



## Verkenning Zuiverende Kassen

*Door Adrie Otte (Bioniers), Doy Schellekens (Waterschap De Dommel)*

**In een verkennende studie in opdracht van STOWA is de werking van zuiverende kassen verduidelijkt en zijn de claims van de fabrikanten geverifieerd. Een aantal bestaande installaties is onder de loep genomen en er zijn ontwerpen gemaakt voor twee bestaande situaties. Zuiverende kassen lijken een visueel aantrekkelijk alternatief te zijn voor conventionele rwzi's. Zuiverende kassen lijken beter in de bebouwde omgeving of groene structuur eromheen te passen. Ze nemen minder ruimte in en zijn goedkoper. Het verdient aanbeveling om een of meer zuiverende kassen in Nederland te realiseren om de werking onder Nederlandse omstandigheden goed te evalueren.**

Op 23 maart 2014 zond de VPRO een aflevering van het programma *Tegenlicht* uit met de titel *De kracht van water*. In deze aflevering werd een waterzuiveringssysteem getoond, waarbij communaal afvalwater werd gezuiverd in kassen. In de kassen zorgen plantenwortels samen met de daaraan gehechte micro-organismen voor de zuivering. Volgens de ontwerpers van dit systeem, Organica en Biopolus, beide gevestigd in Hongarije, heeft een zuiverende kas vele voordelen ten opzichte van een conventionele rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi).

Na de *Tegenlicht*-uitzending ontstond ook in Nederland bij de waterschappen interesse in dit systeem. Als de claims van de ontwerpers kloppen, zou het systeem energiezuiniger en efficiënter zijn en bovendien minder plaats innemen dan een conventionele rwzi.

### **Zuiverende kassen**

Het idee van zuiverende kassen is niet nieuw. Al in de jaren '70 van de vorige eeuw legde John Todd in de VS de fundamenten voor zijn zuiverende kassen, die hij *Living Machines* noemde. Zijn idee was om een compleet ecosysteem in compartimenten te bouwen, dat in staat is om afvalwater te zuiveren. Het water doorloopt verschillende compartimenten met elk een eigen ecosysteem. Door de veelheid aan organismen ontstaat een robuust en efficiënt systeem. Zie voor meer informatie bijvoorbeeld [1].

In Hongarije is sinds 1998 het bedrijf Organica actief. De R&D-afdeling van het bedrijf kwam met een nieuw systeem: een combinatie van een *Fixed Film Activated Sludge*-systeem (slib-op-drager systeem, waarbij actief slib aangehecht zit op een vaste drager) en een *Living Machine*. Het resultaat is sinds 2007 op de markt en werd door Organica de *Food Chain Reactor* genoemd. Het bedrijf opereert internationaal en heeft tientallen installaties gerealiseerd.

Een van de grondleggers van het systeem, István Kenyeres, heeft Organica verlaten en Biopolus opgericht. Biopolus heeft als doel het systeem verder te ontwikkelen en daarnaast te focussen op het creëren van nieuwe grondstoffen uit afvalwater in de door hen zo genoemde *Metabolic Network Reactor*, die valt onder de zogeheten *Biomakeries*.

### **Hybride systeem**

*Food Chain Reactors* (FCR) van Organica en *Metabolic Network Reactors* (MNR) van Biopolus zijn sterk geënt op *Living Machines*. De grondleggers van Organica, Kenyeres en Attila Bodnar, hebben samengewerkt met John Todd en het systeem naar hun inzichten gewijzigd zodat het efficiënter werkt. Een van de belangrijkste wijzigingen is het toevoegen van speciale, gepatenteerde vezels die naast de plantenwortels in het water hangen. Dankzij deze vezels wordt het totale oppervlak waaraan slib zich kan hechten groter. Hieraan hecht zich actiefslib, zodat het systeem een hybride tussen een slib-op-dragersysteem en een *Living Machine* is geworden. Een systeem met alleen plantenwortels zou veel meer onderhoud vergen en een groter oppervlak vragen.

Een FCR of MNR bestaat uit opeenvolgende modules met verschillende beluchtingsregimes en organismen. Organica en Biopolus hebben onderzocht dat in hun systemen meer dan 3.000 soorten organismen voorkomen en dat er 8 tot 12 kg biomassa per m<sup>3</sup> water aanwezig is. Behalve bacteriën bestaat de biomassa uit planten, protozoa, wormen, mosselen, slakken en geleedpotigen.

De installaties worden ontworpen voor de verwijdering van organisch materiaal en soms ook specifiek voor het behalen van strenge nutriëtnormen. In de aerobe reactors treedt nitrificatie op, gevolgd door denitrificatie door een anoxische stap te doorlopen. Door sedimentatie en opname door organismen treedt fosfaatverwijdering op. In vergelijking met biologische fosfaatverwijdering zoals bij conventionele rwzi's, is dit echter niet veel. De installaties kunnen wel ontworpen worden voor biologische fosfaatverwijdering, maar dan is er sprake van een hybride systeem met actiefslib en slib-op-drager, een IFAS (integrated fixed film activated sludge)-systeem.

## Onderzoek

Voordat waterschappen de nieuwe technologie omarmen, moeten er vele vragen beantwoord worden. Hierbij dienen zij af te gaan op harde data en dient er een verdere onderbouwing plaats te vinden. In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) is een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de werking van de systemen en hun voor- en nadelen.

Er is gezocht naar onafhankelijke meetgegevens van bestaande systemen om de werking en de kosten en baten van zuiverende kassen boven water te krijgen. Hierbij gaat het niet alleen om gegevens over het functioneren van het systeem, maar ook om 'randzaken', zoals voor- en nabehandeling, slibproductie en benodigde menskracht, om een beeld te kunnen vormen of zuiverende kassen een volwaardig of beter alternatief zijn voor conventionele rwzi's met actiefslib.

In de loop van het onderzoek werd duidelijk dat onafhankelijke meetgegevens van zuiverende kassen beperkt voorhanden zijn. Er zijn metingen gedaan in een beperkt aantal zuiverende kassen van Organica. Biopolus had ten tijde van het onderzoek nog geen zuiverende kassen gerealiseerd. Hierdoor is het lastig om een objectief beeld te krijgen van de voor- en nadelen van zuiverende kassen. Dit is deels ondervangen door beide ontwerpers ontwerpen te laten maken voor twee bestaande rwzi's (van 10.000 en 50.000 inwoner equivalent, i.e.) en de resultaten te vergelijken met ontwerpen van conventionele rwzi's. Vervolgens zijn aan de hand van de uitkomsten van deze ontwerpen nadere vragen gesteld aan de fabrikanten om meer inzicht te krijgen in hun ontwerpproces en de parameters waarmee zij rekenen.

## Bestaande systemen

Van een aantal bestaande systemen waren meetgegevens voorhanden. In tabel 1 staat een overzicht van deze systemen, hun capaciteit en het jaar van ingebruikname.

*Tabel 1. Overzicht van bestaande systemen waarvan data voorhanden waren.*

Naam	Type	Capaciteit (m <sup>3</sup> /d)	Jaar ingebruikname
South Pest (Organica, Hongarije)	FCR	80.000	2012
Etyek (Organica, Hongarije)	FCR	1.000	2007
Telki (Organica, Hongarije)	FCR	800	2005
Le Lude (Organica, Frankrijk)	FCR	815	2010
Melbourne pilot (Organica, Australië)	FCR	85	2015

De zuiverings- en operationele eigenschappen van deze systemen staan in tabel 2.

*Tabel 2. Zuiverings- en operationele eigenschappen van de bestaande systemen*

Parameter	South Pest		Etyek		Telki		Melbourne		Le Lude		Eenheid
	Eis	Kwaliteit	Eis	Kwaliteit	Eis	Kwaliteit	Eis	Kwaliteit	Eis	Kwaliteit	
Effluentkwaliteit											
CZV	< 125	55,1	< 100	42,8	< 125	52			< 125	37	mg/l
BZV5	< 25	13,3	< 30	7,2	< 25	9	< 10	2,8	< 25	6	mg/l
Zwevend stof	< 35	9,1	< 35	10,9	< 35	9	< 20	14	< 35	8	mg/l
Totaal N	< 35	24,4	< 35	16,7	< 35	10	< 20	19	< 15	8	mg N/l
NH <sub>4</sub> -N	< 10	5,53	< 10	4	< 10	3		0,27			mg N/l
Totaal P	< 5	0,95	< 5	2,8	< 5	1		6,08	< 4,8	0,7	mg P/l
<b>Slibproductie</b>											
DS per m <sup>3</sup> afvalwater		0,17		0,28						0,11	kg/m <sup>3</sup>
DS per kg BZV in het influent		0,93		0,87						0,56	kg/kg
DS per kg verwijderd BZV		1,1		1,45							kg/kg
<b>Energieverbruik</b>											
Totaal per m <sup>3</sup> afvalwater				1,33 <sup>a</sup>		0,82 <sup>a</sup>		4,9 <sup>a</sup>			MJ/m <sup>3</sup>

<sup>a</sup> voor totale behandeling, incl. kasverwarming

De effluentkwaliteit voldoet bij alle systemen aan de gestelde eisen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de effluenteisen aan nutriëntenconcentraties hoger zijn dan die in Nederland. Voor meer details over de systemen, zie het STOWA-rapport hierover [2].

### Ontwerpvrage

De cijfers en informatie van de bestaande systemen zijn afkomstig van de betreffende leverancier. Naast het feit dat dit geen onafhankelijke bron is, zijn de omstandigheden en scenario's niet geheel te vergelijken met die in Nederland. Zo zijn de effluenteisen voor stikstof en fosfaat in Nederland strenger en is het verschil in aanvoer tussen droog weer en regen weer groter.

Om deze reden is bij Organica en Biopolus een ontwerpvrage uitgezet voor twee scenario's. Dit zijn het scenario rwzi Vriescheloo (10.000 i.e.) en rwzi Epe (50.000 i.e.). De gedachte is dat op deze manier een bestaande situatie op het gebied van onder andere slibproductie en energie vergeleken kan worden met de desbetreffende ontwerpen. Deze installaties worden echter nog niet belast met de capaciteit waarvoor ze ontworpen zijn en kunnen dus (nog) geen representatieve cijfers laten zien. Om dit op te lossen is gebruikt gemaakt van de ontwerp- en terugreken tool (OWT) van Tauw en de participerende waterschappen (niet openbaar). Voor de ontwerpen is gebruik gemaakt van de gemiddelde influentconcentraties van deze installaties. De scenario's in dit artikel zullen respectievelijk 'Vriescheloo' en 'Epe' genoemd worden. Rwzi Epe is een Nereda™ installatie, maar voor dit onderzoek is dit met de OWT omgerekend tot een conventioneel actief-slib systeem. Een FCR- of MNR-installatie maakt in de basis voor de fosfaatverwijdering gebruik van de dosering van metaalzouten en

kent geen biologische fosfaatverwijdering. Beide partijen hebben aangegeven dat dit wel mogelijk is, maar dat er dan sprake is van een hybride systeem (zowel zwevend als vastgehecht zuiveringslib). Om deze reden en omdat in Nederland over het algemeen de voorkeur wordt gegeven aan biologische fosfaatverwijdering, is voor ieder scenario zowel een installatieontwerp gevraagd voor chemische (Chem-P) als biologische fosfaatverwijdering (Bio-P).

De ruimte in dit artikel is te beperkt om uitgebreid in te gaan op de ontwerpen van Biopolus en Organica. Hiervoor wordt verwezen naar het STOWA rapport [2].

### **Scenario Vriescheloo**

De voorzuivering is vergelijkbaar met die van gangbare systemen: een roostergoedverwijdering (3 mm) en een zand/vetvanger. Organica kiest voor één proceslijn met 6 FCR's, Biopolus voor twee straten met elk 6 MNR's. Organica kiest voor een recirculatie tussen de zesde en eerste FCR ten behoeve van denitrificatie. Bij het ontwerp van Biopolus gaat eenderde van het afvalwater naar de tweede MNR en tweederde naar de eerste voor denitrificatie. Organica kiest voor een bypass voor regenwaterafvoer (RWA), waardoor verdund rioolwater gedeeltelijk ongezuiverd de zuivering passeert. Bij Organica volgt een coagulatietank voor fosfaatverwijdering voorafgaand aan een hoge nabezinktank. Een standaard nabehandeling, naar Hongaarse richtlijnen, is met UV. De sliblijn is vergelijkbaar met traditionele systemen: er wordt zowel ingedikt als ontwaterd. Biopolus kiest na de MNR-straten voor een pijpflocculator, voor coagulatie/flocculatie voor een DAF-installatie. Na afloop van deze installatie volgt nog een microfilter en eventueel een UV-desinfectie. Het slib vanuit de DAF- en Microfilter wordt, na buffering in een beluchte slibtank, ontwaterd.

In tabel 3 zijn de verwachte effluentconcentraties te zien van het conventionele ontwerp en de ontwerpen van Organica en Biopolus. In tabel 4 is het verwachte ruimtegebruik weergegeven en in tabellen 5 en 6 het energieverbruik.

Het reactorvolume van de zuiverende kassen is rond de 50% kleiner dan het actiefslibmodel. Een aspect dat niet is meegenomen in deze vergelijking zijn de volumes en oppervlakken van de overige procesonderdelen, zoals een nabezinktank.

*Tabel 3. Verwachte effluentconcentraties\**

Parameter	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Vriescheloo	Chem-P	Bio-P	Chem-P
CZV	mg/l		38	39	85	70
BZV	mg/l	5,3	4,6	4,2	6,5	7,0
Ammonium	mg/l	1,5	2,2	0,9	3,0	4,0
Nitraat	mg/l	10,3	11,3	12,4	10,0	9,0
Totaal –N	mg/l	13,3	14,8	14,5	14,5	14,5
N-org	mg/l	1,5	1,3	1,3	1,5	1,5
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	<i>n.b.</i>	1,7	1,3	0,5	0,5
Totaal-P	mg/l	1,2	1,9	1,7	2,0	2,0
O.B.	mg/l	<i>n.b.</i>	10,0	10,0	<30	<30

\*Biopolus bij een minimum van 8°C, Organica en scenario Vriescheloo gemiddelde waarden.

Tabel 4. Verwacht ruimtegebruik

Onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Vriescheloo	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Totaal reactor volume	m <sup>3</sup>	4.300	1.920	2.230	1.898	2.176
Oppervlak Reactoren	m <sup>2</sup>	<i>n.b.</i>	227	345	396	452
Totale oppervlak zuivering	m <sup>2</sup>	<i>n.b.</i>	635	690	921	915

Tabel 5. Verwacht energieverbruik

Energie onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Vriescheloo	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Jaarlijks elektriciteitsverbruik	kWh/y	504.795	378.140	551.880	316.820	439.460
Elektriciteit per m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>	0,46	0,37	0,54	0,31	0,44
- Primaire zuivering	kWh/m <sup>3</sup>	0,006	0,034	0,034	0,04	0,04
- Reactor(en)	kWh/m <sup>3</sup>	0,33	0,26	0,27	0,22	0,35
- Na behandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,012	0,028	0,2	0,011	0,011
- Slibbehandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,063	0,023	0,017	0,026	0,026
- Overig	kWh/m <sup>3</sup>	0,045	0,021	0,017	0,008	0,008

Tabel 6. Energieverbruik van de reactoren, uitgesplitst naar onderdeel

Reactor(en) Uitgesplitst	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Vriescheloo	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Beluchting	kWh/m <sup>3</sup>	0,23	0,195	0,201	0,197	0,273
Menging	kWh/m <sup>3</sup>	0,1	0,062	0,062	0,000	0,017
Recirculatie	kWh/m <sup>3</sup>	0,004	0,005	0,005	0,017	0,056
Dosering	kWh/m <sup>3</sup>	<i>n.a.</i>	0,001		0,001	

In vergelijking met het conventionele ontwerpscenario is het energieverbruik in alle ontwerpen lager met uitzondering van het Bio-P-ontwerp van Biopolus. De oorzaak hiervan is de keuze van nabehandeling. Te zien is dat de verschillen tussen in ieder geval de ontwerpen van Biopolus en het ontwerp van de chemische P-verwijdering van Organica niet zo groot zijn. De bio-P-installatie van Organica heeft een wat hogere beluchtingsenergie dan de andere ontwerpen. Dit energieverbruik neemt wat toe, omdat de reactoren naast slib-opdrager ook actiefslib bevatten en dit de zuurstoftransferefficiëntie negatief beïnvloedt. Het is niet duidelijk waarom dit bij Organica vele malen hoger is dan bij Biopolus. De recirculatie-energie van Organica is opvallend hoger. Dit heeft in het chem-P-scenario te maken met dat er grotere volumes worden rerecirculeerd dan bijvoorbeeld het chem-P van Biopolus. In het geval van de bio-P-installatie is er ook nog een extra recirculatie aanwezig tussen FCR 1 en 2.

De reststoffenproductie is te zien in tabel 7.

*Tabel 7. Productie van reststoffen*

Onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Vriescheloo	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Roostergoed	kg/d	n.b.	0,14	0,14	0,24	0,24
Zand	kg/d	n.b.	74,47	74,47	140	140
Slib	Kg d.s./d	543	616	531	540	520
- waarvan chemisch	Kg d.s./d		90	n.a.	n.b.	n.b.
Plantenbiomassa	Kg d.s./ jaar	n.a.	1.920	1.920	1.180	1.331

In de tabel is te zien dat de ontwerpen van Organica en Biopolus minder biologisch slib produceren dan het actiefslibstelsel. De totale slibproductie wordt echter sterk beïnvloed door het gebruik van metaalzouten. In het geval van Biopolus is de hogere Me:P en het type (zwaardere) metaalzout ook ongunstig. Een opvallend verschil met de ontwerpen van Organica en vooral Biopolus is dat de slibproductie daalt bij biologische fosfaatverwijdering. De lijn der verwachting zou zijn dat dit hybride systeem meer slib moet afvoeren om het fosfaat te verwijderen. Organica meldt na navraag dat er inderdaad veel meer slib uit de nabezinker komt, maar dat dit grotendeels gerecirculeerd wordt terug naar de tweede tank van de hybride versie. P wordt verwijderd met het slib dat niet wordt gerecirculeerd.

### **Scenario Epe**

RWZI Epe heeft de eerste groene weide-Nereda-installatie op praktijkschaal. Deze installatie is (nog) niet representatief voor alle Nereda-installaties, omdat deze nog niet volledig belast is en zogenoemd 'veilig ontworpen' is. Dat wil zeggen dat ook hier praktijkcijfermateriaal niet bruikbaar is voor vergelijking en dat gebruik is gemaakt van de OWT. Gekozen is om de gemiddelde influentcijfers van Epe te gebruiken voor dit scenario. Hierbij is hetzelfde temperatuurprofiel als dat van scenario Viescheloo toegepast.

Ten opzichte van de ontwerpen voor Vriescheloo is er een aantal verschillen. Het meest voor de hand liggende verschil bij het ontwerp van Organica is de aanwezigheid van twee straten met ieder 7 FCR's (8 bij Bio-P) die een groter volume hebben. Wat niet zo voor de hand ligt, is de interne recirculatie voor de denitrificatie. Deze loopt van FCR 5 naar het begin in plaats van naar de laatste reactor. Dit levert in FCR 6 en 7 (of 7 en 8 bij Bio-P) extra denitrificatie op, waarbij het opvalt dat er dosering van een externe koolstofbron (methanol) nodig is om deze voldoende te laten verlopen.

Bij Biopolus is er in vergelijking met het scenario Vriescheloo alleen verschil in de grootte van de MNR's.

In tabel 8 zijn de verwachte effluentconcentraties weergegeven. Een belangrijke kanttekening is dat bij de OWT en het Biopolus-ontwerp de maximale concentraties worden weergegeven (bij een influenttemperatuur van 8°C). Organica hanteert jaargemiddelde waarden. Inhoudelijk betekent dit laatste dat de N-eis bij temperaturen onder de 10°C niet te behalen is. Aangezien de stikstofeis een jaargemiddelde betreft is het in feite niet noodzakelijk hieraan te voldoen.

Tabel 8. Verwachte effluentconcentraties\*

Parameter	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Epe	Chem-P	Bio-P	Chem-P
CZV	mg/l	<i>n.b.</i>	45	48	85	70
BZV	mg/l	5,7	3,8	3,2	7,0	6,5
Ammonium	mg/l	1,5	1,3	1,5	2,5	1,0
Nitraat	mg/l	6,7	7,2	7,2	6,0	8,0
Totaal -N	mg/l	9,7	9,8	9,9	10,0	10,0
N-org	mg/l	1,5	2,6	2,9	1,5	1,0
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	<i>n.b.</i>	1,4	1,1	0,5	0,5
Totaal-P	mg/l	0,2	1,8	1,6	2,0	2,0
O.B.	mg/l	<i>n.b.</i>	6,8	10	<30	<30

\*Biopolus bij een minimum van 8°C, Organica en scenario Vriescheloo gemiddelde waarden.

Het verwachte ruimtegebruik is weergegeven in tabel 9. Het enige opmerkelijke in deze vergelijking ten opzichte van het Vriescheloo-scenario, is het volumeverschil tussen de Chem-P- en Bio-P-ontwerpen van Organica. Bij het voorgaande scenario was het verschil in volume 278 m<sup>3</sup> en in dit scenario is dat 1.552 m<sup>3</sup>. Bij het Biopolus-ontwerp was het verschil 310 m<sup>3</sup> en in dit scenario 330 m<sup>3</sup>. Organica meldt dat dit komt doordat de CZV-concentratie 8% hoger ligt, de BZV-concentratie 7% en de totaal-N-concentratie 7%. Alleen de totaal-P-concentratie ligt lager. Door de hogere concentraties moet de verblijftijd langer worden. In



het Vriescheloo-scenario is de hybride installatie 15% groter dan de FCR en bij het Epe-scenario is dat 25%. Organica ziet niet in hoe dat bij de Biopolus-installaties anders kan zijn, gezien het verschil in belasting.

*Tabel 9. Verwacht ruimtegebruik*

Onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Epe	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Totaal reactor volume	m <sup>3</sup>	11.065	6.600	6.930	6.582	8.134
Totale oppervlak zuivering	m <sup>2</sup>	n.b.	1.566	1.777	2.604	2.739
Reactoren	m <sup>2</sup>	n.b.	1.367	1.480	1.304	1.604
Plantenrekken	m <sup>2</sup>		210	210	280	348

In tabel 10 staat het verwachte elektriciteitsverbruik van de ontwerpen op jaarbasis en het verbruik per m<sup>3</sup> behandeld afvalwater. Dit laatste onderdeel is vervolgens opgesplitst naar energieverbruik per procesonderdeel in tabel 11.

*Tabel 10. Verwachte energieverbruik*

Energie onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Epe	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Jaarlijks elektriciteitverbruik	kWh/y	1.442.115	934.400	1.343.200	878.920	1.497.960
Elektriciteit per m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>	0,49	0,32	0,46	0,301	0,513
- Primaire zuivering	kWh/m <sup>3</sup>	0,007	0,045	0,045	0,021	0,024
- Reactor(en)	kWh/m <sup>3</sup>	0,35	0,22	0,25	0,25	0,42
- Na behandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,014	0,031	0,126	0,004	0,004
- Slibbehandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,04	0,018	0,025	0,026	0,025
- Overig	kWh/m <sup>3</sup>	n.b.	0,009	0,009	n.b.	n.b.

*Tabel 11. Verwachte energieverbruik, opgesplitst naar procesonderdeel*

Energie onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Epe	Chem-P	Bio-P	Chem-P
Jaarlijks elektriciteitverbruik	kWh/y	1.442.115	934.400	1.343.200	878.920	1.497.960
Elektriciteit per m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>	0,49	0,32	0,46	0,301	0,513
- Primaire zuivering	kWh/m <sup>3</sup>	0,007	0,045	0,045	0,021	0,024
- Reactor(en)	kWh/m <sup>3</sup>	0,35	0,22	0,25	0,25	0,42
- Na behandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,014	0,031	0,126	0,004	0,004
- Slibbehandeling	kWh/m <sup>3</sup>	0,04	0,018	0,025	0,026	0,025
- Overig	kWh/m <sup>3</sup>	n.b.	0,009	0,009	n.b.	n.b.

De reststoffenproductie staat in tabel 12. Een opvallend verschil bij de Biopolus-ontwerpen tussen dit en het voorgaande scenario is dat de slibproductie met chemisch slib lager is dan bij het actiefslibontwerp.

Tabel 12. Verwachte reststoffenproductie

Onderdeel	Eenheid	Scenario	Biopolus		Organica	
			Chem-P	Bio-P	Chem-P	Bio-P
Roostergoed	kg/d	n.b.	0,41	0,41	0,69	0,69
Zand	kg/d	n.b.	286,2	286,2	146	146
Slib	Kg d.s./d	1.982	1.380	1.499	1.880	1.740
Waarvan chemisch	Kg d.s./d	n.a.	139	n.a.	n.b.	n.b.
Planten biomassa	Kg d.s./j	n.a.	4.200	4.200	4.008	4.970

## Conclusie

Op basis van deze theoretische ontwerpen is in ieder geval duidelijk dat deze systemen compacter zijn dan huidige conventionele actiefslibsystemen. De slibproductie is over algemeen lager (m.u.v. Biopolus chem-P in scenario Vriescheloo) en zo ook het energieverbruik (m.u.v. Organica Bio-P-installaties). De afwijkende ontwerpen maken niet duidelijk of de installaties op alle punten een verbetering zijn ten aanzien van het actiefslibstelsel. Om de techniek op praktijkschaal te kunnen evalueren zouden waterschappen een of meer installaties kunnen realiseren waarin nader onderzoek mogelijk is.

## Literatuur

[1]. Todd, J. & B. Josephson (1996). The design of living technologies for waste treatment. *Ecological Engineering* 6(1996): 109-136.

[1]. STOWA (2017). *Verkenning Zuiverende Kassen*. STOWA rapport 2017/45.