opdracht) uitgewerkte beoordelingscriteria: “kosten” en “technische haalbaarheid” zijn geen definitieve conclusies te trekken. Een marktvisie op basis van opbrengsten ontbreekt, evenals andere beoordelingscriteria. Deze zullen in een later stadium worden opgepakt (door KWR en/of Reststoffenunie).

Op dit moment worden de volgende voorlopige deelconclusies getrokken:

1. Op basis van kosten en technische haalbaarheid vallen geen van de opties definitief af.
2. De opties 1b en 3 maken gebruik van een interessante techniek om nat en onder water te malen in een systeem met een eenvoudige opzet. Dit spoor (op kleine schaal, nat malen) heeft nader onderzoek en is mede vanwege lage besmettingsrisico's aantrekkelijk. Op basis van de huidige beschikbare informatie wordt verwacht dat deze opties technisch haalbaar zijn.
3. Voordat definitieve conclusies getrokken kunnen worden omtrent de haalbaarheid van opties 1b en 3 zal eerst een maalproef onder representatieve omstandigheden moeten worden gehouden. Nadat zekerheid omtrent de haalbaarheid van het principe verkregen is wordt aanbevolen het systeem in een pilot verder te testen alvorens het breder uit te rollen.

### Bijlage 1: Selectie opties

In bijgevoegde spreadsheet zijn een groot aantal mogelijke opties geïdentificeerd en voorzien van relevante parameters. Het betreft de volgende parameters:

- **schaalgrootte:** per reactor, per zuivering, regionaal, nationaal
- **eindproduct:** of (natte) pellets in de markt gezet worden (fijne fracties gaan naar het riool) of dat pellets met uitgewassen fijne fracties worden afgezet of dat de installatie gemalen fracties produceert (nat/vochtig of gedroogd)
- **operator:** of het drinkwaterbedrijf (DWB), de reststoffenunie dan wel een ingehuurde partij (RU) of marktpartijen voor mineralen (markt) het materiaal verwerken
- **dedicated verwerking:** of de maalfaciliteit alleen voor drinkwaterbedrijven wordt gebruikt of ook voor andere producten
- **eigen materiaal:** of sprake is van materiaal van eigen drinkwaterbedrijven of dat materiaal ook van collega bedrijven afkomstig is
- **alleen entmateriaal:** of alleen entmateriaal geproduceerd wordt, of dat ook gemaal wordt om verschillende fracties te produceren voor afnemers
- **drogen:** of een droogstap noodzakelijk is, indien niet wordt uitgegaan van nat malen waarbij additioneel water is toegevoegd
- **transport weg:** of pellets per vrachtauto verplaatst moeten worden voor verwerking (transport van eindproduct is altijd noodzakelijk, waar het ook geproduceerd wordt)
- **pre-transport locatie:** of pellets lokaal verplaatst moeten worden voor verwerking (verder dan in en uit de reactor; impact op leidingwerk en randvoorzieningen).
- **post-transport locatie:** of gemalen fracties lokaal verplaatst moeten worden na verwerking (verder dan in en uit de reactor; impact op leidingwerk en randvoorzieningen).
- **wassen:** of de fijnste fracties weg gewassen worden, voor entmateriaal is een ongesorteerde maling verder voldoende, grote fracties worden vanzelf weer opnieuw gemalen; besloten moet worden of de fijne fracties ook weer verzameld moeten worden
- **sorteren:** of op deeltjesgrootte geselecteerd wordt door een zeef, cycloon of expansiekolom
- **opslag:** of opslag van gemalen fracties op het terrein noodzakelijk is

Onderstaand worden deze parameters per optie weergegeven.

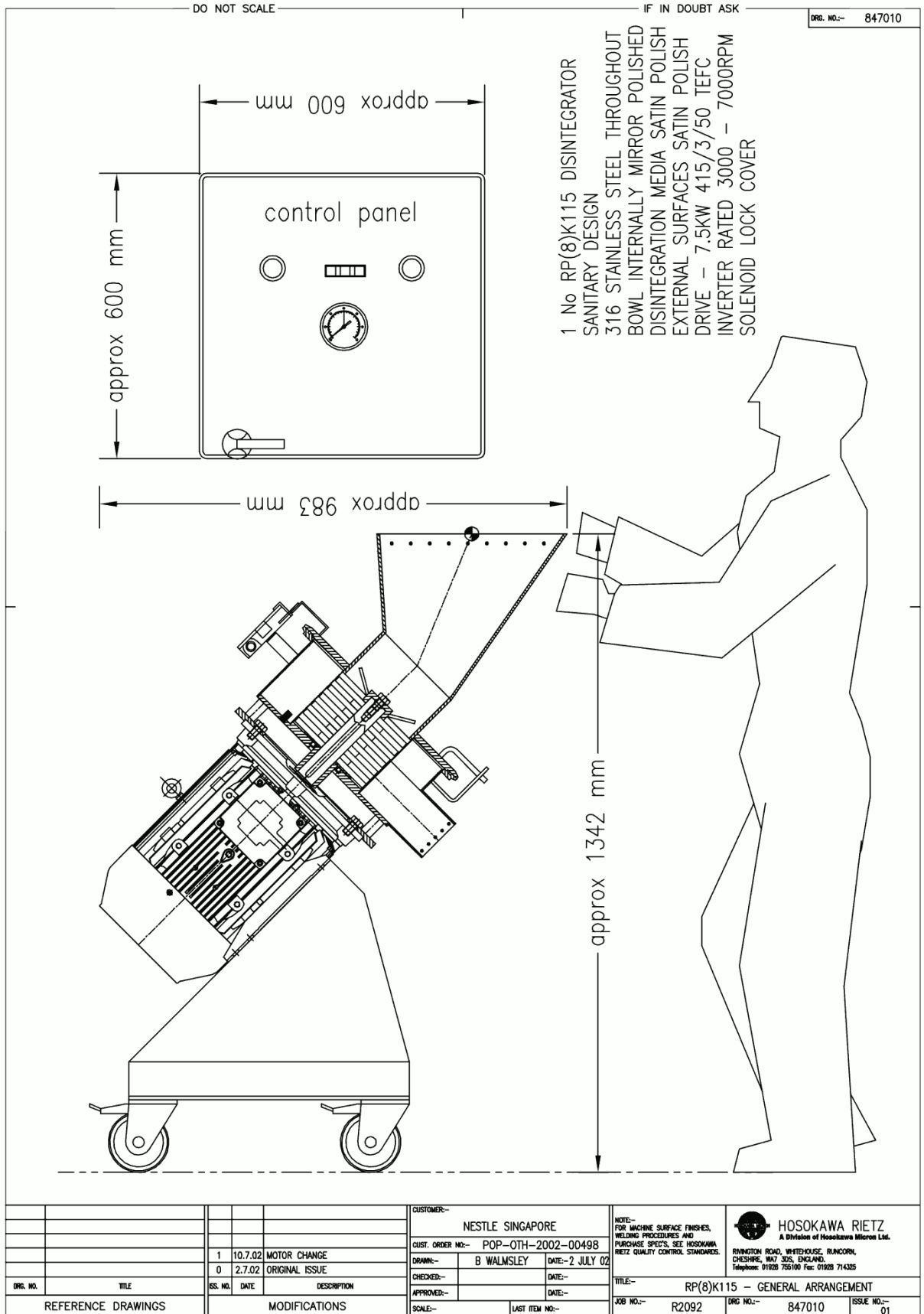
optie	schraagproef	eindproduct	operator	dedicated verwerking	eigen materiaal	alleen entmateriaal	drogen	transport weg	pre-transport locatie	post-transport locatie	vassen	sorteren	opslag	opmerkingen
1.	inline per reactor entmateriaal	pellets	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	nee	nee	zeer compact, klein systeem
1a.	inline per reactor ent, centrale wasser	pellets	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	nee	nee	zeer compact, klein systeem, bestaande wasser gebruiken, meer leidingwerk
1b.	inline per reactor ent, met onde maat	pellets, fijn	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	nee	nee	zeer compact, klein systeem, de fine fracties worden ook gebruikt (silvexid)
2.	inline per reactor SPEC	nat & fracties	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	compact, maar al meer voorzieningen
3.	lokaal eigen zuivering entmateriaal	pellets	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	alleen bedoeld voor product & van entmateriaal door één of twee reactoren, eenvoudiger concept
4.	lokaal eigen zuivering entmateriaal	zuivering	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	alleen bedoeld voor product & van entmateriaal per reactor, eenvoudiger concept
5.	lokaal eigen zuivering SPEC nat	zuivering	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	compact, maar al meer voorzieningen
6.	lokaal eigen zuivering SPEC droog	zuivering	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	alleen bedoeld voor product & van entmateriaal door één of twee reactoren, eenvoudiger concept
7.	lokaal algemeen entmateriaal	nat & fracties	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	lijkt duur op deze schaal door droging
8.	lokaal algemeen SPEC nat	pellets	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	alleen bedoeld voor product & van entmateriaal, eenvoudiger concept
9.	lokaal algemeen SPEC droog	droge fracties	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	wellicht, beter haalbaar qua schaal grootte
10.	centraal op zuivering entmateriaal	nat & fracties	DWB	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	alleen bedoeld voor nat & nat product & van entmateriaal, eenvoudiger concept
11.	centraal SPEC nat RU	pellets	RU	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	nat lijkt ontmings-eerst transport en dan weer water erbij
12.	centraal SPEC droog RU (huur)	droge fracties	RU	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	al het materiaal van betrokkenen wordt verwerkt.
12a.	centraal SPEC droog RU (investeren)	droge fracties	RU	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	al het materiaal van betrokkenen wordt verwerkt.
13.	centraal SPEC droog markt	droge fracties	markt	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	al het materiaal van betrokkenen wordt verwerkt.
13a.	centraal SPEC droog markt, dedicated	droge fracties	markt	ja	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	al het materiaal van betrokkenen wordt verwerkt, dunder i.v.m. dedicated
14.	ingekocht calciet	pellets	markt	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja	ja	ja	doen de drinkwaterbedrijven dit zelf?

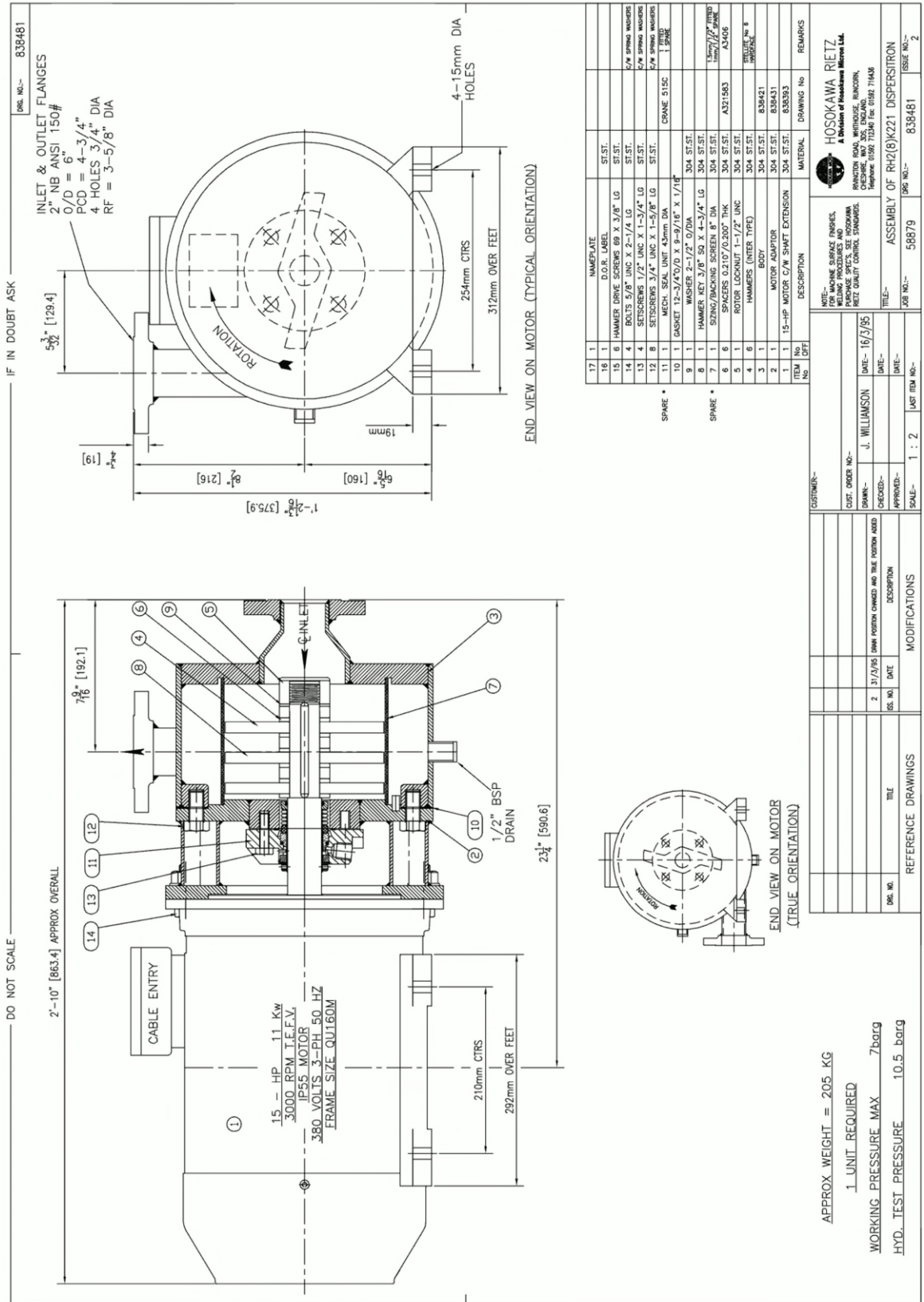
\* uitgevoerd door marktpartijen, dus niet uitgevoerd door RU of DWB (opslag van entmateriaal en lokaal transport van pellets is lokaal wel altijd nodig op een DWB en niet alleen rond centrale verwerking)

**toelichting selectie**

- geselecteerd: optie 1b, 3, 9 en 12 met optie 6 als reserve om af te leiden uit terugschaling van optie 9.
- optie 2, 5, 8 en 11: nat & fracties worden als praktisch niet bruikbaar geacht en vallen af
- optie 7 en 10: nat & entmateriaal (optie 7, 10) is ook lastig transporteerbaar en het is niet logisch op groter schaal entmateriaal te produceren, zonder dat ook fracties geproduceerd worden.
- optie 13 en 13a: alleen optie 12 wordt uitgewerkt: optie 12 en 13a zijn in beginsel gelijk qua benodigde investeringen, de operator en commercie is echter heel anders; optie 13 is goedkoper t.o.v. 13a omdat meer gemaal wordt
- optie 4: lijkt dunder dan optie 3, voorlopig niet uitgewerkt
- optie 1 en 1a: het ligt voor de hand ook de fine fracties hier te gebruiken; optie 1a is een variant op optie 1 en qua ontgrootte niet heel anders
- optie 14: is al bekend bij de RU en DWB.

**Bijlage 2: Voorgestelde apparatuur (Hosokawa)**  
t.b.v. Variant 1B

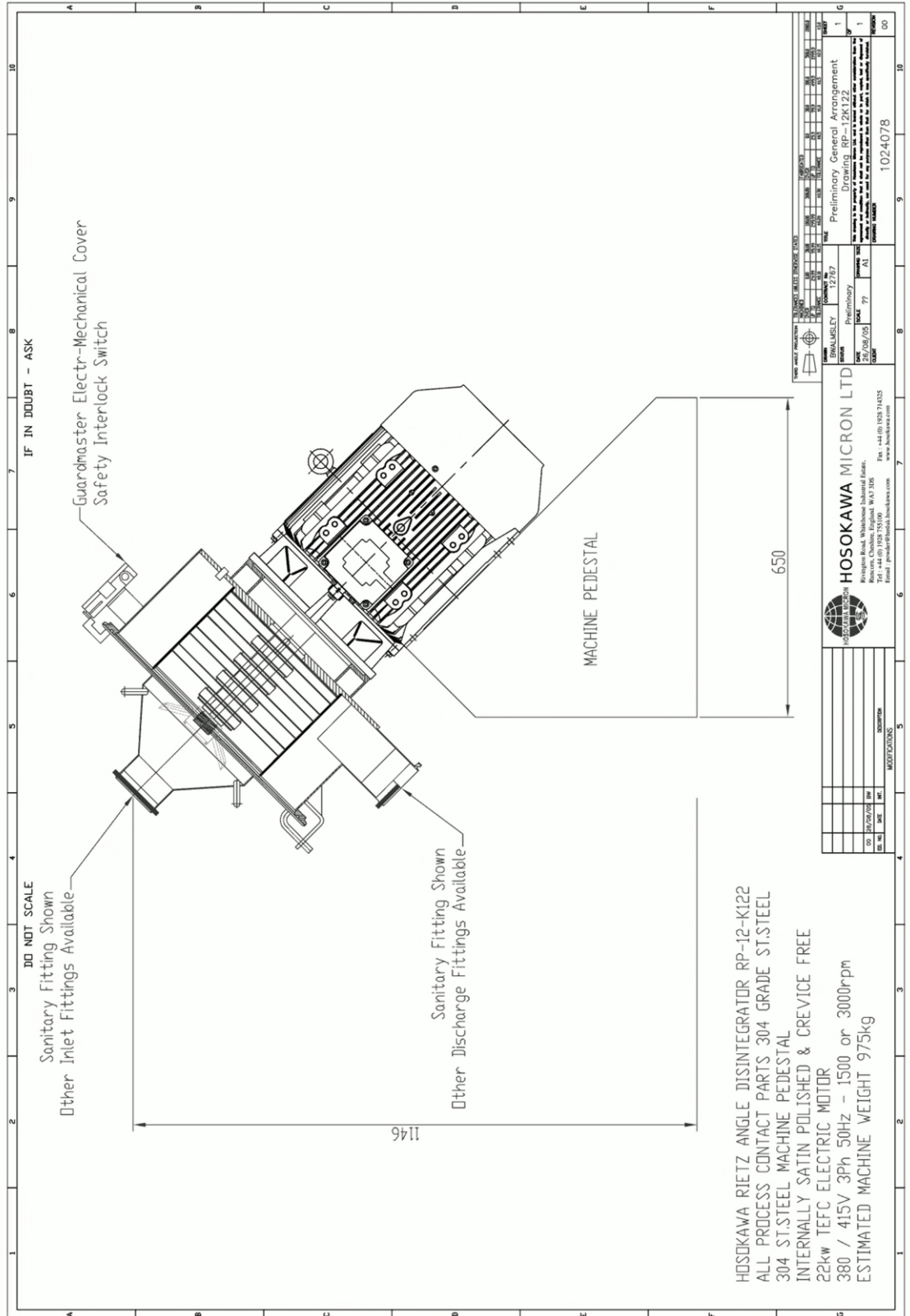




Tbv Variant 3

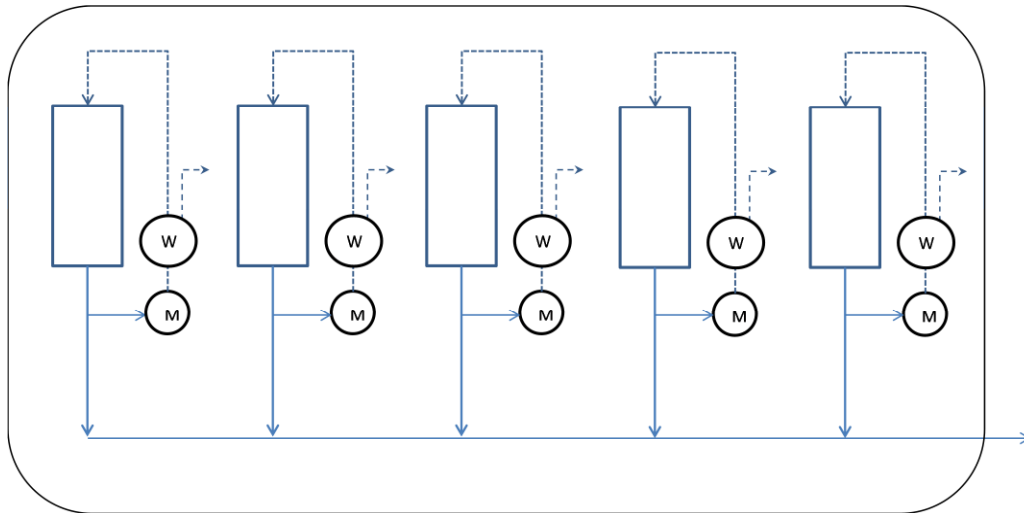


Tbv Variant 6 (nat of droog)



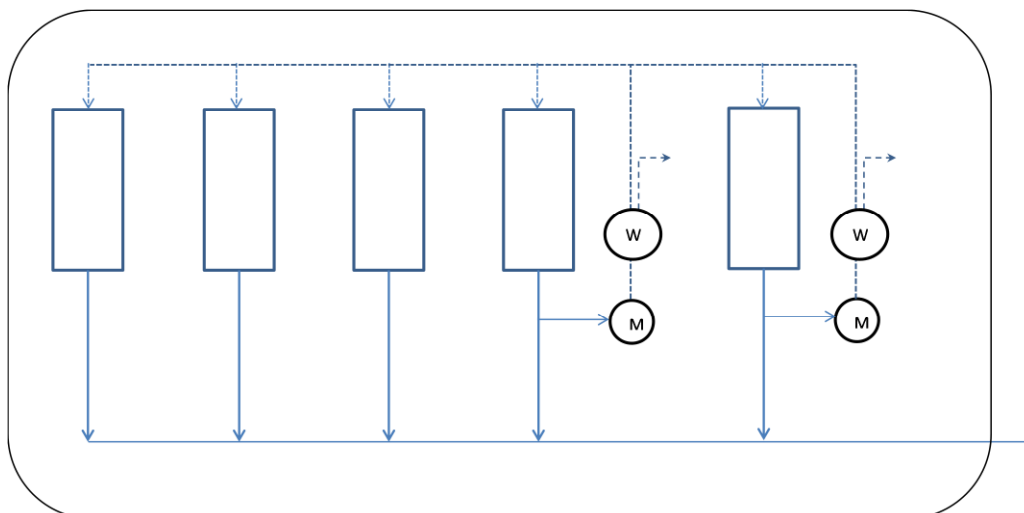
## Bijlage VI PFD's sub-varianten

Variante 1B(5W). Subvariant op Variante 1B(1W), met 1 meler en 1 wasser per reactor.



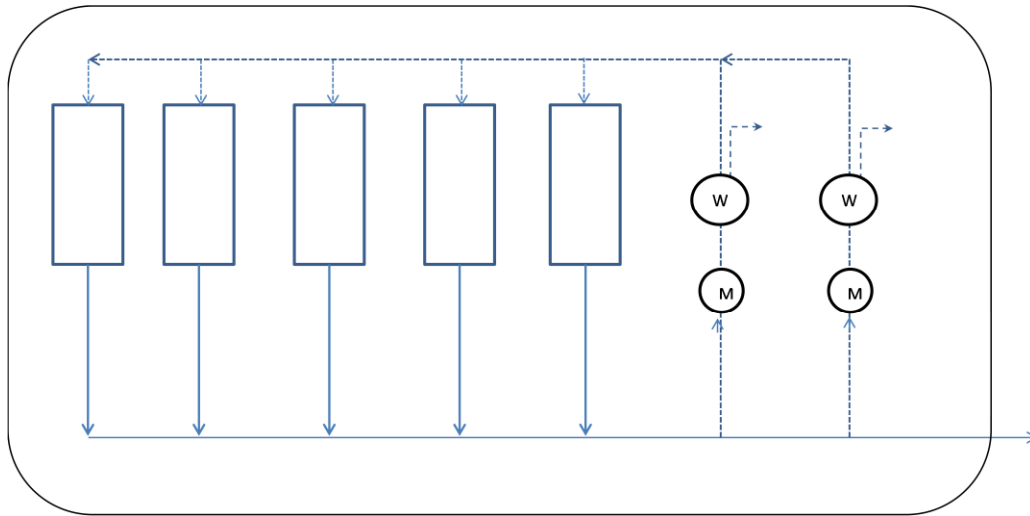
FIGUUR 29. PFD VARIANT 1B(5W) - 1 ONTHARDING, NAT MALEN OP REACTORNIVEAU, EIGEN ENT, 5 WASSERS.

Variante 3(2M, 2W, 2R). Subvariant op Variante 3, met een meler en een wasser op beide reactoren die het entmateriaal produceren.



FIGUUR 30. PFD VARIANT 3(2M, 2W, 2R) - 1 ONTHARDING, NAT MALEN CENTRAAL (2 REACTOREN, 2 MALERS EN 2 WASSERS).

Variante 3(2M, 2W, centraal). Subvariant op Variante 3, met een maler en een wasser op de centrale afvoer van kalkkorrels.



FIGUUR 31. PFD VARIANT 3(2M, 2W, CENTRAAL) - 1 ONTHARDING, NAT MALEN CENTRAAL (2 MALERS EN 2 WASSERS OP CENTRALE AFVOER KALKKORRELS).

## Bijlage VII Kostenberekening: referentie casus ontharding en overige algemene uitgangspunten

De algemene kosten berekening is gebaseerd op verschillende algemene uitgangspunten en een gemiddelde onthardingscasus, welke een gemiddelde is van een fictieve granaatzand case en een fictieve rivierzand case.

### Algemene uitgangspunten

- Afschrijvingstermijn: 10 jaar. Lineaire afschrijving.
- Energieprijs: 0,1 €/kWh
- Netto rente: 4,0 %
- Civiel onderhoud: 0,5% van investering.
- Werktuigbouwkundig onderhoud: 3% van investering.
- Transportkosten kalkkorrels: afhankelijk van bestemming.
- Vervanging slijtdelen maalmachine (hamers en zeven): 10% van aanschafwaarde.

### Uitgangspunten referentie casus ontharding

Deze achterliggende details zijn niet in de publieke rapportage weergegeven.

## Bijlage VIII Resultaten microbiologische kwaliteit calcië

Monster en omschrijving	G=Grondstof/ HP= half product/ P=product	Datum	Rapportage			
			<i>E.coli</i>	Entrococœn	SSRC	<i>Clostridium perfringens</i>
		monstername	kve/ 10 ml calcië		kve/ 10 ml calcië	
Waternet Bunker uit (1)	G (uitgaand)	17-6-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet Bunker uit (2)	G (uitgaand)	17-6-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet Bunker uit + fijn gemalen	G (uitgaand)	17-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet Bunker uit + fijngemalen + lage pH	G (uitgaand)	17-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet bunker uit	G (uitgaand)	17-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet bunker uit	G (uitgaand)	17-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet Bunker uit (20,50,80) nr1	G (uitgaand)	22-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Waternet Bunker uit (20,50,80) nr2	G (uitgaand)	22-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Pellet Weesperkaspel	G (uitgaand)	14-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1
Pellet Weesperkaspel	G (uitgaand)	14-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1
Weesperkaspel 100% calcië	G (uitgaand)	21-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1
Weesperkaspel 100% calcië	G (uitgaand)	21-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1

Microbiologische analyseresultaten grondstof, halffabrikaat en eindproduct Verwerkende partij I.

Monster en omschrijving	G=Grondstof/ HP= half product/ P=product	Datum	Rapportage			
			E.coli	Entrococceen	SSRC	Clostridium perfringens
<b>VERWERKENDE PARTIJ A (ZOMERPROEF)</b>						
in (1)	G (inkomend)	23-6-2014	< 1	< 1		
in (2)	G (inkomend)	23-6-2014	< 1	3		
Herhaling in (1)	G (inkomend)	23-6-2014			< 1	< 10
Herhaling in (2)	G (inkomend)	23-6-2014			2	< 10
After feedhopper	HP	23-6-2014	< 1	< 1	< 1	< 10
After feedhopper	HP	23-6-2014	< 1	< 1	< 1	159
After dryer / cooler	HP	23-6-2014	< 1	1	1	< 10
After dryer / cooler	HP	23-6-2014	< 1	1	< 1	< 9
After grinder / screening	HP (aanvankelijk bedoeld als P)	24-6-2014	< 1	< 1	< 1	< 8
After grinder / screening	HP (aanvankelijk bedoeld als P)	25-6-2014	< 1	< 1	< 1	55
Testing of feedhopper outgoing process: underneath the bigbag	N.V.T. - test feedhopper truck op verontreiniging	29-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
testing of loading into silo: sample taken underneath the tankertruck filler	N.V.T. - test loader truck op verontreiniging	29-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Incomming material	G (inkomend)	28-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
After Feedhopper F2.1	HP	28-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
After Feedhopper F2.2	HP	28-7-2014	< 1	< 1	1	< 1
After Feedhopper F2.3	HP		< 1	< 1	< 1	< 1
After Feedhopper F2.4	HP	29-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
After Drier and Cooler D/C2,2	HP	28-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
After Drier and Cooler D/C2,3	HP		< 1	< 1	< 1	< 1
After Drier and Cooler D/C2,4	HP	29-7-2014	< 1	< 1	< 1	< 1
Inside Bigbag	HP	28-7-2014				< 1#
After Screen (verzamelmonster)	HP		< 1	< 1	< 1	< 1
second drier process (verzamelmonster)	P		< 1	< 1	< 1	< 1
After Grinder Batch 1 (verzamelmonster)	HP		< 1	< 1	< 1	< 1
After Grinder batch 2 (verzamelmonster)	HP		< 1	< 1	1	< 1
Material from first batch, before disinfection (verzamelmonster)	HP		< 1	< 1	< 1	< 1
Outgoing product (OT 1.1 t/m 1.8)	P	24-9-2014	< 1	< 1	1	1
Outgoing product (OT 1.1 t/m 1.8)	P	24-9-2014	< 1	< 1	2	< 1
before 2ND dry (ZWO dry 1 t/m 9)	HP	24-9-2014	< 1	< 1	2	< 1
before 2ND dry (ZWO dry 10 t/m 18)	HP	24-9-2014	< 1	< 1	< 1	< 1

Ingangscontrole microbiologie bij Weesperkarspel, door HWL. Calcië van Verwerkende partij I, dd oktober 2014.

01-10-2014	Bacteriën van de coligroep (37 °C, onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	819280	9	COLI-EM
01-10-2014	Enterococceen (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	819280	9	ENT-EM
01-10-2014	Sporen van sulfiet-reducerende clostridia	kvd/g	0	<0.05	819280	9	CLOS-EM
01-10-2014	Clostridium perfringens (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	819280	9	CPERF-EM

Microbiologische analyseresultaten grondstof, halffabrikaat en eindproduct Verwerkende partij II.

Monster en omschrijving	G=Grondstof/ HP= half product/ P=product	Datum	Rapportage				Aeromonas	KG 25C
			E.coli	Enterococce	SSRC	Clostridium perfringens		
<b>VERWERKENDE PARTIJ B (WINTERPROEF 1)</b>								
Inkomend 1 (S1. 1t/m3)	G (inkomend)	26-1-2015	< 1	< 1	1	< 1		
Na cycloon (na drogen/malen) 1 (C1. 1t/m3)	HP	26-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Tanker, eindproduct 1 (T1. 1t/m3)	P	26-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Inkomend 2 (S2. 1t/m3)	G (inkomend)	26-1-2015	< 1	1	1	< 1		
Na cycloon (na drogen/malen) 2 (C2. 1t/m3)	HP	26-1-2015	< 1	< 1	1	< 1		
Tanker, eindproduct 2 (T2. 1t/m3)	P	26-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Inkomend 3 (S3. 1t/m3)	G (inkomend)	26-1-2015	< 1	4	3	< 1		
Na cycloon (na drogen/malen) 3 (C3. 1t/m3)	HP	26-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Tanker, eindproduct 3 (T3. 1t/m3)	P	26-1-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Inkomend 4 (S4. 1t/m3)	G (inkomend)	26-1-2015	< 1	2	2	< 1		
Na cycloon (na drogen/malen) 4 (C4. 1t/m3)	HP	26-1-2015	< 1	< 1	1	< 1		
Tanker, eindproduct 4 (T4. 1t/m3)	P	26-1-2015	< 1	< 1	2	< 1		
Mengmonster inkomend (S1. 1t/m3 + S2. 1t/m3 + S3. 1t/m3 + S4. 1t/m3)	G (inkomend)	26-1-2015					< 1	2,0E+06
Mengmonster eindproduct (T1. 1t/m3 + T2. 1t/m3 + T3. 1t/m3 + T4. 1t/m3)	P	26-1-2015					< 1	< 6,6E+01

Ingangscontrole microbiologie bij Weesperkarspel, door HWL. Calcië van Verwerkende partij II, dd februari 2015.

11-02-2015	Bacteriën van de coligroep (37	kvd/g	0	<0.05	846399	9	COLI-EM
11-02-2015	Enterococce (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	846399	9	ENT-EM
11-02-2015	Sporen van sulfiet-reducerende	kvd/g	0,151	0,15	846399	9	CLOS-EM
11-02-2015	Clostridium perfringens (onbeve	kvd/g	0	<0.05	846399	9	CPERF-EM

Microbiologische analyseresultaten grondstof, halffabrikaat en eindproduct Verwerkende partij III.

Monster en omschrijving	G=Grondstof/ HP= half product/ P=product	Datum	Rapportage				Aeromonas	KG 25C
			E.coli	Enterococci	SSRC	Clostridium perfringens		
<b>VERWERKENDE PARTIJ C (WINTERPROEF 2)</b>								
Uitgaande kalkkorrels OPB IJzeren Kuilen (DL-41-JY OPB IJK laden 1+2+3)	G (uitgaand)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Uitgaande kalkkorrels OPB IJzeren Kuilen (04-18-JK OPB IJK laden2 1+2+3)	G (uitgaand)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Uitgaande kalkkorrels OPB IJzeren Kuilen (OL-40-JY OPB IJK laden1 1+2+3)	G (uitgaand)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Uitgaande kalkkorrels OPB IJzeren Kuilen (OH-93-JY OPB IJK laden1)	G (uitgaand)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Uitgaande kalkkorrels OPB IJzeren Kuilen (OPB IJK laden1 1+2+3)	G (uitgaand)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Inkomende grondstof (nat1 1+2+3+4 A)	G (inkomend)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,7E+05
Inkomende grondstof (nat1 1+2+3+4 B)	G (inkomend)	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	2,2E+05
Na drogen (droog 1+2+3+4 A)	HP	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Na drogen (droog 1+2+3+4 B)	HP	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1		
Eindsproduct (prod. 1+2+3+4)	P	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	6,7E+01
Eindsproduct (prod. 1+2+3+4)	P	mrt-2015	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	6,7E+01

Ingangscontrole microbiologie bij Weesperkarspel, door HWL. Calcië van Verwerkende partij III, dd 11 en 12 maart 2015.

Datum	Component	Eenheid	Waarde	Resultaat	Monsternr	Compgr	Analyse
11-03-2015	Bacteriën van de coligroep (37 °C, onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	851878	9	COLI-EM
11-03-2015	Enterococci (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	851878	9	ENT-EM
11-03-2015	Sporen van sulfiet-reducerende clostridia	kvd/g	0	<0.05	851878	9	CLOS-EM
11-03-2015	Clostridium perfringens (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.05	851878	9	CPERF-EM
12-03-2015	Bacteriën van de coligroep (37 °C, onbevestigd)	kvd/g	0	<0.06	851967	9	COLI-EM
12-03-2015	Enterococci (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.06	851967	9	ENT-EM
12-03-2015	Sporen van sulfiet-reducerende clostridia	kvd/g	0	<0.06	851967	9	CLOS-EM
12-03-2015	Clostridium perfringens (onbevestigd)	kvd/g	0	<0.06	851967	9	CPERF-EM



## Bijlage IX Resultaten chemische kwaliteit calcië

Normen volgens Regeling Materialen & Chemicaliën voor calcië als conditioneringsmiddel. Bij gebrek aan normen voor calcië als entmateriaal is de kwaliteit van calcië aan deze normen uit de Regeling getoetst. Zie ook paragraaf 2.4.3.

Parameternaam [mg/kg d.s.]	NORM
aluminium	
antimoon	3 mg/kg
arseen	3 mg/kg
cadmium	2 mg/kg
calcium	min 98% (als CaCO <sub>3</sub> )
chrom	10 mg/kg
ijzer	
lood	10 mg/kg
magnesium	
mangaan	
nikkel	10 mg/kg
seleen	5 mg/kg
silicium	
kwik	0,5 mg/kg
Residu na destructie [g]	

## Zomerproef, Verwerkende partij I.

MonsterNummer	C-14 2390	C-14 2391	C-14 2392	C-14 2393
monsterpunt	WPK-UIT	WPK-UIT	WPK-UIT	WPK-UIT
datum	14-4-2014	15-5-2014	30-5-2014	17-6-2014
monsteromschrijving	14/4-'14 Weesperkapsel (plastic emmer)	15/5-'14 PS Weesp (plastic emmer)	30/5'14 Weesp (plastic emmer)	Waternet 17- 06-2014 1 Bunker Uit Kalkkorrels mengmonster (± 20/40/80) (plastic emmer)
Parameternaam [mg/kg d.s.]				
aluminium	39	99	37	23
antimoon	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
arseen	0.049	0.075	0.166	0.069
cadmium	0.005	0.002	0.007	0.005
calcium	367330	353215	370835	378955
chrom	0.15	0.29	0.20	0.11
ijzer	110	250	92	73
lood	0.138	0.057	0.091	0.089
magnesium	2510	1025	2350	2165
mangaan	5.4	8.5	10	55
nikkel	0.34	0.55	0.48	0.62
seleen	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
silicium	170	290	195	140
kwik	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Residu na destructie [g]	0.0526	0.2010	0.0692	0.0518

## Zomerproef, Verwerkende partij I.

MonsterNummer	C-14 2397	C-14 2398	C-14 2399	C-14 2400
monsterpunt	WPK-UIT	WPK-UIT	WPK-UIT	WPK-UIT
datum	4-7-2014	22-7-2014	22-7-2014	30-7-2014
monsteromschrijving	4/7-'14 Weesp (plastic emmer)	Waternet 22-07-2014 Bunker Kalkkorrels Uit Code 2 (20, 50, 80) 13:00 uur (glazen fles)	Waternet 22-07-2014 Bunker Uit Kalkkorrels mengmonst er 20/50/80 (plastic emmer)	30/7'14 Weesp (plastic emmer)
Parameternaam [mg/kg d.s.]				
aluminium	22	58	79	44
antimoon	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
arsen	0.078	0.078	0.092	0.072
cadmium	0.005	0.005	0.005	0.004
calcium	364610	356320	345370	350310
chrom	0.10	0.18	0.22	0.21
ijzer	63	155	190	72
lood	0.069	0.166	0.147	0.067
magnesium	2345	2390	2140	2160
mangaan	11	13	16	9.2
nikkel	0.48	0.42	0.42	0.46
seleen	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
silicium	165	195	235	160
kwik	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Residu na destructie [g]	0.1058	0.1068	0.1108	0.0572

## Zomerproef, Verwerkende partij I.

MonsterNummer	C-14 2395	C-14 2396	C-14 2401	C-14 2402
monsterpunt	IN	IN	IN	IN
datum	23-6-2014	23-6-2014	28-7-2014	28-7-2014
monsteromschrijving	Verwerkende partij I. 23-06-2014 1 Big-Bags-In Kalkkorrels mengmonsters 16 Big-Bags (plastic pot)	Verwerkende partij I. 23-06-2014 2 Big-Bags-In Kalkkorrels mengmonster 16 Big Bags (plastic pot)	Mengmonster Waternet Inkomend . 28-07-2014 BB1+3+5+7 +9 (plastic pot)	Mengmonster Waternet Inkomend . 28-07-2014 BB14+15+17+19+21+23 (6 x partij I) (plastic pot)
Parameternaam [mg/kg d.s.]				
aluminium	32	27	51	38
antimoon	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
arseen	0.066	0.061	0.065	0.061
cadmium	0.005	0.005	0.005	0.004
calcium	379160	375825	341200	350625
chroom	0.13	0.15	0.14	0.14
ijzer	87	84	125	105
lood	0.080	0.072	0.107	0.106
magnesium	1940	1895	2255	2200
mangaan	53	57	12	11
nikkel	0.59	0.61	0.40	0.43
seleen	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
silicium	180	170	200	170
kwik	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Residu na destructie [g]	0.0566	0.0927	0.1095	0.1066

## Zomerproef, Verwerkende partij I.

MonsterNummer	C-14 2403	C-14 2404	C-14 2405	C-14 2406
monsterpunt	UIT	UIT	UIT	UIT
datum	25-9-2014	25-9-2014	25-9-2014	25-9-2014
monsteromschrijving	Verwerkende partij I 25-9-2014 Nr. 2.1 Uitgaand Calciet (plastic zak) + HWL	Verwerkende partij I 25-9-2014 Nr. 2.2 Uitgaand Calciet (plastic zak) + HWL	Verwerkende partij I 25-9-2014 Nr. 2.3 Uitgaand Calciet (plastic zak) + HWL	Verwerkende partij I 25-9-2014 Nr. 2.4 Uitgaand Calciet (plastic zak) + HWL
Parameternaam [mg/kg d.s.]				
aluminium	34	54	49	29
antimoon	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
arseen	0.087	0.068	0.070	0.067
cadmium	0.005	0.005	0.005	0.004
calcium	361540	343480	352510	350930
chrom	0.14	0.18	0.16	0.13
ijzer	97	135	125	87
lood	0.096	0.102	0.123	0.091
magnesium	2210	2210	2315	2230
mangaan	15	20	15	13
nikkel	0.45	0.43	0.43	0.44
seleen	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
silicium	160	225	230	195
kwik	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Residu na destructie [g]	0.0835	0.1021	0.0776	0.1093

Ingangscontrole Weesperkarspel, door HWL. Calciet van Verwerkende partij I (zomerproef), oktober 2014.

01-10-2014	Calcium	mg/kg Ca	350000	819280	2	CA-EM
01-10-2014	Magnesium	mg/kg Mg	2000	819280	3	MG-EM
01-10-2014	Ijzer	mg/kg Fe	110	819280	3	FE-EM
01-10-2014	Mangaan	mg/kg Mn	32	819280	3	MN-EM
01-10-2014	Aluminium	mg/kg Al	28	819280	3	AL-EM
01-10-2014	Antimoon	mg/kg Sb	<4.6	819280	3	SB-EM
01-10-2014	Arseen	mg/kg As	<3.7	819280	3	AS-EM
01-10-2014	Cadmium	mg/kg Cd	<0.7	819280	3	CD-EM
01-10-2014	Kwik	mg/kg Hg	<0.091	819280	3	HG-EM
01-10-2014	Chroom	mg/kg Cr	<6	819280	3	CR-EM
01-10-2014	Lood	mg/kg Pb	<19	819280	3	PB-EM
01-10-2014	Nikkel	mg/kg Ni	<5	819280	3	NI-EM
01-10-2014	Seleen	mg/kg Se	<10	819280	3	SE-EM
01-10-2014	Silicium	mg/kg Si	56	819280	3	SI-EM

Winterproef, Verwerkende partij II.

Parameters, incl extra elementen [mg/kg d.s.]	Vrachtwagen Weesperkapel 100% calcië 21-01-2015 (extra elementen)
aluminium	7
antimoon	< 0,01
arseen	0.06
barium (extra)	205
cadmium	< 0,01
calcium	439760
chroom	0.14
ijzer	26
kalium (extra)	30
lood	0.02
magnesium	1620
mangaan	2.1
natrium (extra)	620
nikkel	0.24
seleen	< 0,20
silicium	23
kwik - totaal	0.0044
droogrest [%]	95,7 (95,73)
residu na destructie [g]	< 0,1 (0,0728)

Winterproef, Verwerkende partij II.

Monsteromschrijving	Mengmonster PELLETS WPK 1+2+3 24-12-2014	Plastic zak calciëkorrels 14-1+15	C1C 11.08 26- 01-2015	C3C 15:34 26- 01-2015
Parameters [mg/kg d.s.]				
aluminium	6.2	5.3	7.4	7.4
antimoon	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0.01
arseen	0.08	0.06	0.1	0.07
cadmium	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
calcium	431075	432605	447005	430185
chrom	0.13	0.13	0.14	0.17
ijzer	42	28	39	31
lood	0.05	0.01	0.02	0.05
magnesium	2155	1670	1475	1560
mangaan	3.4	1.7	1.9	1.9
nikkel	0.22	0.24	0.22	0.46
seleen	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
silicium	24	24	30	26
kwik	0.0044	0.004	0.0064	0.0062
droogrest [%]	96,6 (96,62)	99,2 (99,22)	99,7 (99,72)	99,7 (99,72)
residu na destructie [g]	< 0,1 (0,0958)	< 0,1 (0,0719)	< 0,1 (0,1049)	< 0,1 (0,0927)

Winterproef, Verwerkende partij II.

Monsteromschrijving	DG1 11:57 26-01-2015	DG3 16:34 26-01-2015	S1C 11:06 26-01-2015	S3C 15:32 26-01-2015
<b>Parameters [mg/kg d.s.]</b>				
aluminium	3.3	2.6	8	7.8
antimoon	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
arseen	0.07	0.06	0.07	0.07
cadmium	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
calcium	429015	448165	434280	431730
chroom	0.14	0.13	0.14	0.13
ijzer	19	18	34	19
lood	0.03	0.03	0.06	0.07
magnesium	1215	1290	1665	1260
mangaan	1.4	1.4	2	2
nikkel	0.46	0.44	0.48	0.51
seleen	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
silicium	23	27	32	24
kwik	0.0028	0.0036	0.0022	0.0034
droogrest [%]	99,7 (99,67)	99,7 (99,70)	96,8 (96,77)	98,0 (97,98)
residu na destructie [g]	< 0,1 (0,0582)	< 0,1 (0,0889)	< 0,1 (0,0661)	< 0,1 (0,0926)



Winterproef, Verwerkende partij II.

Monsteromschrijving	T1C 11:11 26-01-2015	T2C 13:07 26-01-2015	T3C 15:37 26-01-2015
<b>Parameters [mg/kg d.s.]</b>			
aluminium	3.1	5.8	6.5
antimoon	< 0,01	< 0,01	0.01
arseen	0.08	0.08	0.07
cadmium	< 0,01	< 0,01	< 0,01
calcium	434865	421150	439580
chrom	0.12	0.15	0.11
ijzer	33	18	19
lood	0.03	0.03	0.03
magnesium	1595	1330	1305
mangaan	1.4	1.4	1.4
nikkel	0.51	0.46	0.49
seleen	< 0,20	< 0,20	< 0,20
silicium	29	27	25
kwik	0.0018	0.0036	0.0022
droogrest [%]	99,7 (99,67)	99,7 (99,69)	99,7 (99,69)
residu na destructie [g]	0.1162	< 0,1 (0,0660)	0.1009

Ingangscontrole Weesperkarspel, door HWL. Calcië van Verwerkende partij II (winterproef), februari 2015.

11-02-2015	Calcium	mg/kg Ca	400000	846399	2	CA-EM
11-02-2015	Magnesium	mg/kg Mg	1400	846399	3	MG-EM
11-02-2015	Ijzer	mg/kg Fe	<38.0	846399	3	FE-EM
11-02-2015	Mangaan	mg/kg Mn	<4.0	846399	3	MN-EM
11-02-2015	Aluminium	mg/kg Al	<8.0	846399	3	AL-EM
11-02-2015	Antimoon	mg/kg Sb	<3.8	846399	3	SB-EM
11-02-2015	Arseen	mg/kg As	<3.0	846399	3	AS-EM
11-02-2015	Cadmium	mg/kg Cd	<0.6	846399	3	CD-EM
11-02-2015	Kwik	mg/kg Hg	<0.075	846399	3	HG-EM
11-02-2015	Chroom	mg/kg Cr	<5	846399	3	CR-EM
11-02-2015	Lood	mg/kg Pb	<15	846399	3	PB-EM
11-02-2015	Nikkel	mg/kg Ni	<4	846399	3	NI-EM
11-02-2015	Silicium	mg/kg Si	24	846399	3	SI-EM
11-02-2015	Seleen	mg/kg Se	<8	846399	3	SE-EM

Winterproef, Verwerkende partij III.

Monsteromschrijving	Voor drogen 26-02-2015 (1)	Voor drogen 26-02-2015 (duplo meting)	Product 26-02-2015 (1)	Product 26-02-2015 (duplo meting)	Na drogen 26-02-2015 (1)
Parameter [mg/kg d.s.]					
aluminium	30	18	9.1	10	18
antimoon	0.01	< 0,01	0.01	< 0,01	< 0,01
arseen	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23
cadmium	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
calcium	463210	436650	450900	438680	451935
chroom	0.09	0.08	0.05	0.06	0.07
ijzer	50	42	28	28	45
lood	0.14	0.09	0.08	0.08	0.13
magnesium	1790	1720	1490	1525	1805
mangaan	16	13	12	12	12
nikkel	0.86	0.76	0.67	0.78	0.91
seleen	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
silicium	150	150	165	155	115
kwik	0.0018	0.0026	0.0014	0.0014	0.003
droogrest [%]	97,7 (97,73)	97,4 (97,42)	100 (99,97)	100 (99,97)	99,9 (99,92)
residu na destructie [g]	< 0,1 (0,0638)	< 0,1 (0,0485)	< 0,1 (0,0739)	< 0,1 (0,0817)	< 0,1 (0,0583)

Winterproef, Verwerkende partij III.

Monsterschrijving	Verwerkende partij III. Na drogen 26-02-2015 (duplo meting)	1: Laden IJzeren Kuilen 25-02-2015	2: Laden IJzeren Kuilen 25-02-2015	4: Laden IJzeren Kuilen 25-02-2015	Verwerkende partij III. Na drogen 26-02-2015 (duplo meting)
Parameter [mg/kg d.s.]					
aluminium	11	11	15	15	11
antimoon	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
arseen	0.22	0.23	0.22	0.23	0.22
cadmium	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04
calcium	422030	429550	441000	464140	422030
chrom	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06
ijzer	32	34	37	38	32
lood	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09
magnesium	1655	1655	1830	1890	1655
mangaan	12	12	12	12	12
nikkel	0.71	0.67	0.71	0.65	0.71
seleen	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
silicium	125	120	125	155	125
kwik	0.0038	0.003	0.0034	0.0036	0.0038
droogrest [%]	99,9 (99,93)	97,7 (97,70)	97,5 (97,52)	97,6 (97,57)	99,9 (99,93)
residu na destructie [g]	< 0,1 (0,086)	0.1246	< 0,1 (0,0873)	< 0,1 (0,0838)	< 0,1 (0,086)

Winterproef, Verwerkende partij III.

Parameters, incl extra elementen [mg/kg d.s.]	3: Laden IJzeren Kuilen 25-02-2015 (extra elementen)
aluminium	9.5
antimoon	< 0,01
arseen	0.22
barium (extra)	57
cadmium	0.03
calcium	423980
chroom	0.06
ijzer	33
kalium (extra)	< 20
lood	0.08
magnesium	1690
mangaan	12
natrium (extra)	220
nikkel	0.63
seleen	< 0,20
silicium	130
kwik	0.0026
droogrest [%]	97,8 (97,76)
residu na destructie [g]	0.1199

Ingangscontrole Weesperkarspel, door HWL. Calciëet van Verwerkende partij III (winterproef), maart 2015.

11-03-2015	Calcium	mg/kg Ca	200000	851878	2	CA-EM
11-03-2015	Magnesium	mg/kg Mg	2000	851878	3	MG-EM
11-03-2015	Ijzer	mg/kg Fe	<21.0	851878	3	FE-EM
11-03-2015	Mangaan	mg/kg Mn	10	851878	3	MN-EM
11-03-2015	Aluminium	mg/kg Al	7	851878	3	AL-EM
11-03-2015	Antimoon	mg/kg Sb	<2.1	851878	3	SB-EM
11-03-2015	Arseen	mg/kg As	<1.7	851878	3	AS-EM
11-03-2015	Cadmium	mg/kg Cd	<0.3	851878	3	CD-EM
11-03-2015	Chroom	mg/kg Cr	<3	851878	3	CR-EM
11-03-2015	Kwik	mg/kg Hg	<0.050	851878	3	HG-EM
11-03-2015	Lood	mg/kg Pb	<9	851878	3	PB-EM
11-03-2015	Nikkel	mg/kg Ni	<3	851878	3	NI-EM
11-03-2015	Silicium	mg/kg Si	140	851878	3	SI-EM
11-03-2015	Seleen	mg/kg Se	<5	851878	3	SE-EM

# Bijlage X Bedrijfsbezoeken

## Verwerkende Partij I

### Bezoek 1

Memo: naar aanleiding van bezoek aan Verwerkende partij I door Joey Elings t.b.v. monsternamen tijdens processing kalkkorrels, van 23 – 25 juni 2014.

Betreft: verslaglegging monsternamen en observaties mbt monsternamen in praktijk.

Van: Joey Elings, Reststoffenunie, 2-juli-2014.

Verslag bezoek dd 23-6-2014 t/m 25-6-2014

Op dinsdag 17 juni is de eerste vracht calcië opgehaald door BEDRIJF X en grind bij pompstation Weesperkarspel van Waternet. Echter bleek er bij Waternet nog geen 33 ton aanwezig, er was namelijk maar 28 ton aanwezig. Daarnaast bevatte deze nog kalkkorrels (zandkern, *Afbeelding 1 en 2*). Toch is deze vracht verstuurd naar X na overleg met Waternet. Daar is deze vracht overgeheveld in bigbags en vrijdag 20 juni afgeleverd bij Verwerkende partij I. Verwerkende partij I heeft deze bigbags voor het weekend opgeslagen in een bijgebouw. De bigbags hebben hier afgesloten en twee hoog gestapeld gestaan.

Maandag 23 juni om 11 uur is Verwerkende partij I begonnen met het drogen van het materiaal, op dit moment zijn ook de samples genomen, telkens als een Bigbag werd opgepakt om naar de naast gelegen feedhopper te brengen werd voordat deze werd geleegd een monster genomen. Deze feedhopper is voor gebruik schoon gespoten. De monsters zijn van de eerste 16e bigbags die geladen werden genomen en genummerd met nummer 1 t/m 16. Deze zijn monsters verspreid over de dag genomen, door medewerker Verwerkende partij I, met een handschoen en steriel potje. Aan het eind van de dag was men klaar met het drogen van het calcië. Op maandag zijn door mij (Joey Elings) vier monster genomen. In Tabel 1 is een overzicht weergegeven met de door mij genomen monsters, deze tabel bevat positie, tijd en nummer van het potje. De monsters 1 t/m 16 genomen door Verwerkende partij I zijn maandag middag opgehaald bij Verwerkende partij I en dinsdag morgen aangekomen bij KWR.

Het eerste deel van dinsdag 24 juni is gebruikt om de big bags af te laten koelen. Aangezien deze aan het eind van dinsdag nog 105 °C waren (temperatuur van de kern). Deze bigbags stonden in de fabriekshal opgeslagen bij de feedhopper met een open bovenkant, om zo het calcië sneller af te laten koelen. Na de lunch is Verwerkende partij I begonnen met het malen van de eerste bigbags. Tijdens het malen van de eerste tonnen ontstond een probleem: de walsen zette uit en de machine stil moest worden gezet om af te koelen. Op dinsdag is tevens een monster genomen.

Woensdag 25 juni, is Verwerkende partij I verder gegaan met malen. De machine is toen 's morgens anders in gesteld en er bleken minder problemen met opwarming en uitzetten van de walsen. Toen ik om 17:00 uur vertrok waren de eerste bigbags vermalen en leverde dit het volgende resultaat op: 3,5 bigbags oversize (>0,6 mm), 0,5 bigbag product (0,4 - 0,6 mm) en 1/3 bigbag undersize (<0,4mm). Op woensdag is het tweede monster van het maal en zeef proces genomen. De monsters genomen door mij zijn woensdag middag opgehaald bij Verwerkende partij I.

Schatting Joey m.b.t. het materiaal dat bemonsterd is: materiaal van 4 big-bags van 28 zijn bemonsterd. Dit waren de big-bags die tijdens koelen vooraan stonden, en dus de big-bags die als laatst uit de cooler zijn gekomen.

Het viel mij op dat de medewerkers soms met hun hand het materiaal opvangen om te kijken hoe het eruit ziet en daarna het teruggooien in de bigbag. Er is mij beloofd dat dit niet meer zal gebeuren.



Afbeelding 1: lichtbruin materiaal



Afbeelding 2: donkerbruin materiaal

Tabel 1: tijdstippen monsternamen -->

After feedhopper:		
1j.	Maandag 23/06/2014	15:10
3j.	Maandag 23/06/2014	16:30
After dryer/cooler:		
2j.	Maandag 23/06/2014	15:15
4j.	Maandag 23/06/2014	16:35
After grinder/screening:		
5j.	Dinsdag 24/06/2014	16:50
6j.	Woensdag 25/06/2014	13:15

## Bezoek 2 - Verwerkende partij I week 31 2014

Door: Brouwer-Hanzens, Anke; Hooft, Jos; Elings, Joey

De 2<sup>e</sup> batch Calcië is op vrijdag 25 juli 2014 aangekomen bij Verwerkende partij I, deze was voor het weekend al binnen en is in de fabriek opgeslagen op een andere plaats dan de vorige keer.

Op zondag 27 juli is het driekoppige team aangekomen.

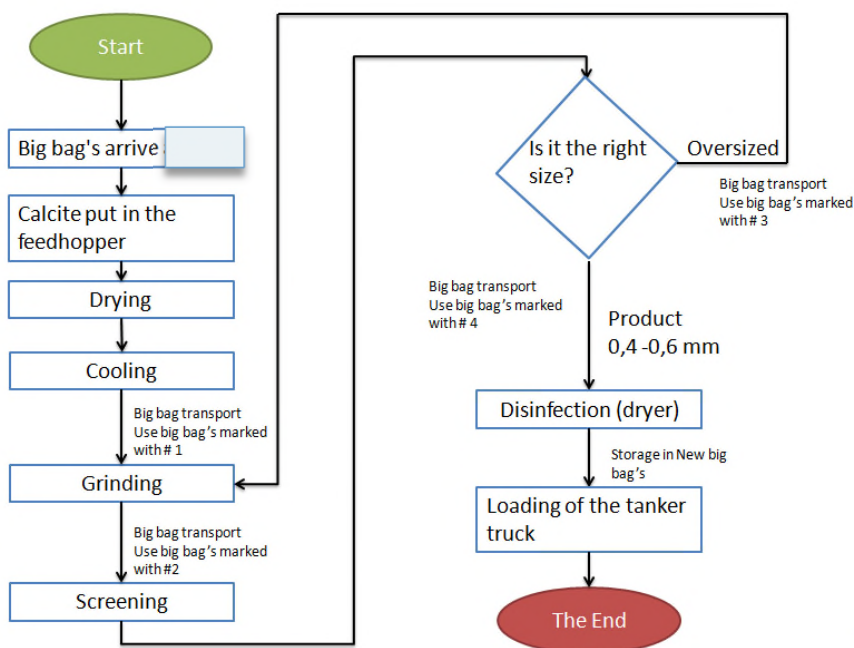
Maandag morgen is eerst een ronde door de fabriek gemaakt. Hier is men langs alle stappen van het proces gelopen (het nieuwe proces). Hierbij werden veel vragen gesteld en eventuele suggesties al onderling overlegd. Halverwege de morgen is begonnen met het schoonmaken

van de droger. Dit wordt niet gedaan volgens procedure die gelden bij Waternet. Aan het begin van de middag is deze weer opgestart om de 2<sup>e</sup> batch Calcië -pellets van Weesperkarspel -te gaan drogen. Hier zijn monsters genomen door Anke Brouwer en Verwerkende partij I. Na een uitleg kan hij de monsters nemen en weet ook waarmee hij bezig is en waarop hij moet letten. Tijdens het drogen zijn op verschillende tijdstippen monsters genomen van het proces. Het drogen was nog niet voltooid aan het eind van de dag. Na visuele waarneming bleek dat de korrels van kleur en grootte veranderde wanneer het calcië bij een te hoge temperatuur (boven de 250C<sup>0</sup>) werd gedroogd. Als het laatste beetje materiaal de droger in moet, word gebruik gemaakt van een schep of bezem om dit uit de feedhopper te duwen. De bezem en schep worden ook voor andere acties/handelingen gebruikt.

### Bevindingen/afspraken:

- Elke processtap krijgt dedicated bigbags, bigbags afkomstig van Waternet worden niet hergebruikt. Vochtige atmosfeer zou goede plek voor bacteriën zijn. Na het swabben van de bigbag kunnen we dit niet aantonen.
- Als alle processtappen zijn doorlopen wordt een tweede maal gedroogd (desinfectie). Deze stap moet de mogelijke infectiegevaaren vanuit het Calcië van Waternet of binnen de fabriek van Verwerkende partij I elimineren.
- Drogen bij een te hoge temperatuur meer dan 210 °C (250C<sup>0</sup> op de buitenwand van heater gemeten) op de schermen leidt tot exploderen van vochtige Calcië-pellets (bij desinfectie is dit nog niet waargenomen).
- Door het niet goed functioneren van de eerste zeef, bleek het materiaal niet goed gezeefd te zijn dit kwam door het verstopt raken van de zeven. Wat tot gevolg had dat het materiaal eigenlijk niet gezeefd was. Dit materiaal moest dus nogmaals gezeefd worden.

Aan de hand van het bovengenoemde is een SOP opgesteld. Deze is terug te vinden in *Figuur 1*.



Dinsdag morgen is men verder gegaan met het drogen van het resterende Calcië van batch 2. Eerste ton van maandag is er een tweede maal gedroogd omdat het even duurt tot de machine is opgewarmd. Op dinsdag is men begonnen met het schoonmaken van de feedhopper richting de zeef en voor het silowagen vul systeem (Hierbij stond men met de schoenen in de feedhopper). Nadat dit schoon was, is men begonnen met het zeven van één ton van batch 1. Deze is daarna door het silowagen vulsysteem gegaan. Hierbij zijn tijdens het legen van de bigbag in het vulsysteem tien monsters, aan de onderkant van de bigbag genomen en tien op het moment dat het materiaal de vulmond uitkomt en de bigbag inging. Daarnaast is men dinsdag verder gegaan met het zeven van het materiaal van batch 1 om hierna de desinfectie stap te kunnen testen en bemonsteren. Ook zijn temperatuur metingen gedaan op verschillende punten in het proces, om te kijken wat de temperatuur van het systeem doet.

Een dag naar het drogen is de temperatuur gemeten in de verschillende Bigbags. Temperatuur aan de buitenkant van de zak 25°C en 45°C. De temperatuur aan de bovenkant van de bigbag in het calcië ligt tussen de 74°C en de 115°C.

Ook is op woensdag de temperatuur verloop van een Bigbag direct na drogen gestart.

Tijd	Buitenkant Bigbag ( °C)	Bovenkant Bigbag in het calcië (°C)
8:00	81,4	142
8:15	70,1	140,9
8:30	65,0	140,5
8:45	59,3	143,2
9:00	56,5	141,5
9:15	55,0	140,5
9:30	55,7	138,0

Op woensdag is verder gegaan met het zeven en is begonnen met het malen. Het plan was woensdag nog een aantal ton te zeven voor de desinfectie test en dan over te gaan op het materiaal van batch 2 om deze ook zo uitgebreid mogelijk te bemonsteren. Echter liep de zeefmachine net na de lunch op woensdag vast wat tot gevolgen had dat het zeven de rest van de dag stil lag en er zowel geen batch 1 als batch 2 materiaal gezeefd kon worden. Aan het eind van de middag bleek ook de maal apparatuur er mee gestopt te zijn dit kwam door blokkeren van de walsen. Echter was er wel genoeg tijd om monsters te nemen van het malen op woensdag. De reparatie van het maalproces moest wachten tot dat de mechanicus op donderdagochtend er naar kon kijken.

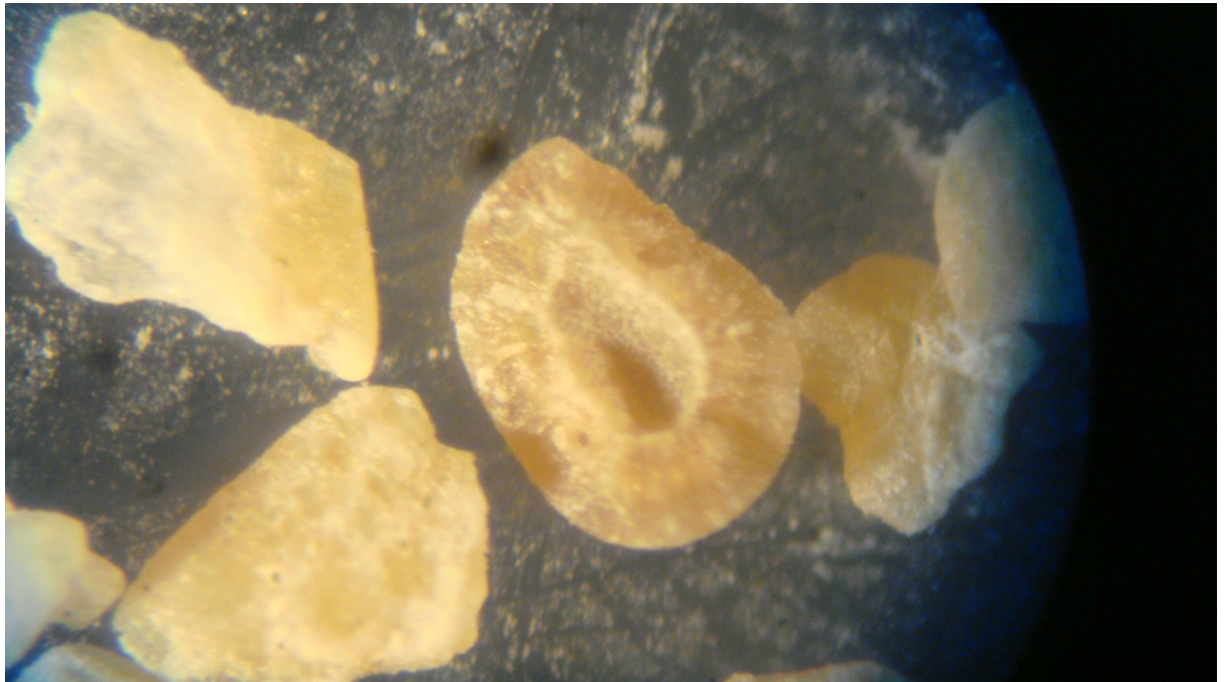
Op donderdag morgen was alles gerepareerd en is in de eerste helft van de ochtend nog wat materiaal gezeefd van batch 1. Toen de droogapparatuur schoon was is hiermee gestopt en is de desinfectie stap getest met de al aanwezige tonnen van batch 1. Tegelijkertijd is men begonnen met het zeven van batch 2. De monsternamen van de desinfectie stap gingen niet zoals gepland, omdat men al was begonnen voordat ik (Joey) werd gewaarschuwd waardoor monsters ingaand alleen zijn genomen van de laatste 1,5 ton. Daardoor konden de monsters na desinfectie ook niet goed genomen worden. Er zijn die dag zowel monsters van malen, zeven als desinfectie genomen.

De monsters zijn dinsdag en donderdag opgehaald.



De monster van dinsdag zijn op donderdag aangekomen bij KWR en de monsters van donderdag zijn pas op maandag aangeleverd bij KWR.

Tevens zijn er foto's genomen van het calciet, waarbij gebruik gemaakt werd van een microscoop om de verandering in structuur en vorm gedurende het proces te vergelijken. Het opvallende hierin is dat de verbinding tussen Italiaans calciet en aangroei zwakker is dan die van de aangroei (*Afbeelding 1*).



Tot slot moet de kanttekening worden gemaakt dat de medewerkers van Verwerkende partij I een stuk zorgvuldiger te werk gingen en uit zichzelf latex handschoenen aantrokken wanneer zij in aanraking kwamen met het calciet.

# Bijlage XI Bedrijfsbezoek

## Verwerkende Partij II

### Toelichting op de monsternamen bij malen/zeven op 26-01-2015 (Joey Elings)

Op bezoek: Joey Elings (Reststoffenunie), Jos Hooft (Waternet), Bas Hofstede (KWR)

De productie werd opgestart om 10:00

In het monsternamen schema zijn de data en codering weergegeven.

S.. → na de begin silo, op de feeder genomen

C.. → onderaan de cycloon, na het drogen en malen

T.. → bij de tanker, dit is het eindproduct na zeven.

DG = eindproduct, extra monster voor DeeltjeGrootte.

S.c, C.c en T.c staan voor het materiaal voor de chemische analyse.

In plaats van om de vijf minuten met een paar batches is gekozen voor 3 batches met een half uur pauze tussen de stappen in de batch. Dit had te maken met het feit dat het enige tijd duurde om de monsters te nemen, door de afstand tussen monsternamen punten.

De processing zou ongeveer een dag in beslag zou nemen of in ieder geval tot in de nacht. Daarom is besloten de monsters 4<sup>e</sup> batch monsters door de verwerkende partij te laten nemen. De keuze voor het tijdstip van de 4<sup>e</sup> batch had te maken met de dienstregeling, aangezien de huidige ploeg tot 22:00 zou werken. Op deze manier kon de monster nemende ploeg geïnstrueerd worden door één van de mensen die wij overdag hebben gesproken en hebben uitgelegd hoe de monsternamen in ze werk gaat.

Om fouten/verwarring met de monster name te voorkomen is de codering voor de werkploeg aangepast deze codering is als volgt:

Invoer: na de beginsilo, komt overeen met S

Cycloon: onderaan de cycloon, komt overeen met C

Bulkwagen: boven op de tanker net voordat deze de tanker in gaat, komt overeen met T.

### Observaties:

Opslag binnen op de grond, op het moment dat wij aankwamen niet afgedekt. Daarnaast wordt in de hal ook gereden wat tot besmetting zou kunnen leiden.

Het verplaatsen van de calciëkorrels naar de hopper gebeurt doormiddel van een bulldozer elke maal installatie heeft zijn eigen schep voor de bulldozer. Deze ligt echter buiten open en bloot niet afgedekt.

Beginsilo, hierin worden ook andere stromen voor de installatie opgesloten. Deze stromen zouden achter kunnen blijven in de silo.

Gesloten systeem wat er toe leidt dat er weinig besmettingsmogelijkheden zijn.

Ook hier raken de productiemedewerkers het product wel eens aan met de handen om te kijken hoe het gaat. Dit is was met name om ons het goed te laten zien, maar de production manager had al snel door dat hij dit beter met handschoenen kan doen. De productiemedewerkers komen er eigenlijk niet aan zolang er niets fout gaat.

### **Aanvullende opmerkingen (Bas Hofs)**

maandag 26-1-2015

- Opslag 150 ton WPK pellets was nu overdekt, maar open ruimte onder deur (mogelijke besmettingsroute). ratten/ muizenvallen wel standaard indien gewenst, ook worden regelmatig duiven gevangen
- transport van opslag naar installatie met shovel (schep ligt buiten: mogelijke besmettingsroute), feedhopper is open (invoer voor shovel, mogelijke besmettingsroute)
- transport in installatie met verwarmde lucht (drogen/malen/zeven/opslag kan zonder verdere handling)
- orde 40 kW droger
- 0,25 mm ondergrens productie
- retour oversize (na zeef/classifier) naar begin
- Productie 25 ton entmateriaal 0,5-0,65 mm selectie bij de test
- max 80 graden te halen in droger; als het goed is geen direct contact vlam en materiaal
- rendement verwacht van 20%; behaald 17 a 18%. Ondermaat grotendeels naar afnemer.

Opmerking:

Na zeven geen monstername, er zit alleen een stuk transportleiding tussen zeef en silo/tankwagen. Daarom overgestapt naar 4 tijdstippen monstername op 3 punten.

Monstercodes en tijdstippen monstername door Joey.

## Bijlage XII Bedrijfsbezoek Verwerkende Partij III

26-02-2015 Bezoek. Contacts: plant manager; quality manager

### Observaties

- uitvoer vanuit tankwagen per slang naar tussen silo
- vanuit tussen silo met transportband naar droger
- na drogen initieel (kort na opstart) 55-60 graden C, na zes uur in bedrijf 70 graden C.
- na droger via pijpleidingen naar hamermolen
- na molen naar zeef groot- goed- klein
- recirculatie te grote fractie via hamermolen

- staan ramen open
- transport naar droger uit vrachtwagen deels op open transportband
- medewerkers met hand soms aan halfprodukt
- bijna alles wel goed afgesloten (buizen, etc.)
- veel kalkstof binnen bedrijf (laag op vloeren etc)
- two drying lines 1 and 2

Line 1- 70 degr. C wordt bereikt, 5.6 log eliminatiecapaciteit

Line 2- T in dryer was determined (for food industry). Residence time at 120 degr. Celsius - 6.5 s, 80 degr. Celsius - 24.1 s. Residence time in dryer in total about 8 min.

Thermal inactivation - 5 log unit, total system 9 log eliminatiecapaciteit

No direct contact between flame and material

- wegens benodigde doorvoersnelheid (vrachtwagens kwamen binnen en moesten gelost worden) werd de zeef te zwaar belast -hierdoor was er een grotere fractie ondermaat ( $30\% < 0.315$ ). De eerste testen in dec 2014 waren wel goed. Rond het middaguur is een tweede zeefmachine in gebruik genomen, met als resultaat zie zeefcurve hieronder.

Zeefcurve in de namiddag geproduceerd materiaal:

98.9% >0.18 mm

94.0% >0.315 mm

77.0% >0.4 mm

68.9% >0.5 mm

27.8% >0.63 mm

0.08% >0.8 mm

Eric: max ondermaat 2.5% fines d10 0.4  
max overmaat 10% d90 0.6

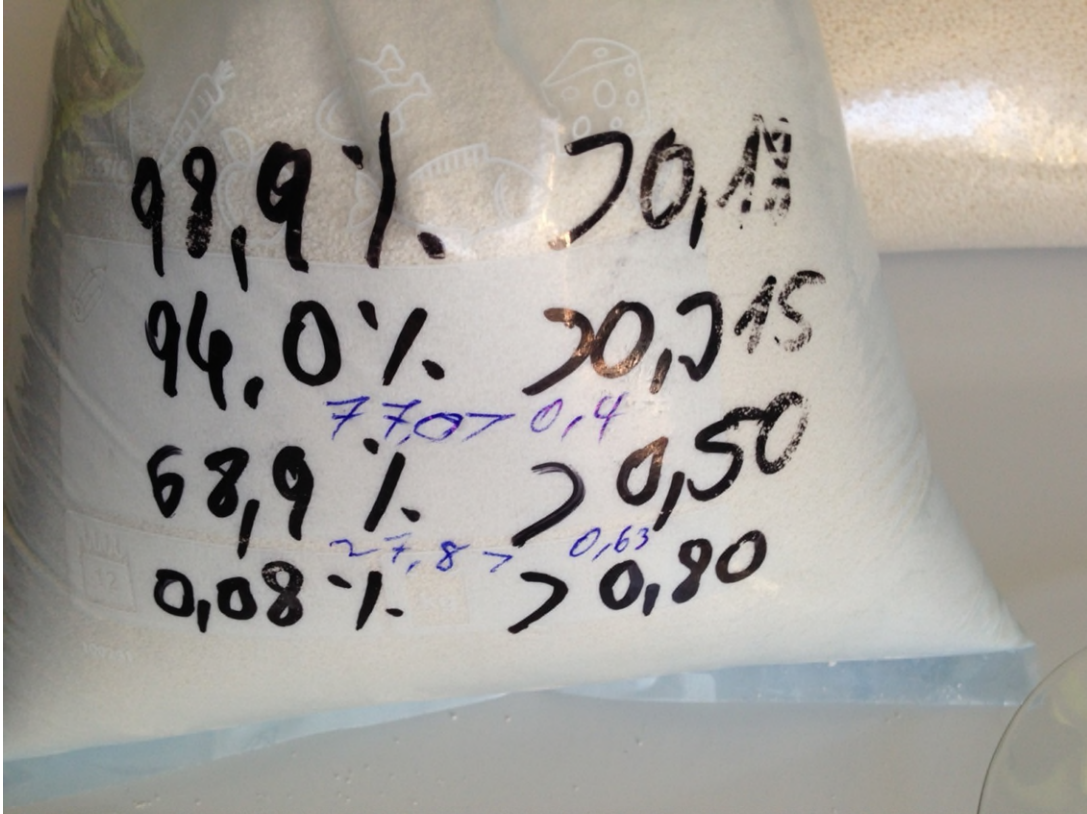


Foto: Deeltjesgrootteverdeling produkt (bepaald met zeven).

#### Aanvullingen t.b.v. monsternamen bact. en chem. op locatie (Tonnie Hemme, Reststoffenunie)

Eerste wagen vroeg gelost, bodem tankwagen had last van ijsvorming omdat nachttemperatuur -5 graden Celcius was en de kalkkorrels ongeveer 2,3 % vocht bevatten.

De eerste wagen niet bemonsterd omdat al snel bleek dat het product te fijn was.

De tweede, derde en vierde wagen is in de ontvangst bunker geblazen (zat uiteindelijk 100 ton product in de bunker die normaal gesproken tot maximaal 70 ton wordt gevuld).

De laatste wagen is pas tegen 21.00 uur gelost.

Nadat het proces goed is opgestart met een tweede zeef (tegen 14.00 uur) heb ik 4 bact.monsters en 1 chem.monster genomen uit de bunker waar de mix van de 4 vrachten in zit (boven uit de bunker).

De volgende monster is na het droog proces en voor de breker, 4 bact. genomen en ook weer 1 chem.

Als laatste van het eindproduct zoals het naar de opslagsilo gaat, weer 4 bact. en 1 chem.

Om monsters te kunnen nemen moet luiken geopend worden en uit draaiende delen het product gehaald worden, kan en mag alleen door personeel gedaan worden.

Monstername heeft dus plaats gevonden op ongeveer 30% van het totaal volume binnen een tijdbestek van een half uur.

Vrijdag morgen monsters afgeleverd op het lab.

Codes nat, droog en product met getallen als volgorde monstername.

**Betreft: monstername kalkkorrels IJzeren Kuilen tbv calcië project (woensdag 25 febr. 2015) – Tonnie Hemme (Reststoffenuie)**

Alle tankwagens waren gespoeld, gedroogd en verzegeld bij aankomst.  
25 ton kalkkorrels geladen per tankwagen.

Bij het laden van de tankwagens is het niet mogelijk op de tank te staan en dan monster te nemen. Na vullen monstername uit tankwagen via bovenste mangat.

Na het laden van de tweede wagen had ik tijd om het onthardingproces bij WML te bekijken, viel me op dat tussen de bunker en de vloer ruimte genoeg was om tijdens laden tankwagen monsters te nemen.

Tankwagen 3, 4 en 5 wel 20–50–80 % kunnen nemen (zijn dus veel betere representatieve monsters).

Eerste wagen : monster code V1–1, V1–2 en V1–3, monster boven uit tankwagen gehaald op verschillende plaatsen, korrels komen uit bunker 1.  
Start laden 7.50, duurt ongeveer 10 minuten.

Wagen 2 : monster code V2–1, V2–2 en V2–3, monster boven uit tankwagen gehaald op verschillende plaatsen, korrels komen uit bunker 1.  
Start laden 8.50, duurt ongeveer 10 minuten.

Wagen 3 : monster code V3–1, V3–2 en V3–3, monster uitloop bunker,  
1=20%, 2=50% en 3=80% vulgraad, korrels komen uit bunker 1.  
Start laden 10.00, duurt ongeveer 10 minuten.

Wagen 4 : monster code V4-1, V4-2 en V4-3, monster uitloop bunker, 1=20%, 2=50% en 3=80% vulgraad, korrels komen uit bunker 3.  
Start laden 10.20, duurt ongeveer 10 minuten.

Wagen 5 : monster code V5-1, V5-2 en V5-3, monster uitloop bunker, 1=20%, 2=50% en 3=80% vulgraad, korrels komen uit bunker 3.  
Start laden 13.00, duurt ongeveer 10 minuten.

Chemische monster is verzameling monsternamen over plaats (tankwagen) of tijd (onder bunker), code V1, V2, V3, V4 en V5.

Monsters verzameld in koelbox en in ruimte (ongeveer 12 graden Celsius) geplaatst. Koerier heeft deze donderdag 26 febr. gehaald.

## Bijlage XIII Deeltjesgrootte verdelingen

C:\Program Files\CAMSIZER\CAMDAT\Scheveningen-basic\ltiliaans calciet027.rdf  
Task file: Scheveningen-basic.afg , xc\_min , A\_dens 0.5 % , 60 mm feeder  
Volume based distribution  
Q3 [%] x [mm]  
10.0 0.357  
50.0 0.594  
90.0 0.802  
U3 = 1.782  
Time: 28.7.2015 , 11:08  
Duration of measurement: 1 min 58 s  
CCD-B = 215273 particles (4024 images)  
CCD-Z = 12773 particles (4024 images)  
Mean value SPHT3 = 0.867  
Mean value Symm3 = 0.896  
Mean value b/l3 = 0.750

C:\Program Files\CAMSIZER\CAMDAT\Scheveningen-basic\partij I calciet026.rdf  
Task file: Scheveningen-basic.afg , xc\_min , A\_dens 0.5 % , 60 mm feeder  
Volume based distribution  
Q3 [%] x [mm]  
10.0 0.350  
50.0 0.470  
90.0 0.621  
U3 = 1.425  
Time: 28.7.2015 , 11:04  
Duration of measurement: 1 min 49 s  
CCD-B = 169251 particles (3728 images)  
CCD-Z = 9225 particles (3728 images)  
Mean value SPHT3 = 0.835  
Mean value Symm3 = 0.883  
Mean value b/l3 = 0.688

C:\Program Files\CAMSIZER\CAMDAT\Scheveningen-basic\partij II calciet028.rdf  
Task file: Scheveningen-basic.afg , xc\_min , A\_dens 0.5 % , 60 mm feeder  
Volume based distribution  
Q3 [%] x [mm]  
10.0 0.419  
50.0 0.521  
90.0 0.623  
x [mm] Q3 [%]  
1.000 100.0  
2.000 100.0  
4.000 100.0  
SPAN3 = 0.390  
U3 = 1.290  
Time: 28.7.2015 , 11:12  
Duration of measurement: 2 min 4 s  
CCD-B = 149862 particles (4191 images)  
CCD-Z = 8587 particles (4191 images)  
Q3 (SPHT=0.9) = 69.2 % Mean value SPHT3 = 0.870  
Q3 (Symm=0.9) = 50.2 % Mean value Symm3 = 0.895  
Q3 (b/l=0.9) = 95.2 % Mean value b/l3 = 0.739

C:\Program Files\CAMSIZER\CAMDAT\Scheveningen-basic\partij III calciet024.rdf  
Task file: Scheveningen-basic.afg , xc\_min , A\_dens 0.5 % , 60 mm feeder  
Volume based distribution



Q3 [%] x [mm]  
10.0 0.391  
50.0 0.600  
90.0 0.800  
U3 = 1.628  
Time: 28.7.2015 , 10:54  
Duration of measurement: 1 min 56 s  
CCD-B = 180666 particles (3942 images)  
CCD-Z = 10389 particles (3942 images)  
Mean value SPHT3 = 0.869  
Mean value Symm3 = 0.895  
Mean value b/l3 = 0.752

Zeefcurve Verwerkende partij III calciet:

98.9% >0.18 mm  
94.0% >0.315 mm  
77.0% >0.4 mm  
68.9% >0.5 mm  
27.8% >0.63 mm  
0.08% >0.8 mm

## **Bijlage XIV    Modelling concentraties zwaar metaal in water, natronloog en kalkkorrels**

**Arseen** De maximaal toegestane concentratie As in natronloog (20%) is 1,5 mg/kg en de maximaal toegestane concentratie As in calciet als entmateriaal is 3 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie As in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een As concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,3$ .

Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	Y	X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0	0,000	1,108	<b>2,216</b>	3,323	4,431	5,539	6,647	7,755	8,862	9,970	11,078
	0,1	0,000	1,097	2,196	3,298	4,402	5,508	6,617	7,729	8,843	9,959	11,078
	0,2	0,000	1,086	2,177	3,272	4,373	5,478	6,588	7,703	8,823	9,948	11,078
	0,3	0,000	1,075	2,158	3,247	4,344	5,448	6,559	7,677	8,803	9,937	11,078
	0,4	0,000	1,065	2,139	3,222	4,315	5,418	6,530	7,652	8,784	9,926	11,078
	0,5	0,000	1,055	2,121	3,198	4,287	5,388	6,501	7,627	8,764	9,915	11,078
	0,6	0,000	1,045	2,103	3,174	4,260	5,359	6,473	7,602	8,745	9,904	11,078
	0,7	0,000	1,035	2,085	3,151	4,232	5,330	6,445	7,577	8,726	9,893	11,078
	0,8	0,000	1,025	2,068	3,128	4,205	5,302	6,417	7,552	8,707	9,882	11,078
	0,9	0,000	1,016	2,051	3,105	4,179	5,274	6,390	7,527	8,688	9,871	11,078
	1	0,000	1,007	2,034	3,082	4,153	5,246	6,362	7,503	8,669	9,860	11,078

Bij een As concentratie in water van 0,1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,8$  en  $Y = 1$ , of als  $X < 0,7$  en alle Y waarden.

Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	Y	X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0	0	0,383	0,765	1,148	1,531	1,913	2,296	2,679	3,062	3,444	3,827
	0,1	0	0,379	0,759	1,139	1,521	1,903	2,286	2,670	3,055	3,440	3,827
	0,2	0	0,375	0,752	1,130	1,511	1,892	2,276	2,661	3,048	3,437	3,827
	0,3	0	0,371	0,745	1,122	1,501	1,882	2,266	2,652	3,041	3,433	3,827
	0,4	0	0,368	0,739	1,113	1,491	1,872	2,256	2,643	3,034	3,429	3,827
	0,5	0	0,364	0,733	1,105	1,481	1,861	2,246	2,635	3,028	3,425	3,827
	0,6	0	0,361	0,726	1,097	1,472	1,851	2,236	2,626	3,021	3,421	3,827
	0,7	0	0,358	0,720	1,088	1,462	1,841	2,226	2,617	3,014	3,417	3,827
	0,8	0	0,354	0,714	1,080	1,453	1,832	2,217	2,609	3,008	3,414	3,827
	0,9	0	0,351	0,708	1,073	1,444	1,822	2,207	2,600	3,001	3,410	3,827
	1	0	0,348	0,703	1,065	1,435	1,812	2,198	2,592	<b>2,995</b>	3,406	3,827

Bij een As concentratie in water van 0,01 ug/L wordt aan de norm voldaan bij  $X < 1$ , en alle Y waarden.

Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	Y	X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
	0	0	0,310	0,620	0,931	1,241	1,551	1,861	2,171	2,481	<b>2,792</b>	3,102
	0,1	0	0,307	0,615	0,923	1,232	1,542	1,853	2,164	2,476	2,789	3,102
	0,2	0	0,304	0,609	0,916	1,224	1,534	1,845	2,157	2,470	2,785	3,102
	0,3	0	0,301	0,604	0,909	1,216	1,525	1,836	2,150	2,465	2,782	3,102
	0,4	0	0,298	0,599	0,902	1,208	1,517	1,828	2,143	2,459	2,779	3,102
	0,5	0	0,295	0,594	0,896	1,200	1,509	1,820	2,135	2,454	2,776	3,102
	0,6	0	0,293	0,589	0,889	1,193	1,501	1,812	2,128	2,449	2,773	3,102
	0,7	0	0,290	0,584	0,882	1,185	1,493	1,805	2,121	2,443	2,770	3,102
	0,8	0	0,287	0,579	0,876	1,178	1,485	1,797	2,115	2,438	2,767	3,102
	0,9	0	0,284	0,574	0,869	1,170	1,477	1,789	2,108	2,433	2,764	3,102
	1	0	0,282	0,569	0,863	1,163	1,469	1,781	2,101	2,427	2,761	3,102

**Cadmium** De maximaal toegestane concentratie Cd in natronloog (20%) is 0,8 mg/kg en de maximale concentratie Cd in calcië als entmateriaal is 2 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie Cd in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een Cd concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,3$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,967	<b>1,934</b>	2,900	3,867	4,834	5,801	6,768	7,734	8,701	9,668
	0,1	0	0,957	1,916	2,878	3,841	4,807	5,775	6,745	7,717	8,692	9,668
	0,2	0	0,948	1,900	2,856	3,816	4,781	5,749	6,723	7,700	8,682	9,668
	0,3	0	0,938	1,883	2,834	3,791	4,754	5,724	6,700	7,683	8,672	9,668
	0,4	0	0,929	1,867	2,812	3,766	4,728	5,699	6,678	7,666	8,663	9,668
	0,5	0	0,920	1,851	2,791	3,742	4,703	5,674	6,656	7,649	8,653	9,668
	0,6	0	0,912	1,835	2,770	3,718	4,677	5,649	6,634	7,632	8,643	9,668
	0,7	0	0,903	1,820	2,750	3,694	4,652	5,625	6,612	7,615	8,634	9,668
	0,8	0	0,895	1,804	2,729	3,670	4,627	5,600	6,591	7,598	8,624	9,668
	0,9	0	0,887	1,790	2,710	3,647	4,602	5,576	6,569	7,582	8,615	9,668
	1	0	0,878	1,775	2,690	3,624	4,578	5,552	6,548	7,565	8,605	9,668

Bij een Cd concentratie in water van 0,1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,9$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,242	0,483	0,725	0,967	1,209	1,450	1,692	<b>1,934</b>	2,175	2,417
	0,1	0	0,239	0,479	0,719	0,960	1,202	1,444	1,686	1,929	2,173	2,417
	0,2	0	0,237	0,475	0,714	0,954	1,195	1,437	1,681	1,925	2,170	2,417
	0,3	0	0,235	0,471	0,708	0,948	1,189	1,431	1,675	1,921	2,168	2,417
	0,4	0	0,232	0,467	0,703	0,942	1,182	1,425	1,670	1,916	2,166	2,417
	0,5	0	0,230	0,463	0,698	0,935	1,176	1,418	1,664	1,912	2,163	2,417
	0,6	0	0,228	0,459	0,693	0,929	1,169	1,412	1,659	1,908	2,161	2,417
	0,7	0	0,226	0,455	0,687	0,923	1,163	1,406	1,653	1,904	2,158	2,417
	0,8	0	0,224	0,451	0,682	0,918	1,157	1,400	1,648	1,900	2,156	2,417
	0,9	0	0,222	0,447	0,677	0,912	1,151	1,394	1,642	1,895	2,154	2,417
	1	0	0,220	0,444	0,672	0,906	1,145	1,388	1,637	1,891	2,151	2,417

Bij een Cd concentratie in water van 0,01 ug/L wordt aan de norm voldaan bij alle overdracht waarden.

		Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,169	0,338	0,508	0,677	0,846	1,015	1,184	1,354	1,523	<b>1,692</b>
	0,1	0	0,168	0,335	0,504	0,672	0,841	1,011	1,180	1,351	1,521	1,692
	0,2	0	0,166	0,332	0,500	0,668	0,837	1,006	1,176	1,348	1,519	1,692
	0,3	0	0,164	0,330	0,496	0,663	0,832	1,002	1,173	1,345	1,518	1,692
	0,4	0	0,163	0,327	0,492	0,659	0,827	0,997	1,169	1,342	1,516	1,692
	0,5	0	0,161	0,324	0,488	0,655	0,823	0,993	1,165	1,339	1,514	1,692
	0,6	0	0,160	0,321	0,485	0,651	0,818	0,989	1,161	1,336	1,513	1,692
	0,7	0	0,158	0,318	0,481	0,646	0,814	0,984	1,157	1,333	1,511	1,692
	0,8	0	0,157	0,316	0,478	0,642	0,810	0,980	1,153	1,330	1,509	1,692
	0,9	0	0,155	0,313	0,474	0,638	0,805	0,976	1,150	1,327	1,508	1,692
	1	0	0,154	0,311	0,471	0,634	0,801	0,972	1,146	1,324	1,506	1,692

**Chroom** De maximaal toegestane concentratie Cr in natronloog (20%) is 8 mg/kg en de maximale concentratie Cr in calciet als entmateriaal is 10 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie Cr in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een Cr concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,5$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	2,417	4,834	7,251	<b>9,668</b>	12,085	14,502	16,919	19,336	21,753	24,170
	0,1	0	2,393	4,791	7,195	9,604	12,018	14,438	16,863	19,293	21,729	24,170
	0,2	0	2,369	4,749	7,139	9,540	11,951	14,374	16,806	19,250	21,705	24,170
	0,3	0	2,346	4,708	7,085	9,477	11,886	14,310	16,751	19,207	21,680	24,170
	0,4	0	2,323	4,667	7,031	9,415	11,821	14,247	16,695	19,165	21,656	24,170
	0,5	0	2,301	4,627	6,978	9,354	11,756	14,185	16,640	19,122	21,632	24,170
	0,6	0	2,279	4,588	6,926	9,294	11,693	14,123	16,585	19,080	21,608	24,170
	0,7	0	2,258	4,549	6,874	9,234	11,630	14,062	16,531	19,038	21,584	24,170
	0,8	0	2,237	4,511	6,824	9,176	11,568	14,001	16,477	18,996	21,560	24,170
	0,9	0	2,216	4,474	6,774	9,117	11,506	13,941	16,423	18,955	21,536	24,170
1	0	2,196	4,437	6,725	9,060	11,445	13,881	16,370	18,913	21,513	24,170	

Bij een Cr concentratie in water van 0,1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,7$  en  $Y > 0,3$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	1,692	3,384	5,076	6,768	8,460	10,151	11,843	13,535	15,227	16,919
	0,1	0	1,675	3,354	5,036	6,723	8,413	10,106	11,804	13,505	15,210	16,919
	0,2	0	1,659	3,324	4,997	6,678	8,366	10,061	11,764	13,475	15,193	16,919
	0,3	0	1,642	3,295	4,959	6,634	8,320	10,017	11,725	13,445	15,176	16,919
	0,4	0	1,626	3,267	4,922	6,591	8,274	<b>9,973</b>	11,687	13,415	15,159	16,919
	0,5	0	1,611	3,239	4,885	6,548	8,229	9,929	11,648	13,386	15,143	16,919
	0,6	0	1,596	3,211	4,848	6,506	8,185	9,886	11,610	13,356	15,126	16,919
	0,7	0	1,581	3,184	4,812	6,464	8,141	9,843	11,572	13,327	15,109	16,919
	0,8	0	1,566	3,158	4,777	6,423	8,097	9,801	11,534	13,297	15,092	16,919
	0,9	0	1,551	3,132	4,742	6,382	8,054	9,759	11,496	13,268	15,075	16,919
1	0	1,537	3,106	4,707	6,342	8,012	9,717	11,459	13,239	15,059	16,919	

Bij een Cr concentratie in water van 0,01 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,7$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	1,619	3,239	4,858	6,478	8,097	<b>9,716</b>	11,336	12,955	14,575	16,194
	0,1	0	1,603	3,210	4,820	6,434	8,052	9,673	11,298	12,926	14,558	16,194
	0,2	0	1,587	3,182	4,783	6,392	8,007	9,630	11,260	12,898	14,542	16,194
	0,3	0	1,572	3,154	4,747	6,350	7,963	9,588	11,223	12,869	14,526	16,194
	0,4	0	1,557	3,127	4,711	6,308	7,920	9,546	11,186	12,840	14,510	16,194
	0,5	0	1,542	3,100	4,675	6,267	7,877	9,504	11,149	12,812	14,494	16,194
	0,6	0	1,527	3,074	4,640	6,227	7,834	9,462	11,112	12,784	14,477	16,194
	0,7	0	1,513	3,048	4,606	6,187	7,792	9,421	11,076	12,756	14,461	16,194
	0,8	0	1,499	3,022	4,572	6,148	7,750	9,381	11,040	12,727	14,445	16,194
	0,9	0	1,485	2,997	4,538	6,109	7,709	9,340	11,004	12,700	14,429	16,194
1	0	1,471	2,973	4,506	6,070	7,668	9,300	10,968	12,672	14,413	16,194	

**Kwik** De maximaal toegestane concentratie Hg in natronloog (20%) is 0,15 mg/kg en de maximale concentratie Hg in calcië als entmateriaal is 0,5 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie Hg in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een Hg concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X = 0$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	<u>0</u>	0,836	1,672	2,508	3,344	4,179	5,015	5,851	6,687	7,523	8,359
	0,1	<u>0</u>	0,828	1,657	2,488	3,321	4,156	4,993	5,832	6,672	7,515	8,359
	0,2	<u>0</u>	0,819	1,642	2,469	3,299	4,133	4,971	5,812	6,657	7,506	8,359
	0,3	<u>0</u>	0,811	1,628	2,450	3,278	4,110	4,949	5,793	6,643	7,498	8,359
	0,4	<u>0</u>	0,804	1,614	2,432	3,256	4,088	4,927	5,774	6,628	7,489	8,359
	0,5	<u>0</u>	0,796	1,600	2,413	3,235	4,066	4,906	5,755	6,613	7,481	8,359
	0,6	<u>0</u>	0,788	1,587	2,395	3,214	4,044	4,884	5,736	6,599	7,473	8,359
	0,7	<u>0</u>	0,781	1,573	2,377	3,194	4,022	4,863	5,717	6,584	7,465	8,359
	0,8	<u>0</u>	0,774	1,560	2,360	3,173	4,000	4,842	5,698	6,570	7,456	8,359
	0,9	<u>0</u>	0,766	1,547	2,343	3,153	3,979	4,821	5,680	6,555	7,448	8,359
1	<u>0</u>	0,759	1,534	2,326	3,133	3,958	4,801	5,661	6,541	7,440	8,359	

Bij een Hg concentratie in water van 0,1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,5$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,111	0,222	0,332	<u>0,443</u>	0,554	0,665	0,775	0,886	0,997	1,108
	0,1	0	0,110	0,220	0,330	0,440	0,551	0,662	0,773	0,884	0,996	1,108
	0,2	0	0,109	0,218	0,327	0,437	0,548	0,659	0,770	0,882	0,995	1,108
	0,3	0	0,108	0,216	0,325	0,434	0,545	0,656	0,768	0,880	0,994	1,108
	0,4	0	0,106	0,214	0,322	0,432	0,542	0,653	0,765	0,878	0,993	1,108
	0,5	0	0,105	0,212	0,320	0,429	0,539	0,650	0,763	0,876	0,991	1,108
	0,6	0	0,104	0,210	0,317	0,426	0,536	0,647	0,760	0,875	0,990	1,108
	0,7	0	0,103	0,209	0,315	0,423	0,533	0,644	0,758	0,873	0,989	1,108
	0,8	0	0,103	0,207	0,313	0,421	0,530	0,642	0,755	0,871	0,988	1,108
	0,9	0	0,102	0,205	0,310	0,418	0,527	0,639	0,753	0,869	0,987	1,108
1	0	0,101	0,203	0,308	0,415	0,525	0,636	0,750	0,867	0,986	1,108	

Bij een Hg concentratie in water van 0,01 ug/L wordt aan de norm voldaan bij alle overdracht waarden.

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,038	0,077	0,115	0,153	0,191	0,230	0,268	0,306	0,344	<u>0,383</u>
	0,1	0	0,038	0,076	0,114	0,152	0,190	0,229	0,267	0,305	0,344	0,383
	0,2	0	0,038	0,075	0,113	0,151	0,189	0,228	0,266	0,305	0,344	0,383
	0,3	0	0,037	0,075	0,112	0,150	0,188	0,227	0,265	0,304	0,343	0,383
	0,4	0	0,037	0,074	0,111	0,149	0,187	0,226	0,264	0,303	0,343	0,383
	0,5	0	0,036	0,073	0,110	0,148	0,186	0,225	0,263	0,303	0,343	0,383
	0,6	0	0,036	0,073	0,110	0,147	0,185	0,224	0,263	0,302	0,342	0,383
	0,7	0	0,036	0,072	0,109	0,146	0,184	0,223	0,262	0,301	0,342	0,383
	0,8	0	0,035	0,071	0,108	0,145	0,183	0,222	0,261	0,301	0,341	0,383
	0,9	0	0,035	0,071	0,107	0,144	0,182	0,221	0,260	0,300	0,341	0,383
1	0	0,035	0,070	0,106	0,143	0,181	0,220	0,259	0,299	0,341	0,383	

**Lood** De maximaal toegestane concentratie Pb in natronloog (20%) is 1,5 mg/kg en de maximale concentratie Pb in calcië als entmateriaal is 10 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie Hg in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een Pb concentratie in water van 5 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,3$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	4,330	<b>8,661</b>	12,991	17,322	21,652	25,983	30,313	34,644	38,974	43,305
	0,1	0	4,287	8,584	12,891	17,206	21,532	25,867	30,212	34,567	38,931	43,305
	0,2	0	4,245	8,509	12,791	17,093	21,413	25,753	30,111	34,490	38,887	43,305
	0,3	0	4,204	8,435	12,693	16,980	21,295	25,639	30,011	34,413	38,844	43,305
	0,4	0	4,163	8,362	12,597	16,869	21,179	25,526	29,912	34,337	38,801	43,305
	0,5	0	4,123	8,290	12,502	16,760	21,064	25,415	29,813	34,261	38,758	43,305
	0,6	0	4,084	8,220	12,409	16,652	20,950	25,304	29,715	34,185	38,715	43,305
	0,7	0	4,045	8,151	12,317	16,545	20,837	25,194	29,618	34,110	38,672	43,305
	0,8	0	4,008	8,083	12,226	16,440	20,725	25,085	29,521	34,035	38,629	43,305
	0,9	0	3,971	8,016	12,136	16,335	20,615	24,977	29,425	33,960	38,586	43,305
1	0	3,935	7,950	12,048	16,233	20,506	24,870	29,329	33,886	38,543	43,305	

Bij een Pb concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 1$ .

		Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	1,108	2,216	3,323	4,431	5,539	6,647	7,755	8,862	<b>9,970</b>	11,078
	0,1	0	1,097	2,196	3,298	4,402	5,508	6,617	7,729	8,843	9,959	11,078
	0,2	0	1,086	2,177	3,272	4,373	5,478	6,588	7,703	8,823	9,948	11,078
	0,3	0	1,075	2,158	3,247	4,344	5,448	6,559	7,677	8,803	9,937	11,078
	0,4	0	1,065	2,139	3,222	4,315	5,418	6,530	7,652	8,784	9,926	11,078
	0,5	0	1,055	2,121	3,198	4,287	5,388	6,501	7,627	8,764	9,915	11,078
	0,6	0	1,045	2,103	3,174	4,260	5,359	6,473	7,602	8,745	9,904	11,078
	0,7	0	1,035	2,085	3,151	4,232	5,330	6,445	7,577	8,726	9,893	11,078
	0,8	0	1,025	2,068	3,128	4,205	5,302	6,417	7,552	8,707	9,882	11,078
	0,9	0	1,016	2,051	3,105	4,179	5,274	6,390	7,527	8,688	9,871	11,078
1	0	1,007	2,034	3,082	4,153	5,246	6,362	7,503	8,669	9,860	11,078	

Bij een Pb concentratie in water van 0,5 ug/L wordt aan de norm voldaan bij alle overdracht waarden.

		Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,705	1,410	2,115	2,820	3,525	4,230	4,935	5,640	6,345	<b>7,050</b>
	0,1	0	0,698	1,397	2,098	2,801	3,505	4,211	4,918	5,627	6,338	7,050
	0,2	0	0,691	1,385	2,082	2,783	3,486	4,192	4,902	5,615	6,331	7,050
	0,3	0	0,684	1,373	2,066	2,764	3,467	4,174	4,886	5,602	6,323	7,050
	0,4	0	0,678	1,361	2,051	2,746	3,448	4,155	4,869	5,590	6,316	7,050
	0,5	0	0,671	1,350	2,035	2,728	3,429	4,137	4,853	5,577	6,309	7,050
	0,6	0	0,665	1,338	2,020	2,711	3,410	4,119	4,837	5,565	6,302	7,050
	0,7	0	0,659	1,327	2,005	2,693	3,392	4,101	4,822	5,553	6,295	7,050
	0,8	0	0,652	1,316	1,990	2,676	3,374	4,084	4,806	5,541	6,288	7,050
	0,9	0	0,646	1,305	1,976	2,659	3,356	4,066	4,790	5,528	6,281	7,050
1	0	0,641	1,294	1,961	2,643	3,338	4,049	4,775	5,516	6,275	7,050	

**Nikkel** De maximaal toegestane concentratie Ni in natronloog (20%) is 3 mg/kg en de maximale concentratie Ni in calcië als entmateriaal is 10 mg/kg. De hoogst behaalde concentratie Hg in de kalkkorrel is dikgedrukt en onderstreept bij verschillende water influent concentraties.

Bij een Ni concentratie in water van 1 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 0,8$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	1,410	2,820	4,230	5,640	7,050	8,460	<b>9,869</b>	11,279	12,689	14,099
	0,1	0	1,396	2,795	4,197	5,602	7,010	8,422	9,836	11,254	12,675	14,099
	0,2	0	1,382	2,770	4,165	5,565	6,972	8,385	9,804	11,229	12,661	14,099
	0,3	0	1,369	2,746	4,133	5,528	6,933	8,348	9,771	11,204	12,647	14,099
	0,4	0	1,355	2,722	4,101	5,492	6,895	8,311	9,739	11,179	12,633	14,099
	0,5	0	1,342	2,699	4,070	5,457	6,858	8,274	9,707	11,155	12,619	14,099
	0,6	0	1,330	2,676	4,040	5,421	6,821	8,238	9,675	11,130	12,605	14,099
	0,7	0	1,317	2,654	4,010	5,387	6,784	8,203	9,643	11,106	12,591	14,099
	0,8	0	1,305	2,632	3,981	5,352	6,748	8,167	9,612	11,081	12,577	14,099
	0,9	0	1,293	2,610	3,951	5,319	6,712	8,132	9,580	11,057	12,563	14,099
1	0	1,281	2,588	3,923	5,285	6,676	8,097	9,549	11,033	12,549	14,099	

Bij een Ni concentratie in water van 0,5 ug/L wordt aan de norm voldaan als  $X < 1$ .

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	1,007	2,014	3,021	4,028	5,035	6,043	7,050	8,057	<b>9,064</b>	10,071
	0,1	0	0,997	1,996	2,998	4,002	5,007	6,016	7,026	8,039	9,054	10,071
	0,2	0	0,987	1,979	2,975	3,975	4,980	5,989	7,003	8,021	9,044	10,071
	0,3	0	0,978	1,962	2,952	3,949	4,952	5,963	6,979	8,003	9,034	10,071
	0,4	0	0,968	1,945	2,930	3,923	4,925	5,936	6,956	7,985	9,023	10,071
	0,5	0	0,959	1,928	2,907	3,898	4,899	5,910	6,933	7,968	9,013	10,071
	0,6	0	0,950	1,912	2,886	3,872	4,872	5,885	6,911	7,950	9,003	10,071
	0,7	0	0,941	1,895	2,864	3,848	4,846	5,859	6,888	7,933	8,993	10,071
	0,8	0	0,932	1,880	2,843	3,823	4,820	5,834	6,865	7,915	8,983	10,071
	0,9	0	0,923	1,864	2,822	3,799	4,794	5,809	6,843	7,898	8,973	10,071
1	0	0,915	1,849	2,802	3,775	4,769	5,784	6,821	7,880	8,964	10,071	

Bij een Ni concentratie in water van 0,1 ug/L wordt aan de norm voldaan bij alle overdracht waarden.

		X = Overdracht zware metalen uit water naar korrel										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Y = Overdracht zware metalen uit korrel naar water	0	0	0,685	1,370	2,054	2,739	3,424	4,109	4,794	5,479	6,163	<b>6,848</b>
	0,1	0	0,678	1,357	2,039	2,721	3,405	4,091	4,778	5,466	6,157	6,848
	0,2	0	0,671	1,346	2,023	2,703	3,386	4,072	4,762	5,454	6,150	6,848
	0,3	0	0,665	1,334	2,007	2,685	3,368	4,055	4,746	5,442	6,143	6,848
	0,4	0	0,658	1,322	1,992	2,668	3,349	4,037	4,730	5,430	6,136	6,848
	0,5	0	0,652	1,311	1,977	2,650	3,331	4,019	4,715	5,418	6,129	6,848
	0,6	0	0,646	1,300	1,962	2,633	3,313	4,002	4,699	5,406	6,122	6,848
	0,7	0	0,640	1,289	1,948	2,616	3,295	3,984	4,684	5,394	6,116	6,848
	0,8	0	0,634	1,278	1,933	2,600	3,278	3,967	4,668	5,382	6,109	6,848
	0,9	0	0,628	1,268	1,919	2,583	3,260	3,950	4,653	5,370	6,102	6,848
1	0	0,622	1,257	1,905	2,567	3,243	3,933	4,638	5,359	6,095	6,848	