

Uitgangspunten t.b.v uitvoering LCA voedselresten in waterketen

Werkrapportnummer 2015-W-02

30 maart 2015

Inhoud

1 Inleiding	7
2 Toelichting bij routes	8
2.1 Waterketen – route 3	8
2.1.1 Inzamelingssysteem huishoudens (binnen de perceelgrens)	8
2.1.2 Inzamelingssysteem in openbaar gebied en afvalwatertransport	8
2.1.3 Afvalwaterbehandeling	8
2.2 Nieuwe waterketen – route 4	9
2.2.1 Inzamelingssysteem huishoudens (binnen de perceelgrens)	9
2.2.2 Inzamelingssysteem in openbaar gebied en afvalwatertransport	9
2.2.3 Afvalwaterbehandeling	10
2.2.4 Toekomstige case - Nieuwe waterketen	10
3 Voedselrestenvermalers	11
3.1 Leveranciers, modellen en toegepaste materialen	11
3.2 Watergebruik	12
3.2.1 Waterketen– route 3	12
3.2.2 Nieuwe waterketen – route 4	12
3.3 Energiegebruik (route 3 en 4)	12
4 Afvalwatertransport	13
4.1 Afvalwaterhoeveelheid en transportenergie	13
4.1.1 Waterketen – route 3	13
4.1.2 Nieuwe waterketen – route 4	14
4.2 Emissies	15
5 Waterketen route (route 3)	17
5.1 Inleiding	17
5.2 Kwantificeren van effecten	17
5.3 Algemene omrekening	18
5.4 Samenstelling afvalwater met voedselresten	18
5.5 Worst-case - Rioolwaterzuiveringsinstallaties zonder voorbezinktank en slibgisting	19
5.5.1 Toelichting rwzi concept	20
5.5.2 Energie afvalwaterzuivering	20
5.5.3 Slibproductie en slibgisting	20
5.5.4 Gebruik chemicaliën	21
5.5.5 Effluent	21
5.5.6 Emissies	22
5.6 Best-case - Rioolwaterzuiveringsinstallaties met voorbezinktank en slibgisting	22
5.6.1 Toelichting rwzi concept	23
5.6.2 Energie afvalwaterzuivering	23
5.6.3 Slibproductie en slibgisting	24
5.6.4 Gebruik chemicaliën	26
5.6.5 Effluent	27
5.6.6 Emissies	27

6 Nieuwe waterketenroute (route 4)	28
6.1 Inleiding	28
6.2 Kwantificeren van effecten	28
6.3 Rioolwaterzuiveringsinstallatie conform nieuwe waterketen concept	28
6.3.1 Toelichting rwzi concept	29
6.3.2 Samenstelling afvalwater	29
6.3.3 Slibproductie en slibgisting	31
6.3.4 Energie afvalwaterzuivering	33
6.3.5 Gebruik chemicaliën	36
6.3.6 Effluent	37
6.3.7 Emissies	37
7 Vergelijking van waterketen route (route 3) en nieuwe waterketen route (route 4)	38
Literatuurlijst	39
Bijlage 1 Hoofdonderdelen zuiveringsconcept nieuwe waterketen	40
Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse waterketen bij penetratiegraad van 1, 5, 10 en 50 %	42
Bijlage 3 Uitgangspunten bij waterketen route voor rendement voorbezinking, actief-slibtank, slibgisting en energieproductie	48
Colofon	50

1 Inleiding

Toepassing van een voedselrestenvermaler in huishoudens voor de afvoer van groente en fruitafval (GF-afval), ofwel voedselresten kan een interessante optie zijn voor de toekomstige afvalwater- en afvalketen. Door toepassing van voedselrestenvermalers zal (een deel van) de voedselresten niet meer met de groene container of grijze container worden afgevoerd, maar zal het via de riolering afgevoerd worden naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi). Of toepassing van voedselrestenvermaler daadwerkelijk een interessante optie is en hoe zich dit verhoudt met de reeds bestaande inzamel- en verwerkingsroutes (groene en grijze container), is vooralsnog onbekend.

Het doel van het onderzoek is om inzicht te verkrijgen of toepassing van voedselrestenvermalers in de afvalwaterketen leidt tot een doelmatige en duurzame¹ inzameling, transport en verwerking afval- en afvalwater. Om een beeld van de afval- en afvalwaterketen te geven is een inventarisatiefase gehouden. Bij uitvoering van de inventarisatiefase is zoveel data als mogelijk verzameld. Ten behoeve van een goede vergelijking tussen de situatie met voedselrestenvermalers en zonder voedselrestenvermalers is het essentieel om voor de uitwerking van de verschillende scenario's een afwegingskader op te stellen waarbinnen de scenario's worden getoetst. Met behulp van een Life Cycle Analysis (kortweg: LCA) worden van een aantal scenario's het effect van de verwerking van voedselresten bepaald.

In dit werkrapport zijn de uitgangspunten (incl. onderbouwing) opgenomen voor de uitvoering van de LCA in relatie tot de afvalwaterketen. Voor het inzichtelijk maken van het effect van de toevoeging van voedselresten zijn twee verschillende routes binnen de afvalwaterketen verkend. Het betreffende de routes: waterketen (route 3) en de nieuwe waterketen² (route 4). Bij de waterketenroute is onderscheid gemaakt in een worst-case en best-case rwzi. Voor een overzicht van de verschillende routes bij de LCA alsmede de uitgangspunten voor de afvalketen (route 1 en 2) wordt verwezen naar het hoofdrapport van STOWA [1].

In hoofdstuk 2 volgt een toelichting op de verschillende routes. De uitgewerkte verschillende routes (waterketen en nieuwe waterketen) hebben invloed op hoe het afvalwater wordt ingezameld - zowel binnenshuis als in openbaar gebied - en hoe de afvalwaterbehandeling kan plaatsvinden. In hoofdstuk 3 wordt voor beide routes een toelichting gegeven op hoe de voedselrestenvermalers worden gebruikt (qua energie en drinkwatergebruik). Hoofdstuk 4 behandelt de verschillen tussen de routes voor het afvalwatertransport. In hoofdstuk 5 worden voor twee scenario's (worst en best-case) de effecten van voedselresten uitgewerkt voor de waterketenroute (route 3) en in hoofdstuk 6 is dit voor de nieuwe waterketenroute uitgewerkt (route 4). In hoofdstuk 7 zijn ten slotte - ter overzicht - de kengetallen van de nieuwe waterketen naast de kengetallen van de best-case waterketen (rwzi met voorbezinktank) gepresenteerd.

¹ Verlagen milieubelasting

² De nieuwe waterketen route is gebaseerd op nieuwe sanitatie

2 Toelichting bij routes

2.1 Waterketen – route 3

2.1.1 Inzamelingssysteem huishoudens (binnen de perceelgrens)

Het afvalwater dat vanuit woningen (en bedrijven) vrijkomt wordt onder vrij verval ingezameld door de binnenriolering. Dit afvalwater wordt veelal samen met het regenwater dat op de percelen valt, via de perceelriolering onder vrijverval afgevoerd naar het gemeentelijke rioolstelsel.

2.1.2 Inzamelingssysteem in openbaar gebied en afvalwatertransport

Het ingezamelde afvalwater in combinatie met regenwater dat vrijkomt vanuit de woningen (en bedrijven) wordt vervolgens geloosd op het gemeentelijk riool. In het gemeentelijk riool wordt het huishoudelijk afvalwater en regenwater verder gemengd met afvalwater en regenwater van bedrijven en voor zover van toepassing afvalwater van industrie. Het afvalwater en het afstromende regenwater wordt al dan niet via een rioolgemaal afgevoerd naar een rwzi.

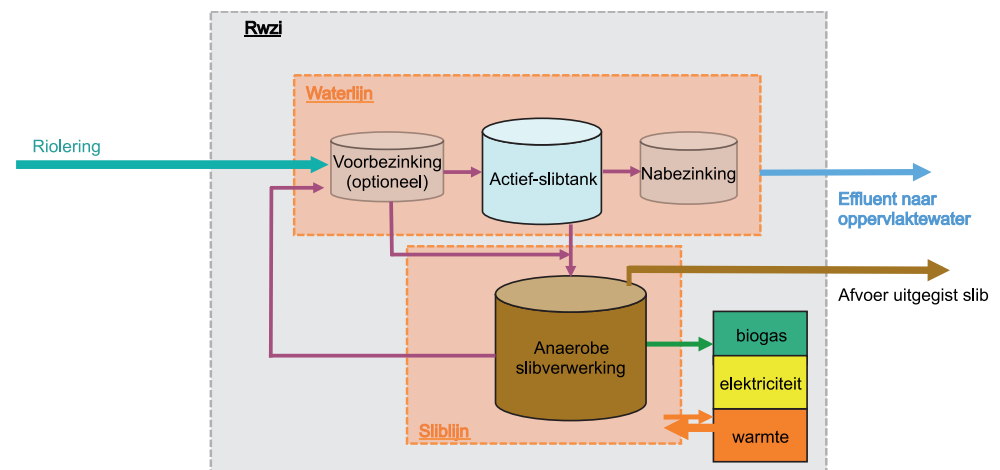
2.1.3 Afvalwaterbehandeling

Het ingezamelde afvalwater wordt behandeld op een rwzi. De samenstelling van het afvalwater varieert afhankelijk van het aangesloten gerioleerd gebied (platteland, dorp, stad, industrie), het type rioolstelsel (gescheiden, gemengd, persleiding, vrijvervalrioel, lengte en helling van het rioolstelsel, staat van het riool: lekkage of drainage) en de diverse lozingen. De verwerking van het afvalwater bestaat in hoofdlijnen uit de volgende stappen:

- Afscheiden grove delen (doorgaans alles groter dan 6 mm wordt middels een rooster afgescheiden)
- Zandverwijdering (doorgaans wordt bij de rwzi's ook zand verwijderd ter voorkoming van extra slijtage van onderdelen)
- Afhankelijk van de grootte van de rwzi wordt optioneel voordat het afvalwater wordt gereinigd voorbezinking plaats. Hierbij ontstaat slib, ook wel primair slib genoemd, dat kan worden vergist
- Reiniging afvalwater met behulp van bacteriën (actiefslib)
- Afscheiding van gereinigd water en actiefslib (in een nabezinktank), het gereinigd water wordt geloosd op lokaal oppervlaktewater
- Spuien van hoeveelheid slib als gevolg van groei actief slib, wordt ook wel secundair slib of spuislib genoemd
- Verdere verwerking van slibhoeveelheid door vergisting en ontwatering (vaak centraal op grotere rwzi's)
- Afzetten van vergist ontwaterd slib naar slibeindverwerker

Het voorgaande is op hoofdlijnen schematisch weergegeven in figuur 2.1. Aangezien de inrichting van de rwzi's in Nederland sterk verschilt, is gekozen om de effecten van het toevoegen van voedselresten aan het afvalwater van twee type rwzi's te bepalen. In hoofdstuk 5 zijn de effecten beschreven.

Figuur 2.1 Schematische weergave van hoofdlijnen van een rwzi



2.2 Nieuwe waterketen – route 4

Bij de nieuwe waterketen route zijn er in relatie tot de huidige afvalwaterinzameling diverse aanpassingen. Hierna worden de aanpassingen besproken.

2.2.1 Inzamelingssysteem huishoudens (binnen de perceelgrens)

Bij deze route wordt de inzameling van het afvalwater anders ingericht. Het zwart³- en het grijswater⁴ worden van elkaar gescheiden. Om deze reden beschrijven we het inzamelings-systeem van het zwart- en het grijswater apart:

Zwartwater:



De huishoudens worden voorzien van vacuümtoiletten en ook een voedselrestenvermaler in de keuken. Het watergebruik van de vacuümtoiletten ligt op circa 1 liter per spoelbeurt [2] (t.o.v. 6 à 8 liter bij een gewoon toilet). Het watergebruik van de voedselrestenvermaler ligt op 0,5 tot 1 liter per persoon per dag [5]. Bij aansluiting op het vacuümriool ligt het watergebruik aanzienlijk lager omdat bij dit systeem de onderdruk in het riool het transportmedium is in plaats van water. Het zwartwater wordt in combinatie met de vermalen voedselresten door een vacuüm-riolering afgevoerd. De vacuümleiding verlaat de woning aan de voorzijde. Deze leiding wordt op het hoofdvacuümriool aangesloten welke onder de stoep/in de groenzone is gelegen.

Grijswater:



Het water afkomstig van douches, vaatwassers, wasmachines, et cetera wordt binnenshuis opgemengd en onder vrijval afgevoerd vanuit de huishoudens. Deze leiding verlaat de woning aan de voorzijde en wordt aangesloten op het hoofdriool welke onder de weg is gelegen.

2.2.2 Inzamelingssysteem in openbaar gebied en afvalwatertransport

In deze situatie blijft de verdere inzameling van het zwart- en grijswater van elkaar gescheiden:

Zwartwater:



In de wijk is de verdere inzameling van zwartwater en de vermalen voedselresten met een hoofdvacuümriool. Het hoofdvacuümriool voert het water door het heersende vacuüm verder af naar het vacuümstation in of nabij de wijk. Vanuit het vacuümstation wordt met behulp van een pomp het water afgevoerd naar de rwzi⁵. De energievraag voor het afvalwatertransport ligt netto hoger in relatie tot de conventionele afvalwatertransport.

Grijswater:



In de wijk is de verdere inzameling van grijswater met een vrijval rioolstelsel. Het afvalwater stroomt naar een rioolgemaal waar het met behulp van een pomp wordt afgevoerd naar het gemeentelijk hoofdriool. Het hoofdriool voert op conventionele wijze het afvalwater naar de rwzi⁵ af waar het ook (op conventionele wijze) wordt gezuiverd.

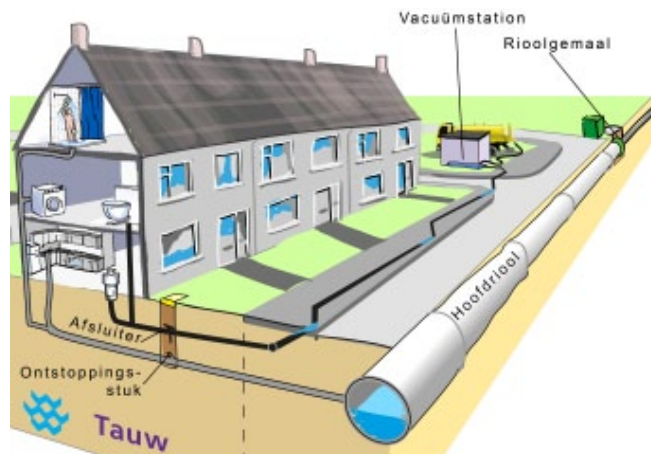
In figuur 2.2 is de situatie illustratief weergegeven.

³ Zwartwater is toiletwater.

⁴ Grijswater is water afkomstig van badkamer, wastafel, wasmachine en afwasmachine.

⁵ Er is momenteel nog onvoldoende ervaring met het transporteren van ingedikte afvalwaterstromen over langere afstanden. Hier wordt momenteel onderzoek naar verricht door de Technische Universiteit Delft.

Figuur 2.2
Inzamelingssysteem in
huishouden en in het
openbaar gebied

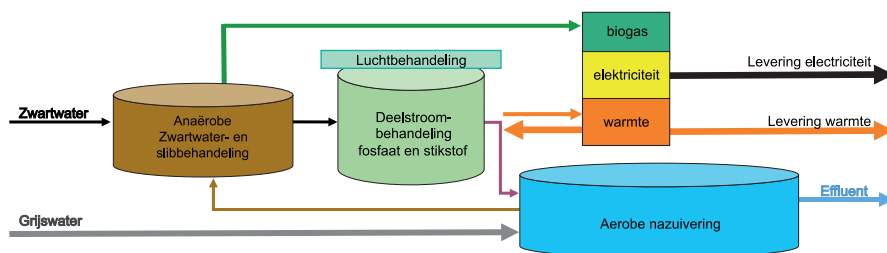


2.2.3 Afvalwaterbehandeling

Door toepassing van vacuümtoiletten en voedselrestenvermalers zal een sterk geconcentreerde afvalwaterstroom vanuit de huishoudens vrijkomen. Deze stroom is zeer energierijk en leent zich uitstekend om direct te vergisten en zodoende duurzame energie op te wekken (biogasproductie). Dit is anders dan de huidige wijze van afvalwaterbehandeling. Het grijswater wordt op de conventionele wijze gezuiverd.

Het zuiveringsconcept voor de nieuwe waterketen is schematisch in figuur 2.3 weergegeven. Elk getekende blok bevat een aantal onderdelen. Een volledige toelichting van de hoofdonderdelen is opgenomen in de bijlage 1.

Figuur 2.3 Schematische
weergave van hoofdlijnen van
een nieuwe waterketen rwzi



2.2.4 Toekomstige case - Nieuwe waterketen

Door de verandering in de afvalwaterketen zullen op het niveau van huishoudens zaken veranderen.

Nutsvoorzieningen (gas, water en elektra)

Gas:



Door toepassing van het concept kan zwartwater direct worden vergist in combinatie met de vermalen voedselresten. Hierdoor zal de biogasproductie aanzienlijk toenemen. Door de warmtekrachtkoppeling (WKK) op de rwzi neemt de energie en warmteproductie toe. De aanvoer naar de gistinginstallatie neemt toe en daardoor de warmtevraag ook (gistinginstallatie wordt bedreven op circa 37 graden Celsius). Netto blijft er bij de WKK een overschot aan warmte. Als dit (buiten de rwzi wordt afgezet) dan zal dit eveneens een besparing van aardgas gaan opleveren. Vooralsnog is er geen rekening gehouden met afzet van warmte.

Water:



Door toepassing van het concept zal de drinkwaterhoeveelheid afnemen doordat per spoelbeurt van het toilet minder water nodig is. De toename in drinkwaterhoeveelheid als gevolg van het gebruik van de voedselrestenvermaler is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de besparing door de vacuümtoiletten.

Elektra:



Door toepassing van een vacuümstation zal het energieverbruik toenemen. Daarentegen neemt de energieproductie door omzetting van het biogas ook toe. Verder hoeft er minder drinkwater te worden geproduceerd.

3 Voedselrestenvermalers

Wanneer voedselresten door de afvalwaterketen verwerkt gaan worden, dan zal bij de huishoudens een voedselrestenvermaler worden toegepast. Bij het uitvoeren van de LCA is rekening gehouden met:

- De toegepaste materialen van een voedselrestenvermaler (zie [1])
- Watergebruik van de voedselrestenvermaler
- Stroomgebruik van de voedselrestenvermaler

De waarden waarmee binnen de LCA is gerekend zijn in navolgende tabel opgenomen. Een toelichting op de waarden volgt daarna.

Omschrijving	Waterketen - route 3		Nieuwe waterketen - route 4	
	Kengetal [# / pers/jaar]	Specifiek LCA [# / kg GF]	Kengetal [# / pers/jaar]	Specifiek LCA [# / kg GF]
Watergebruik	+ 1,10 m ³	+ 16,8 liter	+ 0,3 m ³	+ 5,6 liter
Energiegebruik	+ 1,5 kWh	+ 0,022 kWh	+ 1,5 kWh	+ 0,022 kWh

Tabel 3.1 Kengetallen water- en energiegebruik

3.1 Leveranciers, modellen en toegepaste materialen

Er zijn meerdere leveranciers van voedselrestenvermalers (onder andere InSinkErator, WasteKing, Franke, Wastemaid, Ecosink). De grootste naam/fabrikant wereldwijd is InSinkErator. Zij leveren verschillende typen voedselrestenvermalers. Voor de Nederlandse markt⁶ hebben ze vijf modellen geselecteerd (zie navolgende tabel). Het meest gangbare model wereldwijd is Model 65 [2].



Tabel 3.2 Overzicht modellen InSinkerator voor Nederlandse markt

Model	Evolution 200	Evolution 100	Model 65	Model 55	Model 45
Type vermalen	3-fase vermaler	2-fase vermaler	1-fase vermaler	1-fase vermaler	1-fase vermaler
Garantie	6 jaar	5 jaar	4 jaar	3 jaar	2 jaar
Vermogen	0,75 pk (0,56 kW)	0,70 pk (0,52 kW)	0,65 pk (0,48 kW)	0,55 pk (0,41 kW)	0,45 pk (0,33 kW)
Inhoud maalkamer	1180 ml	1005 ml	980 ml	980 ml	980 ml
Afmetingen (diameter x hoogte)	234 x 344 mm	205 x 312 mm	185 x 318 mm	173 x 318 mm	159 x 318 mm
Bijzonderheden	60% stiller t.o.v. model 55 Standaard voorzien van luchtdruk- schakelaar	40% stiller t.o.v. model 55 Standaard voorzien van luchtdruk- schakelaar	20% stiller t.o.v. model 55 Standaard voorzien van luchtdruk- schakelaar		

Een voedselrestenvermaler is slechts kort in gebruik. Gemiddeld gezien is de verwachting dat een voedselrestenvermaler circa 30 seconden per persoon per dag in gebruik is.

⁶ Alhoewel het momenteel verboden is om voedselrestenvermalers aan te sluiten op de riolering is de verkoop niet verboden. Voedselrestenvermalers worden momenteel voornamelijk verkocht bij de luxere keukenzaken en via webshops. Het is niet bekend hoeveel voedselrestenvermalers er reeds in Nederland in gebruik zijn (persoonlijke communicatie dhr. Teunissen, sales manager InSinkerator). Dit kan niet worden nagegaan, omdat voedselrestenvermalers ook eenvoudig via Duitse of Engelse webshops kunnen worden besteld.

3.2 Watergebruik

3.2.1 Waterketen– route 3

Om de voedselresten vanuit de voedselrestenvermaler af te kunnen voeren naar het riool wordt water gebruikt. Water is dus het transportmedium. De universiteit van Karlsruhe [4] heeft onderzoek gehouden naar het toepassen van voedselrestenvermalers en heeft onder andere gekeken naar het watergebruik. Er is voor verschillende typen voedselresten bepaald wat daarbij de benodigde hoeveelheid water is. Het gemiddelde watergebruik is 10,65 liter per kilogram voedselresten [4]. Uitgaande van 65 kg per persoon per jaar [5] aan voedselresten en een gemiddelde van 10,65 liter per kilogram voedselresten [4] resulteert dit in een gemiddeld watergebruik van circa 2 liter per persoon per dag. In de praktijk zal mogelijk meer water worden gebruikt dan strikt noodzakelijk. De verwachting is dat een gemiddeld watergebruik van 3 liter per persoon per dag een reële waarde is, ofwel circa 1,1 m³ per persoon per jaar. Omgerekend is het watergebruik dan 16,8 liter per kilogram voedselresten.

3.2.2 Nieuwe waterketen – route 4

Bij de nieuwe waterketen is de voedselrestenvermaler aangesloten op het vacuümriool. Om de voedselresten af te voeren vanuit de voedselrestenvermaler wordt (een kleine hoeveelheid) water gebruikt en wordt gebruik gemaakt van de onderdruk. Het watergebruik van de voedselrestenvermaler ligt op 0,5 tot 1 liter per persoon per dag [2]. De verwachting is dat een gemiddeld watergebruik van 1 liter per persoon per dag een reële waarde is, ofwel circa 0,3 m³ per persoon per jaar. Omgerekend is het watergebruik dan 5,6 liter per kilogram voedselresten.

3.3 Energiegebruik (route 3 en 4)

Het energiegebruik van de voedselrestenvermaler is voor beide routes gelijk. Immers hangt de gebruikstijd af van het te vermalen product en minder/niet van de afvoer. Zoals hiervoor genoemd is 'Model 65' het meest toegepaste model. Dit model heeft een vermogen van 0,48 kW en wordt naar verwachting gemiddeld 30 seconden per persoon per dag gebruikt. Het vermogen komt daarmee op circa 1,5 kWh per persoon per jaar. Omgerekend is dit 0,022 kWh per kilogram voedselresten.

4 Afvalwatertransport

Bij het uitvoeren van de LCA studie is rekening gehouden met:

- De toename van de afvalwaterhoeveelheid
- Toename van het energiegebruik
- Toename van emissies

De waarden waarmee gerekend is binnen de LCA zijn in navolgende tabel opgenomen.

Een toelichting op de waarden volgt daarna.

Omschrijving	Waterketen - route 3		Nieuwe waterketen - route 4	
	Kengetal [# / pers/jaar]	Specifiek LCA [# / kg GF]	Kengetal [# / pers/jaar]	Specifiek LCA [# / kg GF]
Toename afvalwaterhoeveelheid	+ 1,16 m ³	+ 0,018 m ³	0,44 m ³	0,007 m ³
Toename transportenergie vrijverval	+ 0,42 kWh	+ 6,4 Wh	0 kWh	0 kWh
Toename transportenergie vacuümriool	n.v.t.	n.v.t.	+ 2,4 kWh	+ 0,04 kWh
Toename methaanemissie	+ 50,7 liter	+ 0,8 liter	+ 50,7 liter	+ 0,8 liter

Tabel 4.1 Kengetallen afvalwaterhoeveelheid, energiegebruik en emissies

4.1 Afvalwaterhoeveelheid en transportenergie

4.1.1 Waterketen – route 3

Afvalwaterhoeveelheid

De gemiddelde afvalwaterhoeveelheid afkomstig van de huishoudens is 120 liter per persoon per dag [6]. Wanneer rekening wordt gehouden met 5 toiletbezoeken [7⁷] per dag en een watergebruik van 7 liter per spoelbeurt en 300 ml urine/feces [8] dan komt de afvalwaterhoeveelheid op 36,5 liter per persoon per dag. Voor grijswater wordt standaard uitgegaan van 90 liter per persoon per dag [6]. De totaal berekende afvalwaterhoeveelheid is dan 126,5 liter per persoon per dag en ligt iets hoger dan de eerder genoemde 120 liter.

De afvalwaterhoeveelheden zijn procentueel verlaagd om tot de 120 liter per persoon per dag te komen. Voor grijswater komen we dan op circa 85,4 liter per persoon per dag ($90 \times 120,1 / 126,5$) en voor zwartwater op 34,7 liter per persoon per dag ($36,5 \times 120,1 / 126,5$).

Voor het wegspoelen van de voedselresten bij de voedselrestenvermaler is aangehouden dat het watergebruik circa 3 liter per persoon per dag (circa 1,1 m³/jaar) is. Gemiddeld wordt 65 kg per jaar aan voedselresten per persoon [5] vermalen. Het vochtgehalte van voedselresten is circa 80 % [5]. Voor het berekenen van de totale afvalwaterhoeveelheid dient rekening te worden gehouden met deze hoeveelheid. Aangenomen is dat de dichtheid van voedselresten gelijk is aan de dichtheid van water (1 kg/l). De totale toename van afvalwater is dan circa 3,1 liter per persoon per dag, ofwel circa 1,2 m³ per persoon per jaar.

In tabel 4.2 'Geloosde hoeveelheden afvalwater per persoon per etmaal bij waterketen' staan de dagelijkse debieten van de verschillende huishoudelijke afvalwaterstromen weergegeven (per persoon).

⁷ In 1995 heeft NIPO een onderzoek uitgevoerd naar de frequentie van het toiletgebruik voor binnens- en buitenshuis. Deze bevindingen zijn gebruikt in [7]. Het dagelijkse toiletgebruik ligt op gemiddeld 6,9 keer per dag. Hiervan vinden gemiddeld 5,8 toiletbezoeken per dag binnenshuis plaats. Aangehouden is dat er 5 toiletbezoeken plaatsvinden.

Tabel 4.2 Geloosde hoeveelheden afvalwater per persoon per etmaal bij waterketen

Aspect	Eenheid	Waterketen zonder voedselresten-vermalers	Waterketen met voedselresten-vermalers
Zwartwater	l p.p.p.d.	34,7	34,7
Grijswater	l p.p.p.d.	85,4	85,4
Voedselresten	kg p.p.p.d.	0,178	0,178
Watergebruik voedselrestenvermaler	l p.p.p.d.	N.v.t.	3,0
Totaal	l p.p.p.d.	120,1	123,3^A
- via vacuümriool	l p.p.p.d.	N.v.t.	N.v.t.
- via vrijverval	l p.p.p.d.	120,1	123,3

A. Dit is inclusief het gewicht van voedselresten. De dichtheid van voedselresten is gelijkgehouden aan de dichtheid van water. Dit vanwege de aanzienlijke hoeveelheid vocht in voedselresten.

Transportenergie

Doordat de hoeveelheid te transporteren afvalwater toeneemt, zal eveneens het energiegebruik van het afvalwatertransport toenemen. In Nederland wordt het afvalwater onder vrijverval of met een gemaal getransporteerd. Het transporteren van afvalwater via een vrijvervalriool kost geen extra energie, maar uiteindelijk moet het afvalwater dat onder vrijverval is aangekomen wel worden opgevoerd. Voor de LCA is de transportenergie voor opvoeren gelijk verondersteld aan dat van de rioolgemalen. Volgens de stichting Rioned [9] ligt in Nederland van het vrijverval riool circa 94.700 km en circa 12.000 km persleidingen. Voor de LCA is een gemiddelde hoeveelheid transportenergie bepaald voor het afvalwatertransport met rioolgemalen.

Volgens de bedrijfsvergelijkingzuiveringsbeheer 2012 (kortweg BVZ) [10] was het totale energiegebruik van de rioolgemalen 972 TJ_{prim}⁸ [10]. De hoeveelheid afvalwater dat is getransporteerd met de rioolgemalen bedroeg circa 302 miljoen m³ [10]. De specifieke transportenergie per m³ getransporteerd afvalwater komt daarmee op circa 3,2 MJ_{prim} per m³ afvalwater (0,36 kWh/m³). De afvalwaterhoeveelheid neemt toe met circa 1,2 m³ per persoon per jaar. De transportenergie zal daardoor toenemen met circa 3,7 MJ_{prim} per persoon per jaar, ofwel 0,4 kWh per persoon per jaar. Omgerekend is dit circa 6 Wh per kg voedselresten.

4.1.2 Nieuwe waterketen – route 4

Afvalwaterhoeveelheid

Voor het bepalen van de debieten en vrachten per persoon per dag is gebruik gemaakt van praktijkgegevens uit het demonstratieproject Lemmerweg-Oost en project Waterschoon beide te Sneek. Het aantal toiletbezoeken blijft bij nieuwe waterketen gelijk. In tabel 4.3 staan de dagelijkse debieten van de verschillende huishoudelijke afvalwaterstromen weer-gegeven (per persoon).

Tabel 4.3 Geloosde hoeveelheden afvalwater per persoon per etmaal bij nieuwe waterketen

Aspect	Eenheid	Nieuwe waterketen zonder voedselrestenvermalers	Nieuwe waterketen met voedselrestenvermalers
Zwartwater	l p.p.p.d.	6,2	6,2
Grijswater	l p.p.p.d.	85,4	85,4
Voedselresten	kg p.p.p.d.	0,178	0,178
Watergebruik voedselrestenvermaler	l p.p.p.d.	N.v.t.	1,0
Totaal	l p.p.p.d.	91,6	92,8^A
- via vacuümriool	l p.p.p.d.	6,2	7,4
- via vrijverval	l p.p.p.d.	85,4	85,4

A. Dit is inclusief het gewicht van voedselresten. De dichtheid van voedselresten is gelijkgehouden aan de dichtheid van water. Dit vanwege de aanzienlijke hoeveelheid vocht in voedselresten.

⁸ In de database van de BVZ 2012 staat de eenheid PJ genoemd. Dit is incorrect en moet zijn TJ_{prim}.

Voor de nieuwe waterketen geldt dat door de voedselrestenvermalers de afvalwaterhoeveelheid toeneemt met circa 1,2 liter per persoon per dag, ofwel per persoon per jaar met circa 0,44 m³. Omgerekend per kilogram voedselresten is dit 0,007 m³.

Transportenergie vacuümriool

De energievraag voor het creëren van een vacuüm en het verpompen van het zwartwater bedraagt 28,2 kWh/i.e.jaar [11]. Omgerekend naar de hoeveelheid getransporteerd afvalwater komt dit neer op 5,6 kWh/m³⁹. De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn opgenomen in tabel 4.4

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Nieuwe waterketen met voedselresten	Verskil (aandeel voedselresten)
Afvalwatertransport				
- Zwartwater	m ³ /d	533	533	0
- Voedselresten	m ³ /d	0	102	102
- Totaal debiet huishoudens	m ³ /d	533	635	102
- Specifiek energiegebruik	kWh/m ³	5,6	5,6	-
- Transport-energie	kWh/d	2.985	3.556	571

Tabel 4.4 Energie ten behoeve van afvalwatertransport

In de tabel is te zien dat de transportenergie circa 3.560 kWh/dag is. Per persoon per jaar circa 15,0 kWh. Opvallend is dat er bij het project Waterschoon in Sneek een hoger specifiek energiegebruik per persoon wordt berekend, namelijk de eerder genoemde 28,2 kWh/i.e.jaar [11]. Een verklaring voor het berekende verschil, is dat bij het project Waterschoon circa 50 % meer afvalwater vanuit de huishoudens wordt geloosd¹⁰. Hierdoor zal de installatie sneller onderdruk verliezen en zal de installatie vaker in bedrijf zijn.

Het verschil tussen de varianten met en zonder voedselresten is circa 570 kWh/d. Dit komt neer op een toename van circa 2,4 kWh per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit per kilogram circa 37 Wh.

Transportenergie vrijverval riool

Het grijswater wordt op de conventionele wijze afgevoerd. De totale afvalwaterhoeveelheid dat getransporteerd moet worden is voor de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten niet verschillend. Derhalve is het effect 0 kWh per persoon per jaar en per kg voedselresten.

4.2 Emissies

Vanuit de riolering kunnen emissies vrijkomen. De emissies zijn voor beide routes gelijk verondersteld. Qua emissies moet gedacht worden aan:

- Waterstofsulfide (H₂S)
- Methaan (CH₄)
- Lachgas (N₂O)

Er zijn geen betrouwbare cijfers te geven voor de emissies vanuit een rioleringsstelsel. De emissies worden namelijk niet standaard gemeten. Qua waterstofsulfide-emissies kan in ieder geval worden gezegd dat deze worden voorkomen (in verband met stankoverlast). Derhalve zal de emissie van waterstofsulfide nihil zijn.

Onlangs is onderzocht [19] of er bij de rioolgemalen emissies van lachgas en methaan plaatsvinden. Bij dit onderzoek zijn op drie rioolgemalen de concentraties aan methaan en lachgas gemeten. In deze studie wordt het volgende geconcludeerd, zie navolgend kader:

⁹ 28,2 kWh/i.e.jaar [11] = 0,077 kWh/i.e.dag / 0,0137 m³/i.e.dag [11] = 5,6 kWh/m³

¹⁰ Bij project Waterschoon in Sneek wordt 13,7 liter per persoon per dag [11] geloosd en bij aannames huidige studie circa 7,4 (6,2 + 1,178) liter per persoon per dag. Bekend is dat bij project Waterschoon in Sneek het drinkwatergebruik van de voedselrestenvermalers te hoog is, zie ook [17].

Methaan

De metingen in rioolgemalen en -putten laten zien dat emissie van methaan uit de riolering plaatsvindt, in tegenstelling tot de IPCC-richtlijnen die aannemen dat de methaanuitstoot uit de riolering nihil is. De methaanconcentratie is gemeten in peilgestuurde gemalen. Emissies zijn bepaald aan de hand van het gasvolume dat is verplaatst tijdens het vullen van de pompkelder. De snelle boxmetingen, uitgevoerd buiten het gemaal, waarmee zeer lage concentraties meetbaar zijn, hebben bevestigd dat emissies naar de atmosfeer daadwerkelijk optreden (lekkages via putdeksels en kleppen).

Een grote variatie in methaanemissies is gemeten tussen de verschillende rioolgemalen, die mogelijk is te verklaren door het ontwerp en type rioolstelsel (oud versus nieuw stelsel en gemengd versus gescheiden stelsel). Uiteraard is het een grove extrapolatie van de metingen in drie gemalen naar ruim 500 gemalen in Amsterdam, maar de metingen tonen aan dat deze methaanemissie, hoewel beduidend lager dan de totale emissies op rwzi Amsterdam-West, niet verwaarloosbaar is.

Lachgas

Hoewel kwantitatief gering, is ook lachgasemissie waargenomen vanuit het rioolstelsel. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door nitrificatie en denitrificatie in het rioolwater.

Hoewel er dus wel methaan- en lachgasemissies plaatsvinden, kunnen er voor de emissies bij het afvalwatertransport geen betrouwbaar kengetallen worden gegeven. Om deze reden is geen rekening gehouden met de emissies vanuit het rioolstelsel in de LCA.

Wel is in een gevoeligheidsanalyse rekening gehouden met een diffuse emissie. Voor de diffuse emissie is aangenomen dat 1 % van de drogestof wordt omgezet naar methaan (en koolstofdioxide). Voor het inschatten van de emissie is het kengetal van de biogasproductie van voedselresten gebruikt, namelijk circa 0,12 m³/kg voedselresten (zie paragraaf 5.6.3).

De samenstelling van het biogas is circa 65 % methaan en 35 % koolstofdioxide [10].

De biogasproductie vanuit de riolering komt daarmee op circa 1,2 liter per kilogram voedselresten. De methaanemissie is daarmee circa 0,8 liter per kilogram voedselresten.

De CO₂-emissie is in de LCA-studie niet betrokken omdat het kort cyclische CO₂ betreft.

5 Waterketen route (route 3)

5.1 Inleiding

Door toepassing van voedselrestenvermalers zal de samenstelling van het afvalwater veranderen. Door de verandering in de samenstelling van het afvalwater zullen ook de emissies, het energiegebruik, de slibproductie, chemicaliëngebruik veranderen op de rwzi. Bij toepassing van een slibgisting zal ook de biogasproductie (en de daar bijhorende emissies) veranderen. Verder kan de samenstelling van het gereinigde water veranderen. Bij het uitvoeren van de LCA studie is rekening gehouden met:

- Verandering van de samenstelling van het afvalwater
- Verandering van de slibproductie (secundair slib en indien voorbezinktank is toegepast ook primair slib)
- Energiegebruik:
 - Beluchting
 - Ontwatering
- Biogasproductie (indien slibgisting is toegepast):
 - Nuttige toepassing van biogas in WKK
 - Afgefakkelde hoeveelheid biogas
- Chemicaliëngebruik:
 - Defosfatering (ijzerchloride 40 % oplossing)
 - Slibontwatering (Polyacrylamide, kationisch, poeder)
- Verandering van samenstelling geloosd afvalwater:
 - N-totaal
 - P-totaal
- Emissies
 - Methaanemissies
 - Lachgasemissies

De waarden waarmee gerekend is binnen de LCA zijn per scenario sterk verschillend. In navolgende paragrafen zijn de waarden per scenario opgenomen.

5.2 Kwantificeren van effecten

De effecten van het toevoegen van voedselresten op de rwzi zijn met de Tauw ontwerp- en terugrekentool verkend. De ontwerp- en terugrekentool is ontwikkeld in een samenwerkingsverband met waterschappen. Van de 25 waterschappen in Nederland nemen 14 waterschappen deel aan deze samenwerking. Met dit model kunnen veranderingen in de effluentkwaliteit, slibproductie, biogasproductie, energiegebruik en chemicaliëngebruik worden gekwantificeerd.

De Tauw ontwerp- en terugrekentool maakt gebruik van de volgende modellen:

- | | |
|-----------------------------|---|
| • Effluentkwaliteit | HSA + Scheer |
| • Slibproductie | HSA |
| • Biogasproductie | Chen & Hashimoto |
| • Energiegebruik beluchting | Von der Emde en aanvullend Metcalf & Eddy |
| • Chemicaliëngebruik | Stoichiometrisch |

Voor het verkennen van de effecten van het toepassen van voedselresten zijn twee modelleringen uitgevoerd, te weten:

1. Een rwzi met een vuilbelasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen, zie toelichting volgende paragraaf) en zonder voedselresten (huidige situatie)
2. Een rwzi met voedselresten waardoor de vuilbelasting toeneemt naar 131.000 i.e. (aantal personen is gelijk gehouden)

Bij de modellering is dus gekozen om alle huishoudens te voorzien van een voedselrestenvermaler (100 % penetratiegraad). Daarmee zijn de verschillen tussen de modelresultaten groot en zijn de effecten op de rwzi goed inzichtelijk te maken. Als er slechts één huishouden voorzien wordt van een voedselrestenvermaler (of 1 kg voedselresten op de rwzi moet worden gezuiverd) dan zijn er op de rwzi geen effecten waarneembaar (spreekwoordelijk een druppel in de oceaan). Als gevoeligheidsanalyse zijn de effecten inzichtelijk gemaakt wanneer 1, 5, 10 en 50 % van de huishoudens (van ruim 86.000 personen) worden voorzien van een voedselrestenvermaler. Dit is in bijlage 2 opgenomen.

Voor de modellen zijn een aantal uitgangspunten aangehouden. De belangrijkste uitgangspunten zijn in bijlage 3 opgenomen.

5.3 Algemene omrekening

De meeste kengetallen van de rwzi's zijn uitgedrukt in de betreffende eenheid per inwonequivalent (i.e.). De inwonerequivalent geeft de maat van de verontreiniging van het afvalwater aan. Volgens de BVZ zijn in het jaar 2012 circa 22 miljoen i.e.'s aangeslagen [10], het aantal inwoners bedroeg circa 17 miljoen personen [10]. Het aantal gezuiverde i.e.'s ligt hoger dan de 22 miljoen dat de waterschappen aangeslagen hebben (en daarvoor betaald hebben gekregen). De landelijk gemiddelde discrepantie ligt op +12,5 % [10].

De verdeling van de verontreiniging is circa 69 % vanuit de huishoudens en 31 % vanuit de industrie [10]. Gezien de mate van nauwkeurigheid worden deze waarden afgerond op 70 en 30 % voor respectievelijk de huishoudens en de industrie.

De gewogen gemiddelde samenstelling van het ruwe afvalwater volgens de BVZ [10] is weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Gewogen gemiddelde samenstelling van afvalwater

Omschrijving	Eenheid	Waarde
CZV ¹¹	mg/l	520
BZV ¹²	mg/l	201
Zwevende stof (ZS) ¹³	mg/l	241
N-Kj ¹⁴	mg/l	47
P-totaal ¹⁵	mg/l	7
Vuillast	i.e.	1,158

De gewogen gemiddelde samenstelling van het afvalwater heeft een vuillast van 1,158 i.e. Rekeninghoudend dat 70 % van de verontreiniging afkomstig is van huishoudens en dat 50 % van de 12,5 % discrepantie ook van de huishoudens is, dan vertegenwoordigt één persoon 0,86 i.e. ($1,158 \times 70 \% \times (1 + 12,5 \% \times 50 \%)$)

5.4 Samenstelling afvalwater met voedselresten

Door toevoeging van voedselresten verandert de afvalwatersamenstelling. Voor deze studie is een gemiddelde samenstelling van voedselresten aangenomen zoals in tabel 5.2 staat opgenomen. Per persoon wordt er circa 65 kg aan voedselresten vanuit de huishoudens geproduceerd. Naast de extra vrachten neemt het afvalwaterdebiet ook toe met circa 1,2 m³ per persoon per jaar (van 86,3 naar 87,4 m³/pers/jaar). De extra vracht als gevolg van de voedselresten is eveneens in tabel 5.2 opgenomen.

Tabel 5.2 Samenstelling voedselresten [5] en toename van vrachten

Omschrijving	Samenstelling voedselresten [5] [g/kg incl. vocht]	Toename van vrachten [kg/pers/jaar]	Toename van vrachten [g/pers.dag]
CZV totaal	270	17,55	48,1
BZV	190*	12,35	33,8
Zwevende stof (ZS)	190	12,35	33,8
N-totaal ¹⁶	7	0,46	1,2
P-totaal	0,6	0,04	0,1

* Verhouding CZV/BZV van 1,4 aangehouden (bron: artikel Afval in en urine uit het riool?, april 2003, intech K&S, blz 92-94)

11 CZV = Chemisch Zuurstof Verbruik, geeft de mate van chemisch oxideerbare stoffen weer

12 BZV = Biochemisch Zuurstof Verbruik. Het verschil tussen CZV en BZV geeft de mate weer van niet biologisch afbreekbaar materiaal

13 Zwevende stof, ook wel onopgeloste bestanddelen genoemd zijn de filtreerbare deeltjes in vloeistof. De concentratie zwevende stof is niet genoemd in de BVZ. Hiervoor is de algemene rekenregel van 1,2 x BZV aangehouden.

14 N-Kjeldahl, som van ammonium en organisch gebonden stikstof

15 P-totaal, totale hoeveelheid fosfor (totaal van opgelost en gebonden fosfor)

16 N-totaal, totale hoeveelheid stikstof (som van ammonium, nitraat/nitriet en organisch gebonden stikstof)

De samenstelling van het ruwe afvalwater is na toevoeging van voedselresten weergegeven in tabel 5.3.

Omschrijving	Eenheid	Waarde
CZV	mg/l	714
BZV	mg/l	340
Zwevende stof (ZS)	mg/l	379
N-Kj	mg/l	52
P-totaal	mg/l	7
Vuillast	i.e.	1,52

Tabel 5.3 Gewogen gemiddelde samenstelling van afvalwater na toevoeging voedselresten

5.5 Worst-case - Rioolwaterzuiveringsinstallaties zonder voorbezinktank en slibgisting

De waarden waarmee gerekend wordt binnen de LCA voor het worst-case scenario van de waterketen zijn in navolgende tabel opgenomen. Een toelichting op de waarden volgt daarna. Op basis van de gevoeligheidsanalyse kunnen we stellen dat de specifieke kengetallen per kilogram voedselresten niet significant verschillend zijn wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers veranderd. Uitzondering hierop is het specifieke kengetal van de secundaire slibproductie. Bij een lage penetratiegraad kan de slibproductie met 75 - 80 % lager uitvallen.

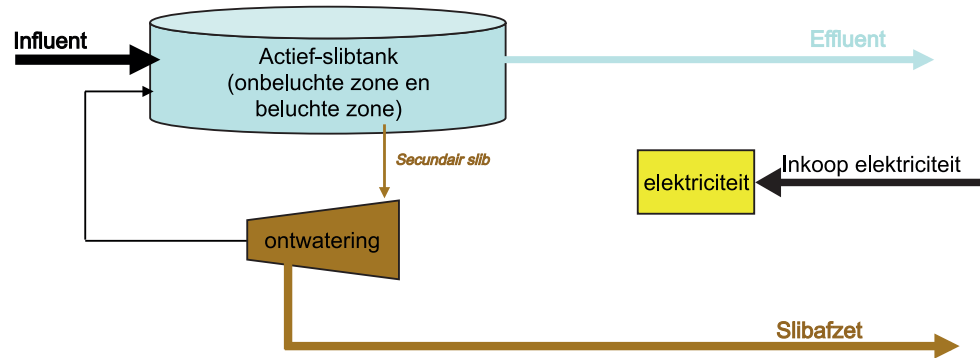
Omschrijving	Kengetal	specifiek LCA
Energie afvalwaterzuivering		
- Energiegebruik beluchting	+ 8,97 kWh/pers/jaar	+ 0,14 kWh/kg GF
- Energiegebruik ontwatering	+ 1,35 kWh/pers/jaar	+ 0,02 kWh/kg GF
- Eigenopwekking	n.v.t.	n.v.t.
Slibproductie & slibgisting		
- Primair slib	n.v.t.	n.v.t.
- Secundair slib	+ 11,02 kg ds/pers/jaar	+ 0,17 kg ds/kg GF
- Uitgegist slib	n.v.t.	n.v.t.
- Totale biogasproductie	n.v.t.	n.v.t.
- Biogas naar WKK	n.v.t.	n.v.t.
- Biogas afgefakkeld	n.v.t.	n.v.t.
Gebruik chemicaliën		
- Defosfatering (FeCl_3 à 40 %)	102 g/pers/jaar	+ 1,57 g/kg GF
- Slibontwatering (kation poeder)	151,12 g/pers/jaar	+ 2,32 g/kg GF
Effluent		
- N-totaal	+ 6,4 g N/pers/jaar	+ $9,82 \cdot 10^{-2}$ g N/kg GF
- P-totaal	- 60,1 g P/pers/jaar	- 0,93 g P/kg GF
Emissies		
- Methaanemissie	+ 0,12 kg CH_4 /pers/jaar	+ 1,89 g CH_4 /kg GF
- Lachgasemissie	+ 0,23 g N_2O -N/pers/jaar	+ $3,50 \cdot 10^{-3}$ g N_2O -N/kg GF

Tabel 5.4 Overzicht waarden voor LCA voor worst-case scenario waterketen

5.5.1 Toelichting rwzi concept

Het worst-case scenario voor de waterketen ziet er in hoofdlijnen als volgt uit, zie figuur 5.1.

Figuur 5.1 Schematische weergave worst-case rwzi



5.5.2 Energie afvalwaterzuivering

Beluchting

Het gewogen gemiddelde energiegebruik voor de beluchting van de zuivering zonder voorbezinktank en slibgistingtanks circa $0,161 \text{ GJ}_{\text{prim}}/\text{ie}_{\text{aanvoer}}\cdot\text{jaar}$ [10]. Voor het omrekenen naar primaire energie wordt rekening gehouden met een elektrisch rendement van 40 % (gemiddeld elektrisch rendement van energiecentrale in Nederland). Het specifiek energiegebruik komt daarmee op $44,7 \text{ kWh}/\text{ie}_{\text{aanvoer}}\cdot\text{jaar}$, ofwel $51,7 \text{ kWh}$ per persoon per jaar. Vanuit de modelresultaten blijkt dat door toevoeging van voedselresten het energiegebruik toeneemt met circa $9,0 \text{ kWh}$ per persoon per jaar. Omgerekend op basis van de hoeveelheid kg voedselresten dat per persoon per jaar wordt geproduceerd is dat $0,14 \text{ kWh}$ per kg voedselresten.

Ontwatering eigen opwekking

Het gewogen gemiddelde energiegebruik van de slibontwatering circa $120 \text{ kWh}/\text{ton ds}_{\text{aanvoer}}$ [10]. Bij deze variant wordt het slib direct ontwaterd op locatie. Het slib wordt vervolgens afgezet naar de slibeindverwerker. Vanuit de modelleringen blijkt dat de hoeveelheid geproduceerd slib toeneemt met circa 11 kg droge stof per persoon per jaar, zie ook paragraaf 5.5.3. Dit betekent dat de energievraag voor ontwatering toeneemt met circa $1,3 \text{ kWh}$ per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een toename van circa $0,02 \text{ kWh}$ per kg voedselresten.

Eigen opwekking

Er vindt geen eigen opwekking van energie plaats.

5.5.3 Slibproductie en slibgisting

Primair slib, uitgegist slib, biogasproductie (naar WKK/afgefakkeld)

Bij deze variant is geen voorbezinktank aanwezig en zal er dus geen primair slib vrijkomen. Daarnaast vindt er geen vergisting van het slib plaats. Hierdoor is er geen uitgegist slib en biogasproductie. Verder vindt er bij deze variant ook geen slibontwatering plaats en gebruikt deze rwzi dus ook geen chemicaliën ten behoeve van de slibontwatering.

Secundair slib

De gewogen gemiddelde slibproductie van de rwzi's zonder voorbezinktanks en slibgistingtanks $15,4 \text{ kg ds}/\text{ie}_{\text{aanvoer}}\cdot\text{jaar}$ [10]. De specifieke slibproductie per persoon komt daarmee op circa $17,8 \text{ kg ds}$ per persoon per jaar. Vanuit de modelresultaten blijkt dat de slibproductie bij deze variant toeneemt met circa 11 kg droge stof per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een toename van circa $0,2 \text{ kg}$ droge stof per kg voedselresten.

5.5.4 Gebruik chemicaliën

Bij deze variant worden chemicaliën gebruikt ten behoeve van de defosfatering en ten behoeve van de ontwatering. Beiden worden hierna toegelicht

Defosfatering

Volgens de BVZ is bij deze variant een jaargemiddeld chemicaliëngebruik van circa 0,009 mol/ie_{aanvoer}.dag [10], ofwel 0,011 mol/pers.dag. Voor de defosfatering wordt ervan uitgegaan dat ijzerchloride (FeCl₃) wordt gedoseerd. Het molgewicht van FeCl₃ is 162,2 g/mol. Verder moet rekening worden gehouden dat het gewichtspercentage van FeCl₃ circa 40 % is. De totale hoeveelheid FeCl₃ (40 % oplossing) dat gedoseerd wordt, is circa 4,3 g FeCl₃ per persoon per dag, ofwel 1,6 kg FeCl₃ per persoon per jaar. Omdat de defosfatering alleen gericht is op de verwijdering van fosfaat (PO₄), is het meer gebruikelijk deze waarde in mol Fe/mol P om te rekenen. Per inwonerequivalent wordt er circa 1,43 g PO₄-P per dag geloosd (1,65 g PO₄-P per persoon per dag). De specifieke dosering komt daarmee op circa 0,2 mol Fe/mol P (0,009 / (1,65 / 30,974)). Door toevoeging van de voedselresten neemt de fosfaatvracht in het influent toe. De specifieke chemicaliëndosering (mol Fe/mol P) is gelijk gehouden in de modellering. Als gevolg hiervan neemt de chemicaliëndosering toe. Per persoon wordt na toepassing van voedselrestenvermalers circa 1,76 g PO₄-P per dag worden geloosd. De totale hoeveelheid FeCl₃ (40 % oplossing) dat gedoseerd wordt, is dan circa 4,6 g FeCl₃ per persoon per dag, ofwel circa 1,7 kg FeCl₃ per persoon per jaar. Het verschil tussen is dan circa 0,1 kg FeCl₃ per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een toename van circa 1,6 g FeCl₃ per kg voedselresten.

Slibontwatering

Om de ontwaterbaarheid van het slib te verbeteren wordt een polymeer toegevoegd. In Nederland worden verschillende producten gebruikt. Voor deze studie is het volgende product geselecteerd 'Polyacrylamide, kationisch, poeder'.

Zoals eerder beschreven (zie subkop: 'secundair slib') neemt de hoeveelheid secundair slib met circa 11 kg ds per persoon per jaar toe. Het gewogen gemiddelde polymeerverbruik is 13,7 kg/ton ds [10]. Door toevoeging van voedselresten neemt het polymeerverbruik dus met circa 151 gram per persoon per jaar toe. Omgerekend naar voedselresten is dit dus circa 2,3 g per kg voedselresten.

5.5.5 Effluent

De rwzi's zonder voorbezinktank en gistingtank behalen een gewogen gemiddelde effluentconcentratie van 5,5 mg N-totaal/l en 0,9 mg P-totaal/l [10]. Het gewogen gemiddelde volume van de actief-slibtank en het drogestofgehalte in de actief-slibtank is respectievelijk 0,264 m³ per i.e._{aanvoer} en 3,9 kg ds/m³ [10]. Bij een rwzi met een vuilbelasting van 100.000 i.e. is dus een actief-slibtank van circa 26.400 m³ aanwezig.

Voor het doorrekenen van de effecten op de rwzi is gekozen om het 'stand-still' principe te hanteren. Dit wil zeggen dat N-totaal effluentconcentratie niet mag verslechteren. Om dit uitgangspunt te kunnen halen, dient na toevoeging van voedselresten aan het afvalwater het slibgehalte met 0,5 kg ds/m³ te worden verhoogd bij een rwzi met een belasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen). Per aangevoerde i.e. is de verhoging dus circa 0,132 kg ds (0,264 * 0,5). Omgerekend naar een verhoging per persoon is dit 0,15 kg ds. Omdat voor N-totaal het 'stand-still' principe is gehanteerd blijft de concentratie in het effluent gelijk. Doordat het aanvoerdebiet van de rwzi toeneemt neemt de lozingsvracht ook toe. Bij een rwzi met een belasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen) zonder voedselresten is het debiet circa 7,45 miljoen m³ per jaar. Wanneer voedselrestenvermalers worden toegepast neemt het debiet toe tot circa 7,55 miljoen m³ per jaar. Bij de variant zonder voedselresten is de lozingsvracht circa 41 ton N/jaar en bij de variant met voedselresten circa 41,5 ton per jaar. In totaal wordt er dus circa 0,5 ton N/jaar meer geloosd. Dit is per persoon circa 6,4 g N per jaar.

Door toevoeging van voedselresten neemt de secundair slibproductie toe. Omdat een deel van het fosfaat met het slib wordt afgevoerd, zal na toepassing van de voedselrestenvermalers het fosfaatgehalte in het effluent afnemen. In het gehanteerde model is de effluent-

concentratie gelimiteerd op 0,2 mg/l en deze wordt gehaald. Mogelijk wordt in de praktijk een lagere concentratie gehaald. Vooralsnog wordt hier geen rekening meegehouden. Bij de variant zonder voedselresten is de effluentconcentratie 0,9 mg P-totaal/l en daarmee komt de lozingsvracht op circa 6,7 ton P/jaar. Bij de variant met voedselresten is de effluentconcentratie dus 0,2 mg P-totaal/l en de lozingsvracht komt daarmee op circa 1,5 ton per jaar. In totaal wordt er dus circa 5,2 ton P/jaar minder geloosd. Dit is per persoon circa 60 g P per jaar.

5.5.6 Emissies

De emissies van de rwzi zijn beschreven in 'Protocol 12-035 Afvalwater van Ministerie I&M'. De richtlijn noemt dat een rwzi zonder voorbezinktank en zonder slibgistingtank een methaanemissie heeft van 7,0 g CH₄/kg CZV_{influent}. In deze richtlijn is ook een richtlijn voor lachgasemissies opgenomen. De richtlijn van de methaanemissie en lachgasemissie (N₂O) zijn in de praktijk in een STOWA onderzoek onderzocht [12]. Uit dit onderzoek is gebleken dat de emissie van methaan vanuit rwzi's vooralsnog kan worden ingeschat door gebruik te maken van de factoren zoals genoemd in het protocol van het ministerie van I&M. Voor de emissie van lachgas is gesteld dat het niet mogelijk is om een algemene emissiefactor op te stellen, aangezien de emissie afhangt van of de betreffende rwzi hoog- of laagbelast is in relatie tot de stikstofbelasting. Voor hoogbelaste rwzi's (>0,015 kg N kg ds-1.d-1) lijkt de emissiefactor van het ministerie een onderschatting en bij laagbelaste rwzi's een overschatting. In het betreffende STOWA onderzoek is geconcludeerd dat de meeste rwzi's in Nederland laagbelast zijn en dat door het gebruik van de huidige emissiefactoren voor N₂O een overschatting wordt gemaakt van de bijdrage aan de nationale emissie. In het betreffende STOWA onderzoek is voor de laagbelaste rwzi's een N₂O emissie gevonden van 0,04 – 0,048 % [12]. Binnen onderliggend onderzoek is veiligheidshalve 0,05 % aangehouden voor de N₂O emissie bij rwzi's, ofwel 0,5 g N₂O-N/kg N-Kjeldahl_{influent}.

Bij een rwzi met een vuilbelasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen) is de methaanemissie en lachgasemissie respectievelijk 27 ton CH₄ per jaar en 175 kg N₂O-N per jaar. Per persoon per jaar is respectievelijk circa 314 gram CH₄ en 2,0 gram N₂O-N.

Door toevoeging van voedselresten nemen de vrachten van CZV en N-Kjeldahl toe. Als gevolg hiervan neemt ook de emissie toe. De methaanemissie en lachgasemissie neemt toe naar respectievelijk 38 ton CH₄ per jaar en 195 kg N₂O-N per jaar. Omgerekend is dit per persoon per jaar respectievelijk circa 437 gram CH₄ en 2,3 gram N₂O-N. De toename van de methaan en lachgasemissie is dus respectievelijk 123 gram CH₄ en 0,3 gram N₂O-N. Omgerekend naar voedselresten is dit 1,9 g CH₄/kg voedselresten en 3,5 mg N₂O-N/kg voedselresten.

5.6 Best-case - Rioolwaterzuiveringsinstallaties met voorbezinktank en slibgisting

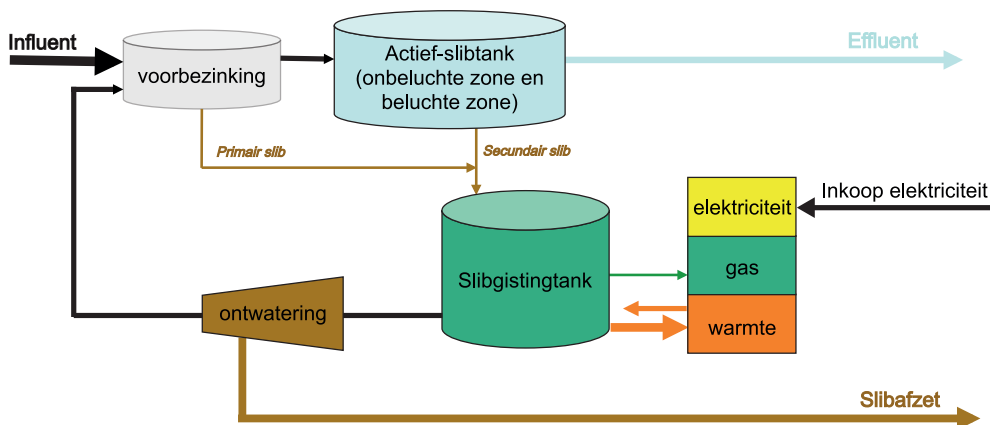
De waarden waarmee gerekend wordt binnen de LCA voor het best-case scenario van de waterketen zijn in navolgende tabel opgenomen. Een toelichting op de waarden volgt daarna. Op basis van de gevoeligheidsanalyse kunnen we stellen dat de specifieke kengetallen per kilogram voedselresten niet significant verschillend zijn wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers veranderd. Uitzondering hierop is het specifieke kengetal van de beluchtingsenergie. Bij een lage penetratiegraad kan de benodigde beluchtingsenergie met 60 - 65 % lager liggen.

Omschrijving	Kengetal	specifiek LCA
Zuivering afvalwater		
- Energiegebruik beluchting	+ 3,96 kWh/pers/jaar	+ 0,06 kWh/kg GF
- Energiegebruik ontwatering	+ 0,57 kWh/pers/jaar	+ 0,01 kWh/kg GF
- Eigenopwekking	+ 16,1 kWh/pers/jaar	+ 0,25 kWh/kg GF
Slibproductie & slibgisting		
- Primair slib	+ 10,24 kg ds/pers/jaar	+ 0,16 kg ds/kg GF
- Secundair slib	+ 3,67 kg ds/pers/jaar	+ 0,06 kg ds/kg GF
- Uitgegist slib	+ 4,62 kg ds/pers/jaar	+ 0,07 kg ds/kg GF
- Totale biogasproductie	+ 7,53 Nm ³ /pers/jaar	+ 0,12 Nm ³ /kg GF
- Biogas naar WKK	+ 7,53 Nm ³ /pers/jaar	+ 0,12 Nm ³ /kg GF
- Biogas afgefakkeld	0 Nm ³ /pers/jaar	0 Nm ³ /kg GF
Gebruik chemicaliën		
- Defosfatering (FeCl ₃ á 40 %)	283 g/pers/jaar	+ 4,35 g/kg GF
- Slibontwatering (kation poeder)	63,35 g/pers/jaar	+ 0,97 g/kg GF
Effluent		
- N-totaal	+ 0,01 kg N/pers/jaar	+ 0,17 g N/kg GF
- P-totaal	- 0,04 kg P/pers/jaar	- 0,65 g P/kg GF
Emissies		
- Methaanemissie	0,15 kg CH ₄ /pers/jaar	+ 2,30 g CH ₄ /kg GF
- Lachgasemissie	0,23 g N ₂ O-N/pers/jaar	+ 3,50 * 10 ⁻³ g N ₂ O-N/kg GF

Tabel 5.5 Overzicht waarden voor LCA voor best-case scenario waterketen

5.6.1 Toelichting rwzi concept

De best-case rwzi ziet er in hoofdlijnen als volgt uit, zie figuur 5.2.



Figuur 5.2 Schematische weergave best-case rwzi

5.6.2 Energie afvalwaterzuivering

Beluchting

Vanuit de BVZ blijkt dat een rwzi met voorbezinktank en slibgistingtank een gewogen gemiddelde beluchtingsenergiegebruik heeft van 0,106 GJ_{prim}/ie_{aanvoer}-jaar [10]. Voor het omrekenen naar primaire energie wordt rekening gehouden met een elektrisch rendement van 40 % (gemiddeld elektrisch rendement energiecentrale in Nederland). Het specifiek energiegebruik komt daarmee op 29,5 kWh/ ie_{aanvoer}-jaar, ofwel 34,2 kWh per persoon per jaar.

Vanuit de modelresultaten blijkt dat door toevoeging van voedselresten het energiegebruik toeneemt met circa 4,0 kWh per persoon per jaar. Omgerekend naar de hoeveelheid kg voedselresten dat per persoon per jaar wordt geproduceerd is dat 0,06 kWh/kg voedselresten.

Ontwatering

Het gewogen gemiddelde energiegebruik van de slibontwatering circa 120 kWh/ton $ds_{aanvoer}$ [10]. Bij deze variant wordt het uitgestist slib ontwaterd. Jaarlijks neemt door toevoeging van de voedselresten de uitgestist slibhoeveelheid toe met circa 5 kg ds /persoon.jaar (zie ook subkop 'slibproductie en slibgisting'). Het energiegebruik neemt daardoor toe met 0,57 kWh/persoon per jaar. Omgerekend is dit circa 0,01 kWh/kg voedselresten.

Eigenopwekking

Voor de energieopwekking zijn de volgende kengetallen verkend (allen gewogen gemiddelden):

1. Elektrisch rendement WKK (warmtekrachtkoppeling):

Voor het bepalen van het elektrisch rendement van de WKK is aangehouden dat de huidige biogas een methaangehalte heeft van 65 % [10]. De totaal geproduceerde hoeveelheid biogas is 102 miljoen m^3 [10]. Gewogen gemiddeld wordt van deze biogashoeveelheid circa 93 % aan de WKK geleverd en het overige gedeelte wordt afgefakkeld [10]. De bruto energie-inhoud van het geleverde biogas aan de WKK is 569 PWh/jaar. De gewogen gemiddelde energieproductie van de WKK's is 1,97 kWh/ m^3 biogas [10]. De totale energieproductie is daarmee 188 PWh/jaar. Het gewogen gemiddelde elektrisch rendement van de WKK's op de $rwzi$'s is dan circa 33 %.

2. Specifieke biogasproductie per kg ds aanvoer:

De totaal geproduceerde hoeveelheid biogas is 102 miljoen m^3 . Dit is vrijgekomen door behandeling van in totaal circa 320.000 ton ds [10]. De specifieke biogasproductie is dan 0,32 $Nm^3/kg\ ds_{aanvoer}$.

3. Geproduceerde energie per persoon per jaar:

Het is niet exact bekend van hoeveel personen het slib vergist wordt. Wel is bekend wat de totaal aanvoerde hoeveelheid (primair/secundair) slib is. Met behulp van de landelijk gemiddelde slibproductie zijn hieruit de i.e.'s bepaald. Dit is circa 22,5 miljoen i.e. De totale hoeveelheid biogas naar de WKK is circa 95,3 miljoen m^3 [10]. De gewogen gemiddelde energieproductie is 1,97 kWh/ m^3 [10]. Daarmee is de totaal geproduceerde hoeveelheid energie circa 188 PWh. Daarmee is de geproduceerde hoeveelheid energie per i.e. circa 8,3 kWh per i.e. per jaar en daarmee op circa 9,7 kWh per persoon per jaar.

Door toevoeging van de voedselresten wordt een relatief eenvoudig vergistbaar materiaal toegevoegd aan de vergisting. De standaard afbraakconstanten voor primair slib kunnen niet gehanteerd worden voor het mengsel van primair slib met voedselresten. Vanuit de literatuur ([4] en [8]) zijn de afbraakconstanten van voedselresten bepaald. De afbraak wordt in het model van 'Chen & Hashimoto' berekend op basis van de verblijftijd. De verblijftijd in de slibgistingstank is constant gehouden.

Vanuit de modellering blijkt dat de biogasproductie met ruim 140 % toeneemt. Dit betekent dat voor de Nederlandse situatie de biogasproductie circa 248,7 miljoen m^3 is. De biogashoeveelheid dat afgefakkeld is, is gelijk gehouden en daarmee resteert een biogashoeveelheid van circa 241,7 miljoen m^3 dat nuttig wordt toegepast. De gewogen gemiddelde energieproductie van de WKK's blijft gelijk (1,97 kWh/ m^3). De totale energieproductie komt daarmee op 443 PWh/jaar. Omgerekend is dit per persoon per jaar circa 25 kWh. Het verschil zonder en met voedselresten komt dan op circa 16 kWh per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit circa 0,25 kWh/kg voedselresten.

5.6.3 Slibproductie en slibgisting

Primair slib

De exacte hoeveelheid primair slib is niet opgenomen in de BVZ [10]. In de BVZ staan wel de aanvoerconcentraties van ruw influent en op de actief-slibtank opgenomen. Met het verschil tussen de aanvoerconcentraties en het aanvoerdebiet kan vervolgens bepaald worden hoeveel CZV is afgevangen. Om tot de hoeveelheid primair slib te komen zijn vervolgens de algemene kengetallen 1,6 kg CZV/kg ODS [13] en het asgehalte van primair slib gebruikt. Hieruit blijkt dat de gewogen gemiddelde primair slib hoeveelheid circa 11 kg ds per i.e._{aanvoer} is. Dit betekent dat er per persoon dan 12,9 kg ds wordt geproduceerd.

Om de hoeveelheid primair slib te kunnen kwantificeren voor de variant met voedselresten zijn de bezinkingsproeven van Karlsruhe [8] gebruikt. De doorzet van onopgeloste bestanddelen en BZV wordt als volgt bepaald:

$$SS_{GF} = 0,17 * \left(\frac{4}{HVT_{vbt}} \right)^{0,324}$$

$$BZV_{GF} = 0,3 + 0,12 * \left(\frac{4}{HVT_{vbt}} \right)^{0,324}$$

Hierin geldt:

SS_{GF} : doorzet van onopgeloste bestanddelen uit voedselresten naar actief-slibtank

HVT_{vbt} : hydraulische verblijftijd van afvalwater in voorbezinktank

BZV_{GF} : doorzet van BZV uit voedselresten naar actief-slibtank

De gemiddelde hydraulische verblijftijd in de voorbezinktank is berekend en bedraagt bij droogweeraanvoer circa 4 uur.

De verwijderingsrendementen van onopgeloste bestanddelen en BZV zijn respectievelijk circa 83 en 58 %. De verwijderingsrendementen voor CZV, N-Kjeldahl en P-totaal zijn niet opgenomen in Karlsruhe. Het verwijderingsrendement van CZV is met behulp van de analyseresultaten van de voedselresten ingeschat.

Vanuit de analyseresultaten van CZV kan worden achterhaald dat circa 73 % van het CZV colloïdaal is (vast aan deeltjes) en het overige deel opgelost. Het opgeloste deel zal niet afgevangen worden in de voorbezinktank. Het verwijderingsrendement van de CZV die colloïdaal is, is gelijk aan die van de onopgeloste bestanddelen. In totaal zal van de CZV dus circa 61 % worden afgevangen. Voor N-Kjeldahl en P-totaal zijn de verwijderingsrendementen gelijkgehouden.

Door toevoeging van voedselresten neemt de primair slibproductie toe. Zonder voedselresten bedroeg de primair slibproductie 12,9 kg ds per persoon per jaar. Bij een vochtgehalte van 80 % [5] wordt er circa 13 kg ds per persoon per jaar aan voedselresten geloosd op het riool. Hiervan wordt door de voorbezinktank circa 83 % afgevangen. Daarmee stijgt de slibproductie van primair slib met circa 10 kg ds per persoon per jaar.

Secundair slib

Volgens de BVZ hebben de rwzi's met voorbezinktank en slibgistingtank een gewogen gemiddelde secundaire slibproductie van 12,9 kg ds/ $i_{e, \text{aanvoer}}$ -jaar [10]. Dit betekent dat per persoon per jaar gewogen gemiddeld circa 14,9 kg ds wordt geproduceerd.

De vuilvracht naar de actief-slibtank neemt als gevolg van de voedselresten toe. Hierdoor neemt de hoeveelheid voedingsstoffen eveneens toe en als gevolg daarvan de secundaire slibproductie. Daarnaast daalt ook de slibleeftijd en bij een lagere slibleeftijd neemt ook de slibproductie toe. Volgens de modellering neemt de slibproductie toe naar circa 18,6 kg ds per persoon per jaar. Dit betekent een toename van circa 3,7 kg ds per persoon per jaar. Omgerekend naar de hoeveelheid voedselresten is dit 0,06 kg ds per kg voedselresten.

Uitgest slib

In de BVZ is opgenomen wat de hoeveelheid uitgest slib is van de rwzi's met slibgistingtanks. Het is niet bekend wat de verdeling van primair en secundair slib is. De landelijk gemiddelde slibproductie is circa 14 kg ds per $i_{e, \text{aanvoer}}$ per jaar [10]. Deze hoeveelheid ligt tussen de eerder genoemde waarden voor de secundaire slibproductie met en zonder voorbezinktank en ligt boven de primaire slibproductie. In totaal is er circa 320.000 ton ds gevoed aan de slibgistinginstallaties [10]. Dit betekent dus dat de slibhoeveelheid overeenkomt met een totale aanvoer van circa 22,5 miljoen $i_{e, \text{aanvoer}}$'s. De totale uitgest slibhoeveelheid is circa 206.400 ton ds [10]. De gewogen gemiddelde hoeveelheid uitgest slib is circa 9,2 kg ds per $i_{e, \text{aanvoer}}$ per jaar. Omgerekend is dit per persoon per jaar circa 10,6 kg ds.

Volgens de modellering neemt de hoeveelheid uitgegist slib met circa 40 % toe. Dit betekent dat de hoeveelheid uitgegist slib met circa 5 kg ds per persoon per jaar toeneemt. Omgerekend naar de hoeveelheid voedselresten is dit circa 0,07 kg ds per kg voedselresten.

Biogasproductie (naar WKK/afgefakkeld)

Vanuit de BVZ blijkt dat de waterschappen in Nederland in totaal circa 102 miljoen m³ biogas [10] hebben geproduceerd. Deze biogashoeveelheid is geproduceerd vanuit een aangevoerde hoeveelheid slib van circa 320.000 ton droge stof [10]. De slibaanvoer naar de slibgistingtanks bestaat uit een mengsel van primair en secundair slib. Het is niet exact bekend wat dit mengsel is en met hoeveel i.e. dit overeenkomt. Om dit te kunnen achterhalen is de landelijk gemiddelde slibproductie van circa 14 kg ds per i.e._{aanvoer} per jaar [10] gehanteerd. In totaal komt deze slibhoeveelheid dan overeen met circa 22,5 miljoen i.e.'s. De specifieke biogasproductie per i.e. komt dan op circa 4,5 m³ per jaar. Per persoon is dit dan circa 5,3 m³ per jaar.

Het aandeel dat nuttig wordt toegepast is circa 93 % [10] (4,9 m³/pers/jaar) het overige deel wordt afgefakkeld (0,4 m³/pers/jaar).

Door toevoeging van voedselresten neemt de biogasproductie met 140 % toe. Dit betekent dat per persoon een biogashoeveelheid van circa 12,8 m³ wordt geproduceerd. De afgefakkelde hoeveelheid is gelijkgehouden (0,4 m³/pers/jaar). De hoeveelheid biogas die nuttig wordt toegepast neemt dan alleen toe en is 12,4 m³/pers/jaar.

Als gevolg van de toevoeging van voedselresten neemt zowel de totale als de biogasproductie naar de WKK met circa 7,5 m³ per persoon per jaar toe. Omgerekend naar de hoeveelheid voedselresten is dit circa 0,12 m³ per kg voedselresten.

5.6.4 Gebruik chemicaliën

Bij deze variant worden chemicaliën gebruikt ten behoeve van de defosfatering en voor de ontwatering. Beiden worden hierna toegelicht.

Defosfatering

Volgens de BVZ is bij deze variant een jaargemiddeld chemicaliëngebruik van circa 0,021 mol/ i.e._{aanvoer}.dag [10], ofwel 0,030 mol/pers.dag. Voor de defosfatering wordt ervan uitgegaan dat FeCl₃ wordt gedoseerd. Het molgewicht van FeCl₃ is 162,2 g/mol. Verder moet rekening worden gehouden dat het gewichtspercentage van FeCl₃ circa 40 % is. De totale hoeveelheid FeCl₃ (40 % oplossing) dat gedoseerd wordt, is circa 12,0 g FeCl₃ per persoon per dag, ofwel 4,4 kg FeCl₃ per persoon per jaar.

Meer gebruikelijk is het om de specifieke doseerhoeveelheid uit te drukken in mol Fe/mol P. Voor de toelichting zie paragraaf 5.5. De specifieke doseerhoeveelheid is gemiddeld circa 0,6 mol Fe/mol P.

Door toevoeging van de voedselresten neemt de fosfaatvracht in het influent toe. De specifieke chemicaliëndosering (mol Fe/mol P) is gelijk gehouden in de modellering. Als gevolg hiervan neemt de chemicaliëndosering toe. Per persoon wordt na toepassing van voedselrestenvermalers circa 1,76 g PO₄-P per dag worden geloosd. De totale hoeveelheid FeCl₃ (40 % oplossing) dat gedoseerd wordt, is circa 12,8 g FeCl₃ per persoon per dag, ofwel 4,7 kg per persoon per jaar. Het verschil tussen is dan circa 0,3 kg FeCl₃ per persoon per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een toename van circa 4,4 g FeCl₃ per kg voedselresten.

Slibontwatering

Om de ontwaterbaarheid van het slib te verbeteren wordt een polymeer toegevoegd. In Nederland worden verschillende producten gebruikt. Voor deze studie is het volgende product geselecteerd 'Polyacrylamide, kationisch, poeder'.

Bij deze variant wordt alleen het uitgegist slib ontwaterd. Zoals eerder beschreven (zie subkop: 'uitgegist slib') neemt de hoeveelheid uitgegist slib met circa 5 kg ds per persoon per jaar toe. Volgens de BVZ is het gewogen gemiddelde polymeerverbruik 13,7 kg/ton ds [10]. Door toevoeging van voedselresten neemt het polymeerverbruik dus met circa 63 g per persoon per jaar toe. Omgerekend naar voedselresten is dit dus circa 1 g/kg voedselresten.

5.6.5 Effluent

Volgens de BVZ behalen de rwzi's met voorbezinktank en gistingtank een gewogen gemiddelde effluentconcentratie van 9,5 mg N-totaal/l [10] en 1,1 mg P-totaal/l [10]. Het gewogen gemiddelde volume van de actief-slibtank en het drogestofgehalte in de actief-slibtank is respectievelijk 0,134 m³ per i.e._{aanvoer} en 4,1 kg ds/m³ [10]. Bij een rwzi met een vuilbelasting van 100.000 i.e. is dus een actief-slibtank van circa 13.400 m³ aanwezig.

Ook hier is gekozen om het 'stand-still' principe te hanteren. Dit wil zeggen dat N-totaal effluentconcentratie niet mag verslechteren. Om dit uitgangspunt te kunnen halen dient na de toevoeging van voedselresten aan het afvalwater het slibgehalte met 0,5 kg ds/m³ te worden verhoogd bij een rwzi met een belasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen). Per aangevoerde i.e. is de verhoging dus circa 0,067 kg ds (0,134 * 0,5). Omgerekend naar een verhoging per persoon is dit 0,077 kg ds.

Omdat voor N-totaal het 'stand-still' principe is gehanteerd blijft de concentratie in het effluent gelijk. Doordat het aanvoerdebiet van de rwzi toeneemt neemt de lozingsvracht ook toe. Bij de variant zonder voedselresten is het debiet circa 7,45 miljoen m³ en bij de variant met voedselresten circa 7,55 miljoen m³. Bij de variant zonder voedselresten is de lozingsvracht circa 71 ton N/jaar en bij de variant met voedselresten circa 72 ton per jaar. In totaal wordt er dus circa 1,0 ton N/jaar meer geloosd. Dit is per persoon circa 11,0 g N per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een toename van circa 0,17 g N per kg voedselresten.

Door toevoeging van voedselresten neemt de secundair slibproductie toe. Omdat een deel van het fosfaat met het slib wordt afgevoerd, zal na toepassing van de voedselrestenvermalers het fosfaatgehalte in het effluent afnemen. Het fosfaatgehalte komt volgens de modellering op 0,6 mg/l. Bij de variant zonder voedselresten is de effluentconcentratie 1,1 mg P-totaal/l de lozingsvracht komt daarmee op circa 8,2 ton P/jaar. Bij de variant met voedselresten is de effluentconcentratie dus 0,6 mg P-totaal/l en de lozingsvracht is dan circa 4,5 ton per jaar. In totaal wordt er dus circa 3,7 ton P/jaar minder geloosd. Dit is per persoon circa 42 g P per jaar. Omgerekend naar voedselresten is dit een vermindering van circa 0,65 g P per kg voedselresten.

5.6.6 Emissies

De emissies van de rwzi zijn beschreven in 'Protocol 12-035 Afvalwater van Ministerie I&M'. De richtlijn noemt dat een rwzi met voorbezinktank en slibgistingtank een methaanemissie heeft van 8,5 g CH₄/kg CZV_{inluent}. Voor lachgasemissies wordt binnen dit onderzoek de STOWA-richtlijn gevolgd. De STOWA-richtlijn geeft aan dat er 0,05 % aangehouden kan worden voor de lachgas emissie bij rwzi's, ofwel 0,5 g N₂O-N/kg N-Kjeldahl_{inluent}.

Bij een rwzi met een vuilbelasting van 100.000 i.e. (ruim 86.000 personen) is de methaanemissie en lachgasemissie respectievelijk 33 ton CH₄ per jaar en 195 kg N₂O-N per jaar. Per persoon per jaar is respectievelijk circa 381,3 gram CH₄ en 2,0 gram N₂O-N.

Door toevoeging van voedselresten nemen de vrachten van CZV en N-kjeldahl toe. Als gevolg hiervan neemt ook de emissie toe. De methaanemissie en lachgasemissie neemt toe naar respectievelijk 38 ton CH₄ per jaar en 195 kg N₂O-N per jaar. Omgerekend is dit per persoon per jaar respectievelijk circa 530,4 gram CH₄ en 2,3 gram N₂O-N. De toename van de emissies is dan per persoon per jaar 149,2 gram CH₄ en 0,23 gram N₂O-N. Omgerekend naar voedselresten is dit 2,3 g CH₄/kg voedselresten en 3,5 mg N₂O-N/kg voedselresten.

6 Nieuwe waterketenroute (route 4)

6.1 Inleiding

Naast de veranderingen op het niveau van huishoudens zijn er ook verandering op rwzi niveau. Hierbij moet gedacht worden aan de emissies, het energiegebruik, de slibproductie, chemicaliëngebruik veranderen. Bij toepassing van een slibgisting zal ook de biogasproductie (en de daar bijhorende emissies) veranderen. Verder kan de samenstelling van het gereinigde water veranderen. Bij het uitvoeren van de LCA studie is rekening gehouden met:

- Verandering van de samenstelling van het afvalwater
- Verandering van de slibproductie (secundair slib)
- Energiegebruik
 - Beluchting
 - Ontwatering
- Biogasproductie:
 - Nuttige toepassing van biogas in WKK
 - Afgafakkelde hoeveelheid biogas
- Chemicaliëngebruik:
 - Defosfatering (ijzerchloride 40 % oplossing)
 - Slibontwatering (Polyacrylamide, kationisch, poeder)
- Verandering van samenstelling geloosd afvalwater:
 - N-totaal
 - P-totaal
- Emissies:
 - Methaanemissies
 - Lachgasemissies

De waarden waarmee gerekend wordt binnen de LCA zijn per scenario sterk verschillend. In navolgende paragrafen zijn de waarden per scenario opgenomen.

6.2 Kwantificeren van effecten

Voor het verkennen van de effecten van het toepassen van voedselresten zijn twee modelleringen uitgevoerd. Bij de eerste modellering geldt dat de huishoudens - van de ruim 86.000 personen (gelijk aantal personen als bij route 3 is aangehouden) – voorzien van vacuüm-toiletten, maar zonder voedselrestenvermalers. Bij de tweede modellering geldt dat de huishoudens wel voedselrestenvermalers zijn voorzien (en ook vacuüm-toiletten).

6.3 Rioolwaterzuiveringsinstallatie conform nieuwe waterketen concept

In deze paragraaf is gekeken naar de verschillen tussen inzameling met en zonder voedselresten volgens het nieuwe waterketen principe. De verschillen tussen beide varianten kunnen worden verklaard door voedselresten en mag dus worden omgerekend naar het effect per kg voedselresten. De waarden waarmee gerekend wordt binnen de LCA zijn in navolgende tabel opgenomen. Een toelichting op de waarden volgt daarna.

Omschrijving	Kengetal	specifiek LCA
Energie afvalwatertransport		
- Conventioneel (grijswater)	+ 0 kWh/pers/jaar	+ 0,0 kWh/kg GF
- Vacuümsysteem	+ 2,4 kWh/pers/jaar	+ 0,04 kWh/kg GF
Energie afvalwaterzuivering		
- Energiegebruik Anammox-reactor	+ 0,46 kWh/pers/jaar	+ 7,0 Wh/kg GF
- Energiegebruik struvietreactor	+ 0,04 kWh/pers/jaar	+ 0,6 Wh/kg GF
- Energiegebruik beluchting actief-slibtank	+ 0,1 kWh/pers/jaar	+ 0,28 Wh/kg GF
- Energiegebruik ontwatering	+ 0,3 kWh/pers/jaar	+ 4,4 Wh/kg GF
Slibproductie & slibgisting		
- Ingedikt zwartwater (incl. GF)	+ 10,2 kg ds/pers/jaar	+ 0,16 kg ds/kg GF
- Secundair slib	0 kg ds/pers/jaar	0 kg ds/kg GF
- Uitgegist slib	+ 4,5 kg ds/pers/jaar	+ 0,07 kg ds/kg GF
- Totale biogasproductie	+ 8,5 Nm ³ /pers/jaar	+ 0,132 Nm ³ /kg GF
- Biogas naar WKK	+ 8,5 Nm ³ /pers/jaar	+ 0,132 Nm ³ /kg GF
- Biogas afgefakkeld	0 Nm ³ /pers/jaar	0 Nm ³ /kg GF
Gebruik chemicaliën		
- Defosfatering (FeCl ₃ á 40 %)	n.v.t.	n.v.t.
- Slibontwatering (kation poeder)	0,03 kg/pers/jaar	+ 0,5 g/kg GF
- Magnesiumchloride (opl. 32 %wt)	0,09 kg/pers/jaar	+ 1,4 g/kg GF
Effluent		
- N-totaal	0,4 g N/pers/jaar	0,007 g N/kg GF
- P-totaal	0 g P/pers/jaar	0 g P/kg GF
Emissies		
- Methaanemissie	0,15 kg CH ₄ /pers/jaar	+ 2,30 g CH ₄ /kg GF
- Lachgasemissie	0,23 g N ₂ O-N/pers/jaar	+ 3,50 * 10 ⁻³ g N ₂ O-N/kg GF
Grondstoffenproductie		
- Struviet	0,12 kg MAP/pers/jaar	1,9 g MAP/kg GF

Tabel 6.1 Overzicht waarden voor LCA voor nieuwe waterketen

6.3.1 Toelichting rwzi concept

Voor een toelichting van het nieuwe waterketen concept wordt verwezen naar bijlage 1.

6.3.2 Samenstelling afvalwater

De uitgangspunten voor de vrachten die per dag per persoon geloosd of geproduceerd worden zijn weergegeven in tabel 6.2 . Hierbij wordt opgemerkt dat vanuit de literatuur blijkt dat de zwartwater vrachten bij nieuwe waterketen hoger liggen dan bij de conventionele situatie. Dit levert een zekere discrepantie op en staat bekend als het 'zwartwatergat'. Vooralsnog is er geen verklaring voor de verschillen. Dit wordt momenteel door Stowa en Tauw nader onderzocht in een aparte studie. De vrachten voor grijswater zijn niet verschillend voor de conventionele variant en de nieuwe waterketen variant.

Tabel 6.2 Verwachte vrachten per persoon per dag zwartwater, grijswater en voedselresten

Omschrijving	CZV totaal [g/pers.d]	BZV [g/pers.d]	Zwevende stof [g/pers.d]	N-totaal [g/pers.d]	P-totaal [g/pers.d]
Nieuwe waterketen					
- Zwartwater	85,5 ^A	31,7 ^B	38,0 ^D	10,1 ^A	1,3 ^A
- Voedselresten	48,1	33,8	33,8	1,2	0,1
- Grijswater	59,3	22,9	37,1	1,3	0,3
- Totaal	192,9	88,4	108,9	12,6	1,7
- via vacuümriool	133,6	65,5	71,8	11,3	1,4
- via vrijverval	59,3	22,9	37,1	1,3	0,3
Conventioneel (zonder voedselrestenvermalers)					
- Zwartwater	63,6	24,6	19,9	9,8	1,3
- Grijswater	59,3	22,9	37,1	1,3	0,3
- Totaal	133,6	65,5	71,8	11,3	1,4

A. Bron: Praktijkgegevens Lemmerweg, Sneek

B. Herleid op basis van onderzoek Claudia Wendland, 'Anerobic Digestion of Blackwater and Kitchen Refuse', TUHH, 2008, Phd thesis

C. Verhouding CZV/BZV van 1,4 aangehouden (bron: artikel Afval in en urine uit het riool?, april 2003, intech K&S, blz. 92-94)

D. Gemiddelde verhouding communaal afvalwater gehanteerd; CZV/BZV-verhouding van 2,7 en ZS/BZV-verhouding van 1,2

De berekende vrachten en debieten voor de referentie rwzi van de nieuwe waterketen variant zijn vergeleken met de aanvoervrachten en debieten van de referentie voor de conventionele variant (met en zonder toepassing van voedselrestenvermalers), zie tabel 6.3. Opgemerkt moet worden dat de genoemde vrachten en debieten exclusief industrie zijn. De vrachten afkomstig van de industrie blijven onveranderd.

Tabel 6.3 Berekende aanvoervrachten vanuit huishoudens (referentie rwzi, excl. industrie)

Omschrijving	CZV totaal [kg/d]	BZV [kg/d]	Zwevende stof [kg/d]	N-totaal [kg/d]	P-totaal [kg/d]	Debiet [m ³ /d]
Nieuwe waterketen						
- Zwartwater	7.386	2.735	3.283	872	112	533
- Voedselresten	4.154	2.923	2.923	108	9,2	102
- Grijswater	3.583	1.385	2.243	81	19	5.167
- Totaal huishoudens	15.123	7.043	8.448	1.061	140	5.802
- Via vacuümriool	11.539	5.658	6.205	980	122	635
- Via vrijverval	3.583	1.385	2.243	81	19	5.167
Conventioneel (met voedselrestenvermalers)						
- Zwartwater	3.847	1.487	1.204	590	81	2.095
- Voedselresten	4.154	2.923	2.923	108	9,2	275
- Grijswater	3.583	1.385	2.243	81	19	5.167
- Totaal huishoudens	11.584	5.795	6.370	779	109	7.537
Conventioneel (zonder voedselrestenvermalers)						
- Zwartwater	3.847	1.487	1.204	590	81	2.095
- Grijswater	3.583	1.385	2.243	81	19	5.167
- Totaal huishoudens	7.431	2.872	3.447	672	100	7.431

6.3.3 Slibproductie en slibgisting

Ingedikt zwartwater

De voorindikker van het zwartwater heeft een bepaald afscheidingsrendement. Voor voedselresten is het afscheidingsrendement gelijk aan het afscheidingsrendement van de voorbezinktank. Voor zwartwater zijn de ervaringskengetallen van Tauw gebruikt [14].

Het drogestofgehalte van het ingaande zwartwater (met voedselresten) is circa 1 % drogestof [8, 14]. Dit wordt door de voorindikker ingedikt tot een drogestofgehalte van circa 3,5 % drogestof [14]. Het overloopwater bevat nog circa 0,5 % indamprest [14]. Indamprest bestaat uit de som van zouten en onopgeloste bestanddelen. Aangezien de 0,5 % indamprest ongeveer gelijk is aan de zoutresten welke in het zwartwater aanwezig zijn, wordt ervan uitgegaan dat de onopgeloste bestanddelen volledig worden afgescheiden.

De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Aanvoer gravitaire indikker				
- Debiet	m ³ /d	635	533	101,8
- Drogestof	kg ds/d	6.205	3.283	2.923
- Drogestofgehalte	%ds	1,0	0,6	-
Afvoer gravitaire indikker				
- Debiet	m ³ /d	163	94	69
- Drogestof	kg ds/d	5.706	3.283	2.423
- Drogestofgehalte	%ds	3,5	3,5	-
Overloop gravitaire indikker				
- Debiet	m ³ /d	472	439	33
- Drogestof	kg ds/d	500	0	500
- Drogestofgehalte	%ds	0,1	0,0	-

Tabel 6.4 Berekende aanvoervrachten vanuit huishoudens (referentie rwzi, excl. industrie)

Secundair slib

Vanuit de modelresultaten blijkt dat er tussen de verschillende varianten geen verschil is qua slibproductie. Dit kan verklaard worden doordat er bij de nieuwe waterketen voornamelijk voedingsstoffen via de sliblijn wordt omgezet/afgebroken. De slibproductie wordt dan voornamelijk door de grijswaterstroom bepaald en deze is in beide gevallen (met en zonder voedselresten) gelijk.

Uitgegist slib

De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten voor de uitgegiste slibhoeveelheden zijn in tabel 6.5 opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Slibaanvoer gisting				
- Zwart water	kg ds/d	3.283	3.283	0
- Voedselresten	kg ds/d	2.423	0	2.423
- Secundair slib	kg ds/d	3.517	3.517	0
- Totaal	kg ds/d	9.223	6.800	2.423
Slibafvoer gisting				
- Totaal	kg ds/d	5.834	4.768	1.066

Tabel 6.5 Berekende slibafvoer met en zonder voedselresten

In voorgaande tabel is te zien dat door toevoeging van voedselresten de uitgeste slibhoeveelheid toeneemt tot circa 1.070 kg ds/d. Dit is per persoon per jaar circa 4,5 kg ds. Omgerekend per kilogram voedselresten komt dit neer op circa 0,07 kg ds.

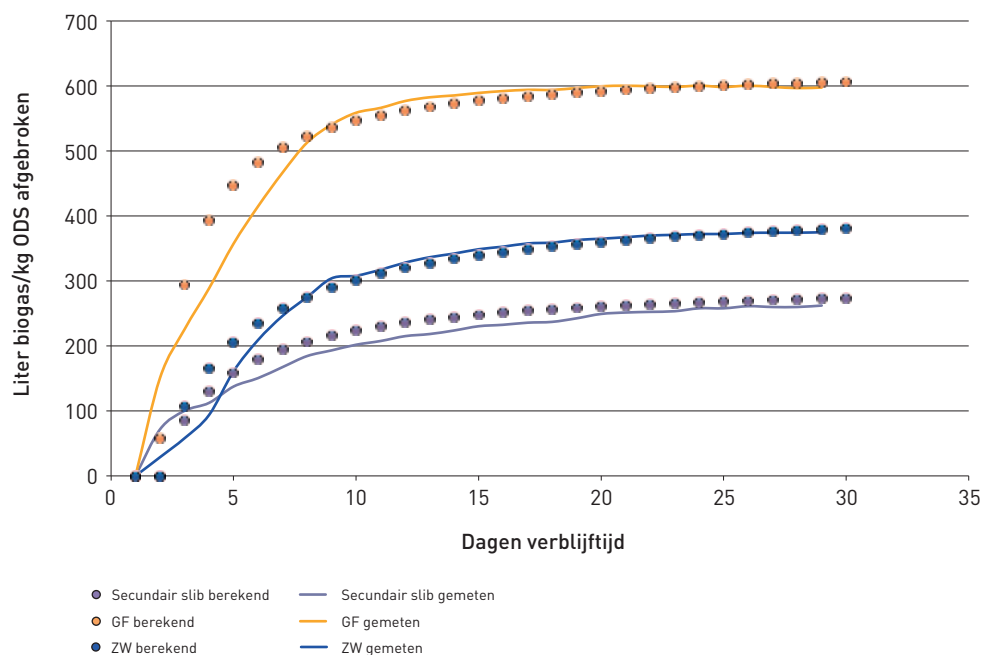
Biogasproductie (naar WKK/afgefakkeld)

Bij de nieuwe waterketen wordt biogas opgewekt vanuit de slibgistingtank, maar ook vanuit de UASB (overloopwater voorindikker). Beiden worden hierna toegelicht. De totale toename van de biogasproductie – als gevolg van het toevoegen van voedselresten – komt op circa 8,1 Nm³ per persoon per jaar, ofwel circa 0,13 Nm³ per kilogram voedselresten.

Slibgistingtank

De vergistbaarheid van het zwartwater en de voedselresten is op basis van vergistingsproeven [8] berekend. In navolgende figuur is de berekende biogasproductie vergeleken met de gemeten biogasproductie bij de laboratoriumexperimenten.

Figuur 6.1 Berekende biogasproductie versus gemeten biogasproductie



In figuur 6.1 is te zien dat de berekende biogasproductie een goede weergave van de werkelijke biogasproductie geeft. Bij verblijftijden van kleiner dan 10 dagen geeft de berekende biogasproductie een overschatting, maar dergelijke verblijftijden worden in Nederland (bij slibgistingtanks) niet gehanteerd [10].

De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten voor de uitgeste slibhoeveelheden zijn in navolgende tabel opgenomen.

Tabel 6.6 Berekende biogasproductie met en zonder voedselresten

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Biogasproductie	Nm ³ /d	3.285	1.846	1.439

In de tabel is te zien dat als gevolg van de toevoeging van voedselresten de biogasproductie toeneemt met circa 1.440 Nm³/d. Dit is per persoon per jaar circa 6,1 Nm³. Omgerekend per kilogram voedselresten komt dit neer op circa 0,094 Nm³.

Biogasproductie UASB (naar WKK/afgefakkeld)

In een UASB wordt het influent onderin de reactor ingebracht en afgelaten aan de bovenzijde. Het slib in de reactor is in hoofdzaak korrelvormig en vormt een deken in de reactor met onderaan de meest compacte slibkorrels en daarboven de lichtere korrels en zwaardere slibvlokken. Erg lichte slibvlokken zullen door de opwaartse stroming uitspoelen. Bovenaan de reactor wordt het biogas verzameld en afgevoerd, gescheiden van het gedeeltelijk gezuiverde water en het slib. De CZV-omzetting van een UASB is doorgaans relatief hoog.

Binnen het project Waterschoon Sneek is anaerobe vergisting van zwartwater gedurende vier jaar getest in vier configuraties. Hieruit blijkt dat bij een hydraulische verblijftijd van 4 dagen een CZVtot-omzetting van 55 % kan worden gehaald (voor alleen zwartwater) [15]. De toevoeging van voedselresten zal de methanogene verhogen, waardoor een omzettingsrendement van 60 % haalbaar is [15]. Hiervoor zijn duidelijk indicaties waargenomen binnen het project Waterschoon Sneek waarbij zwartwater in combinatie met voedselresten wordt vergist in een UASB-reactor.

De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten voor de uitgegiste slibhoeveelheden zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Overloop gravitaire indikker				
- CZV	kg/d	3.487	1.846	1.641
- Rendement	% CZV	60	55	-
- Omzetting CZV	kg/d	2.092	1.016	1.077
- Methaanproductie	Nm ³ /d	732	355	377
- Biogasproductie	Nm ³ /d	1127	547	580

Tabel 6.7 Berekende biogasproductie met en zonder voedselresten vanuit de UASB

In de tabel is te zien dat als gevolg van de toevoeging van voedselresten de biogasproductie toeneemt met circa 580 Nm³/d. Dit is per persoon per jaar circa 2,4 Nm³. Omgerekend per kilogram voedselresten komt dit neer op circa 0,038 Nm³ biogas.

6.3.4 Energie afvalwaterzuivering

Op de afvalwaterzuivering staan verschillende energieconsumerende processen. Sommige processen zijn vrij nieuwe processen en van deze processen is nog geen database opgebouwd van het energiegebruik. Het energiegebruik van deze onderdelen is gebaseerd op de theoretisch benodigde energie en is gecontroleerd met het gemeten energiegebruik bij het project Waterschoon Sneek. Op deze wijze kan toch een goede richting gegeven worden van de werkelijk benodigde energie.

Energiegebruik struvietreactor

Bij een struvietreactor (zoals AirPrex) wordt lucht ingeblazen ten behoeve van de menging en vanwege het verhogende pH-effect (CO₂-stripping). De lucht toevoerhoeveelheid ligt voor een dergelijke installatie op 10 – 15 m³_{lucht}/m³_{slib} [18]. Bij een reactorhoogte van 5 m betekent dit dat het theoretisch benodigde energiegebruik circa 0,02 kWh/Nm³ is.

De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Aanvoer struvietreactor				
- Totale aanvoer	m ³ /d	572	543	29
- Luchttoevoer	Nm ³ /m ³	15	15	
- Benodigde luchttoevoer	Nm ³ /d	8.580	8.144	436
- Benodigde energie	kWh/Nm ³	0,02	0,02	
- Energiegebruik	kWh/d	172	163	9

Tabel 6.8 Berekend energiegebruik struvietreactor

In voorgaande tabel is te zien dat het toevoerdebiet van de struvietreactor voor de variant zonder voedselresten lager is. De benodigde luchttoevoer (en daarmee het energiegebruik) hangt af van het toevoerdebiet. Bij de modellering is gekozen dat het drogestofgehalte van het ontwaterde slib een vast percentage is (van 23 % droge stof). Vooralsnog is het niet zeker in hoeverre het drogestofgehalte van de slibontwatering wordt beïnvloedt (positief of negatief) door de toevoeging van voedselresten.

In de tabel is te zien dat het energiegebruik voor de beluchting circa 170 kWh/d is. Omgerekend is dit per persoon per jaar circa 0,7 kWh. Bij het project Waterschoon in Sneek is een energiegebruik van 18,3 kWh/pers/jaar [11] gemeten. Dit is het energiegebruik inclusief verwerking van voedselresten. Bij het onderzoek in Sneek[11] wordt bij het energiegebruik een kanttekening gemaakt. Men vermoedt namelijk dat het energiegebruik omlaag kan worden gebracht. Bij de optimalisatie variant wordt een energiegebruik van 6 kWh/pers/jaar [11] aangehouden.

Het huidige gemeten energiegebruik ligt ver van het theoretisch benodigde energiegebruik. Voor het bepalen van het theoretisch benodigde energiegebruik is voor luchttoevoer gebruik gemaakt van een full-scale installatie, namelijk 0,02 kWh/Nm³. Dit kengetal van de full-scale installatie wordt betrouwbaarder geacht dan van een demo-installatie. Derhalve wordt bij de uitwerking rekening gehouden met het theoretisch benodigde energiegebruik.

Tussen de verschillende varianten is er voor het energiegebruik van de beluchting een verschil berekend van circa 10 kWh/d. Omgerekend is dit een circa 0,04 kWh per persoon per jaar, ofwel circa 0,6 Wh per kilogram voedselresten.

Energiegebruik Anammox-reactor

Het energiegebruik van een Anammox-reactor ligt op circa 1,2 kWh per verwijderde kg stikstof [16]. Een stikstofverwijderingrendement van 85 % wordt vaak als eis bij het ontwerp van een Anammox reactor gehanteerd. Met dit rendement wordt hier ook rekening meegehouden.

De stikstofaanvoer naar de Anammox reactor wordt bepaald door:

1. De omgezette hoeveelheid biologische slib vanuit de actief-slibtank
2. Het N-aanbod vanuit het geconcentreerde toiletwater (inclusief het N-aandeel dat vrijkomt bij de omzetting van drogestof)
3. Het N-aanbod vanuit de voedselresten (incl. het N-aandeel dat vrijkomt bij de omzetting van drogestof)

Doordat vanuit het uitgegiste slib fosfaat wordt teruggewonnen (als struviet), wordt ook een gedeelte van het stikstof vastgelegd (per mol P ook één mol N). Het stikstofaanbod neemt dus iets af.

De verschillen tussen de stikstofaanvoer naar de Anammox voor de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Tabel 6.9 Berekend aanvoer en energiegebruik Anammox

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Verskil (aandeel voedselresten)
Uitgelist slib				
- Zwart water	kg N/d	872	872	0
- Voedselresten	kg N/d	108	0	108
- Secundair slib	kg N/d	106	106	0
- Totaal	kg N/d	1.086	978	108
Struvietreactor				
- Vastlegging N als struviet	kg N/d	31	29	2
Anammox				
- N-aanvoer	kg N/d	1.055	949	106
- Omzetting	%	85	85	-
- Verwijderd	kg N/d	897	807	90
- Benodigde energie	kWh/d	1.076	968	108

In de tabel is te zien dat het energiegebruik voor de beluchting circa 1.000 kWh/d is. Omgerekend is dit per persoon per jaar circa 4,2 kWh. Bij het Project Waterschoon Sneek is een energiegebruik gemeten van 67,6 kWh/pers/jaar [11]. Dit is het energiegebruik inclusief verwerking van voedselresten. Het systeem is echter uitgelegd op een grotere capaciteit dan

waarmee die tijdens de metingen is bedreven. Bij de [11] wordt bij het energiegebruik een kanttekening gemaakt. Genoemd wordt dat vanwege een sterke overdimensionering er momenteel een te grote capaciteit staat opgesteld en daardoor het opgesteld vermogen te groot is. Bij optimalisatievariant wordt energiegebruik van 5,7 kWh/pers/jaar [11] genoemd. Dit ligt redelijk in lijn met het theoretisch benodigde energiegebruik. Bij de uitwerking wordt rekening gehouden met het theoretisch benodigde energiegebruik.

Tussen de verschillende varianten is er voor het energiegebruik van de beluchting een verschil berekend van circa 110 kWh/d. Omgerekend is dit van circa 0,46 kWh per persoon per jaar, ofwel circa 7,0 Wh per kilogram voedselresten.

Energiegebruik beluchting actief-slibtank

Het energiegebruik van de actief-slibtank wordt bepaald door de endogene ademhaling (benodigde zuurstof voor bacteriën) omzetting van ammonium naar nitraat. Door omzetting van nitraat naar stikstofgas komt er weer een kleine hoeveelheid zuurstof vrij. Dit kan door de bacteriën worden gebruikt en kan dus in mindering worden gebracht op de totaal benodigde zuurstofinbreng. De verschillen tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Actief-slibtank				
- Benodigde energie	-	3.030	3.006	24

Tabel 6.10 Benodigde energiegebruik actief-slibtank

Vanuit de modelresultaten blijkt dat er voor de nieuwe waterketen door toevoeging van voedselresten het energiegebruik toeneemt met circa 24 kWh/d. Dit is per persoon per jaar circa 0,1 kWh. Omgerekend naar de hoeveelheid kg voedselresten dat per persoon per jaar wordt geproduceerd is dat 0,28 Wh per kg voedselresten.

Energiegebruik ontwatering

Het specifieke energiegebruik van de slibontwatering is voor de nieuwe waterketen gelijk aan de conventionele waterketen variant. Volgens de BVZ is het gewogen gemiddelde energiegebruik van de slibontwatering circa 120 kWh/ton dsaanvoer [10]. De verschillen in slibproductie tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Slibaanvoer gisting				
- Zwart water	kg ds/d	3.283	3.283	-
- Voedselresten	kg ds/d	2.423	0	2.423
- Secundair slib	kg ds/d	3.517	3.517	-
- Totaal	kg ds/d	9.223	6.800	2.423
Slibaanvoer slibontwatering				
- Totaal	kg ds/d	5.159	4.593	566
- Energiegebruik	kWh/tonds	120	120	-
- Benodigde energie	kWh/d	619	551	68

Tabel 6.11 Energiegebruik slibontwatering

Zoals in voorgaande tabel is te zien is het verschil voor het energiegebruik van slibontwatering tussen de beide varianten circa 70 kWh/d. Dit is omgerekend per persoon circa 0,3 kWh per jaar, ofwel 4,4 Wh per kg voedselresten.

6.3.5 Gebruik chemicaliën

Defosfatering

Bij de nieuwe waterketen is dosering van ijzerchloride niet langer noodzakelijk. Het aanwezige fosfaat in zwartwater en voedselresten (inclusief het fosfaat dat vrijkomt bij het vergisten van secundair slib) wordt grotendeels vastgelegd als struviet. Het fosfaat dat nog aanwezig is in het grijswater wordt (volledig) gebruikt ten behoeve van de slibgroei. Het vastleggen van het fosfaat als struviet is voldoende om aan de lozingsnorm van fosfaat te voldoen.

Slibontwatering

De specifieke PE-dosering voor de nieuwe waterketen is gelijk aan die van de conventionele waterketen. Volgens de BVZ ligt het gewogen gemiddelde polymeerverbruik op circa 13,7 kg/ton ds [10]. De verschillen in benodigde PE-dosering tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Tabel 6.12 Benodigde PE-dosering slibontwatering

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Slibaanvoer slibontwatering				
- Totaal	kg ds/d	5.159	4.593	566
- Specifieke PE-dosering	kg PE/tonds	13,7	13,7	-
- Benodigde dosering	kg PE/d	70,7	62,9	7,8

Zoals in voorgaande tabel is te zien is het verschil voor benodigde PE-dosering tussen de beide varianten circa 8 kg PE/d, ofwel circa 2.830 kg PE/jaar. Omgerekend is dit per persoon 0,03 kg per jaar en per kilogram voedselresten circa 0,5 g PE.

Nutriëntenterugwinning (bij de struvietreactor)

Voor de terugwinning van nutriënten wordt het uitgegiste slib in een struvietreactor behandeld. Door middel van dosering van een magnesiumhoudende (Mg) stroom wordt het fosfaat samen met het ammonium geprecipiteerd. Fosfaat is de limiterende stof en op basis van het aanwezige fosfaat zal de dosering plaatsvinden. De doseerverhouding ligt in de praktijk op circa 1,5 mol Mg / mol P [18]. De verschillen in benodigde Mg-dosering tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Tabel 6.13 Benodigde chemicalien vanuit struvietreactor en grondstoffenproductie

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Vershil (aandeel voedselresten)
Slibafvoer gisting				
- Zwart water	kg PO ₄ -P/d	56	56	-
- Voedselresten	kg PO ₄ -P/d	5	-	5
- Secundair slib	kg PO ₄ -P/d	15	15	-
- Totaal	kg PO ₄ -P/d	76	71	5
Struvietreactor				
- Doseerverhouding	mol Mg/mol P	1,5	1,5	
- Aanvoer struvietreactor	mol PO ₄ -P/d	2.455	2.306	149
- Dosering Mg	mol Mg/d	3.682	3.459	223
- Dosering MgCl ₂	kg MgCl ₂ /d	350	329	21
Grondstoffenproductie				
- Vastlegging P als struviet	kg P/d	71	66	5
- Vastlegging N als struviet	kg N/d	32	30	2
- Productie struviet	kg MAP/d	533	501	32
- Terugwinning	%	90	90	-
- Grondstoffenproductie	kg MAP/d	480	451	29

In voorgaande tabel is te zien dat het verschil voor benodigde Mg-dosering tussen de beide varianten circa 21 kg MgCl_2/d , ofwel circa 7.665 kg $\text{MgCl}_2/\text{jaar}$. Omgerekend is dit per persoon 88,7 g per jaar en per kilogram voedselresten circa 1,4 g MgCl_2 .

Grondstoffenproductie

In tabel 6.13 is te zien dat het verschil van de grondstoffenproductie tussen de beide varianten circa 29 kg MAP/d, ofwel circa 10.600 kg MAP/jaar. Omgerekend is dit per persoon 0,12 kg per jaar en per kilogram voedselresten circa 1,9 g MAP.

Het verschil in de vastlegging van P en N is respectievelijk circa 5 en 2 kg/d. Dit is per persoon circa 0,02 kg P en 8 g N. Omgerekend naar kilogrammen voedselresten is dit dan circa 0,33 g P en 0,13 g N.

6.3.6 Effluent

De actiefslibtank is als een carrousel gedimensioneerd. Vanwege de hoge BZV/N verhouding is het niet nodig om de tank op te delen in verschillende compartimenten. De tank is gedimensioneerd totdat maximaal 90 % van de tank belucht is (in de wintermaanden). Een hoger percentage is niet realistisch. De verschillen in geloosde vrachten N & P tussen de nieuwe waterketen met en zonder voedselresten zijn in navolgende tabel opgenomen.

Omschrijving	Eenheid	Nieuwe waterketen met voedselresten	Nieuwe waterketen zonder voedselresten	Verskil (aandeel voedselresten)
Effluentconcentraties rwzi				
- N-totaal	mg/l	5,9	5,9	-
- P-totaal	mg/l	0,2	0,2	-
Debiet en vrachten rwzi				
- Debiet (excl. industrie)	m ³ /d	5.739	5.710	29
- Debiet (incl. industrie)	m ³ /d	18.891	18.862	29
- N-vracht	kg/d	111,4	111,3	0,1
- P-vracht	kg/d	3,8	3,8	0

Tabel 6.14 Geloosde N en P-vrachten

Zoals in voorgaande tabel is te zien zijn de verschillen tussen de beide varianten klein te noemen. Dit wordt veroorzaakt doordat via de Anammox-reactor al een groot gedeelte van het stikstof wordt verwijderd. Hierdoor zijn er nauwelijks verschillen. Het berekende verschil is 0,1 kg N/d. Dit is per persoon per jaar 0,4 g N en per kilogram voedselresten circa 0,007 g N. Dit is niet significant.

6.3.7 Emissies

Voor nieuwe waterketen zijn er geen metingen rondom de emissies bekend. Vooralsnog is aangenomen dat er voor de nieuwe waterketen geen verschil is met de conventionele waterketen route met voorbezinktank qua emissies.

7 Vergelijking van waterketen route (route 3) en nieuwe waterketen route (route 4)

Navolgend zijn ter overzicht de kengetallen (eenheid per persoon per jaar) van de nieuwe waterketen vergeleken met de kengetallen van de best-case waterketen (rwzi met voorbe-zinktank). Deze waarden zijn terug te vinden in navolgende tabel.

Tabel 7.1 Vergelijking van de conventionele en nieuwe waterketen rwzi

Omschrijving	Conventionele rwzi met voorbe-zinktank en met voedselresten	Nieuwe waterketen met voorbe-zinktank en met voedselresten
Watergebruik		
- Toiletwater	34,7 l/pers.d	6,2 l/pers.d
- grijswater (douche, was, etc.)	85,4 l/pers.d	85,4 l/pers.d
- voedselrestenvermaler	3,0 l/pers.d	1,0 l/pers.d
- totaal	123,1 l/pers.d	92,6 l/pers.d
Afvalwaterhoeveelheid huishoudens ^A	123,3 l/pers.d	92,8 l/pers.d
Energie afvalwatertransport		
- conventioneel	16,2 kWh/pers/jaar	11,2 kWh/pers/jaar
- vacuümsysteem	n.v.t.	13,5 kWh/pers/jaar
- totaal	16,2 kWh/pers/jaar	24,7 kWh/pers/jaar
Energie afvalwaterzuivering		
- Energiegebruik Anammox-reactor	n.v.t.	4,6 kWh/pers/jaar
- Energiegebruik struvietreactor	n.v.t.	0,7 kWh/pers/jaar
- Energiegebruik beluchting actief-slibtank	17,6 kWh/pers/jaar	12,8 kWh/pers/jaar
- Energiegebruik ontwatering	1,9 kWh/pers/jaar	2,6 kWh/pers/jaar
- Subtotaal energiegebruik	19,5 kWh/pers/jaar	20,7 kWh/pers/jaar
- Eigen energieopwekking	- 27,3 kWh/pers/jaar	- 37,6 kWh/pers/jaar
- Totaal netto energiegebruik	-7,8 kWh/pers/jaar	-16,9 kWh/pers/jaar
Slibproductie & slibgisting		
- Primair slib / zwartwater	23,1 kg ds/pers/jaar	26,2 kg ds/pers/jaar
- Secundair slib	18,6 kg ds/pers/jaar	14,9 kg ds/pers/jaar
- Uitgegist slib	15,2 kg ds/pers/jaar	24,6 kg ds/pers/jaar
- Totale biogasproductie	12,8 Nm ³ /pers/jaar	18,7 Nm ³ /pers/jaar
- Biogas naar WKK	12,4 Nm ³ /pers/jaar	+ 17,3 Nm ³ /pers/jaar
- Biogas afgefakkeld	0,4 Nm ³ /pers/jaar	0,4 Nm ³ /pers/jaar
Gebruik chemicaliën		
- Defosfatering (FeCl ₃ á 40 %)	n.v.t.	n.v.t.
- Slibontwatering (kation poeder)	0,21 kg/pers/jaar	0,30 kg/pers/jaar
- Magnesiumchloride (opl. 32 %wt)	n.v.t.	1,5 kg/pers/jaar
Effluent		
- N-totaal	0,8 g N/pers/jaar	0,5 g N/pers/jaar
- P-totaal	52 g P/pers/jaar	16 g P/pers/jaar
Emissies		
- Methaanemissie	0,15 kg CH ₄ /pers/jaar	0,15 kg CH ₄ /pers/jaar
- Lachgasemissie	0,23 g N ₂ O-N/pers/jaar	0,23 g N ₂ O-N/pers/jaar
Grondstoffenproductie		
- Struviet	n.v.t.	2,0 kg MAP/pers/jaar

A. Deze hoeveelheid ligt hoger dan het drinkwatergebruik door het aandeel voedselresten

- 1 STOWA; *LCA van de verwerking van huishoudelijke voedselresten*, rapportnummer 2015-07; 2015
- 2 STOWA; *Ervaringen met de toegepaste technologie op de demo-site Lemmerweg-Oost in Sneek*; rapportnummer 2014-W02
- 3 InSinkErator, *persoonlijke communicatie* dhr. Teunissen
- 4 Universität Karlsruhe (TH); *Die Verwendung von Küchenabfallzerkleinerern (KAZ) aus abwasser- und abfallwirtschaftlicher Sicht*; Jörg Kegebein; 2006
- 5 STOWA; *Voedselresten in de afvalwaterketen?*, Deelrapport 1 inventarisatie afval- en afvalwaterketen, 2015-W-01:
- 6 TNS nipo; *Watergebruik thuis 2010*, door TNS nipo uitgevoerd in opdracht van Vewin, 28 januari 2011
- 7 STOWA; *Huishoudelijk afvalwater; berekening van de zuurstofvraag*; rapportnummer 1998-40; 1998
- 8 STOWA; *DEUGD. Duurzame Energie Uit Geconcentreerde stromen Deventer*, rapportnummer 2011-27; 2011
- 9 RIONED; *Riolering in beeld – Benchmark rioleringszorg 2013*, uitgave stichting RIONED, november 2013
- 10 *Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer 2012* [BVZ 2012], database geraadpleegd medio jaar 2014
- 11 Saxion Enschede; *Energie-analyse decentrale waterketen Noorderhoek, Sneek*; Ralph Lindeboom; 17 april 2014
- 12 STOWA, *Emissies van broeikasgassen van rwzi's*; rapportnummer 2010-08; 2010
- 13 STOWA; *Slibketenstudie*; rapportnummer 2005-26; 2005
- 14 Tauw; *laboratoriumproeven*
- 15 STOWA; *Nieuwe waterketen Apeldoorn 2*; rapportnummer 2013-26; 2013
- 16 B. Wett, *Development and implementation of a robust deammonification process*
- 17 STOWA; *Evaluatie nieuwe waterketen Noorderhoek Sneek*, rapportnummer 2014-38, 2014
- 18 STOWA; *Struviet productie door middel van het AirPrex proces*; rapportnummer 2012-27; 2012
- 19 Zandvoort et al.; *Methaan- en lachgasemissies in de Amsterdamse waterketen*; vakblad H2O, nummer 4-2012, blz 23-26; 2012

Bijlage 1 Hoofdonderdelen zuiveringsconcept nieuwe waterketen

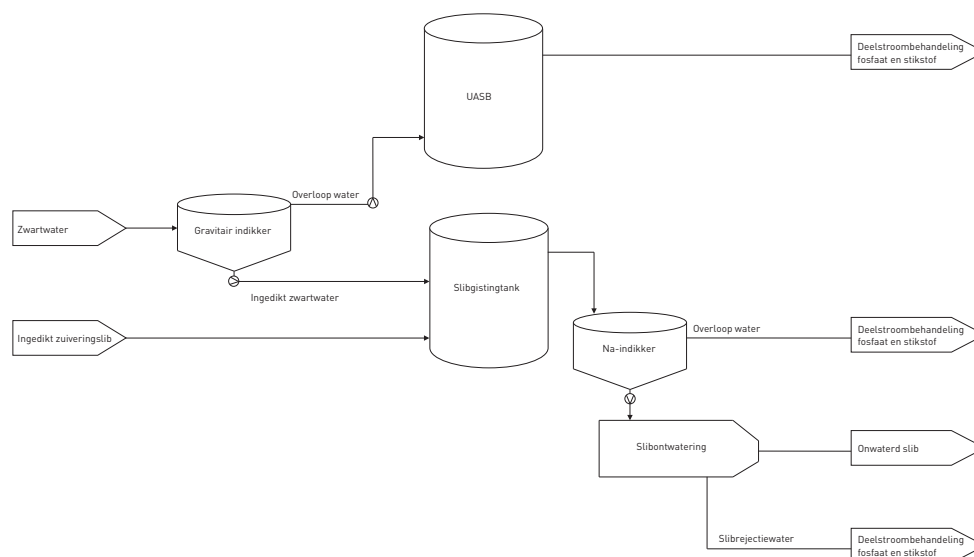
Het blok 'Anaerobe zwartwater- en slibbehandeling' bestaat uit een:

- Gravitaire indikker
- Slibgistingstank (met gashouder)
- Na-indikker
- Slibontwateringsinstallatie
- UASB

Het geconcentreerde zwartwater wordt eerst ingebracht in een gravitaire indikker. In de gravitaire indikker wordt van het zwartwater de vloeibare fractie gescheiden van de vaste fractie. Het zwartwater wordt ingedikte tot circa 3,5 % (indamprest) [14]. Deze stroom wordt gezamenlijk met het mechanisch ingedikte slib vanuit het blok 'aerobe nazuivering' in een normale slibgistingstank vergist.

De dunne fractie (het overloopwater van de indikker) heeft een drogestofgehalte van circa 0,5 % (indamprest) [14]. Deze volumestroom wordt opgewarmd tot circa 30°C. De organische stof die grotendeels opgelost is en deels colloïdale deeltjes bevat, is goed afbreekbaar in een anaerobe korrelreactor (UASB). In figuur B1.1. is het flowschema weergegeven.

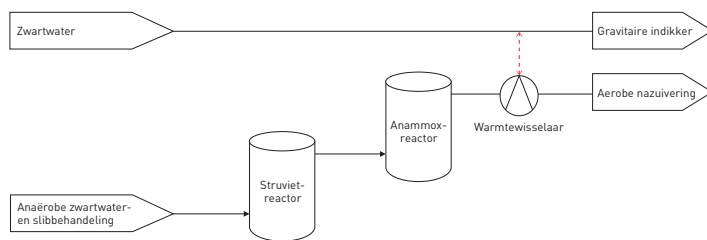
Figuur B1.1 Blokschema anaerobe zwartwater- en slibbehandeling



Het blok 'Deelstroombehandeling fosfaat en stikstof' bestaat uit een:

- Struvietreactor
- Anammox-reactor
- Warmteterugwinning door warmtewisselaar

Het slibrejectionwater (vrijkomend uit ontwatering uitgegist slib) wordt samen met het water uit de UASB nabehandeld in een Anammox-struvietreactor. Struviet is rijk aan stikstof en fosfaat en is onder andere geschikt als meststof voor de landbouw. Door warmteterugwinning na de Anammox-struvietreactor is het warmteverlies te beperken tot een opwarming van circa 5°C. In figuur B1.2 is het flowschema weergegeven.

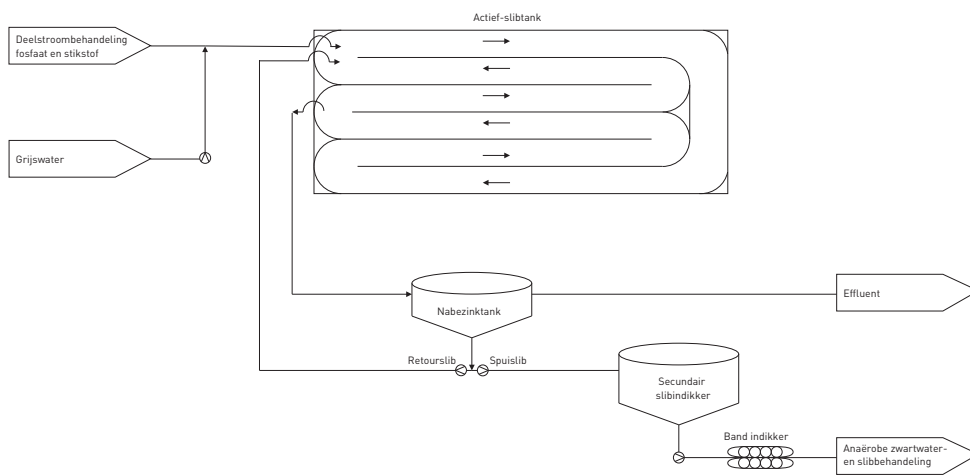


**Figuur B1.2 Blokschema
deelstroombehandeling
fosfaat en stikstof**

Het blok 'Aerobe nazuivering' bestaat uit een:

- Actief-slibtank
- Nabezinktank
- Retourslibgemaal
- Secundair slibindikker
- Mechanische slibindikker

Het grijswater wordt samen met het teruggekoelde effluent van de Anammox-/struviet-reactor in een normale actief-slibinstallatie verwerkt. Het geproduceerde slib vanuit de actief-slibinstallatie wordt na indikking gezamenlijk met het ingedikte zwartwater opgewarmd en vergist. In figuur B1.3 is het flowschema weergegeven.

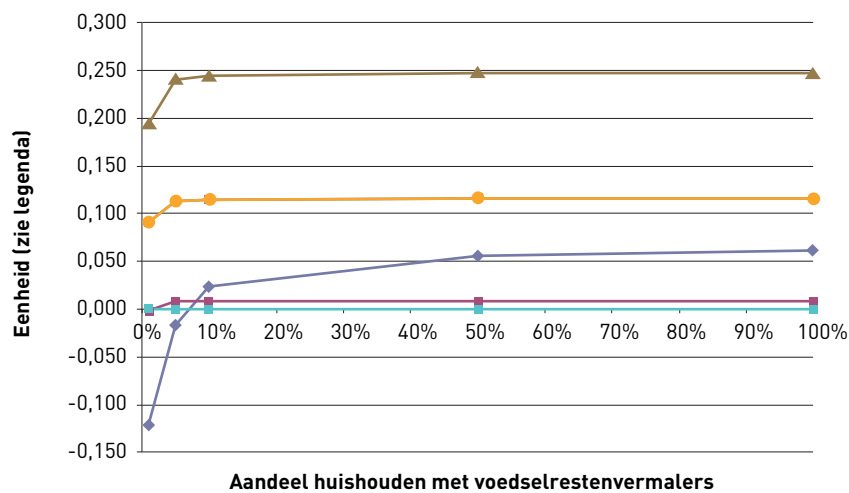


**Figuur B1.3 Blokschema aerobe
nazuivering**

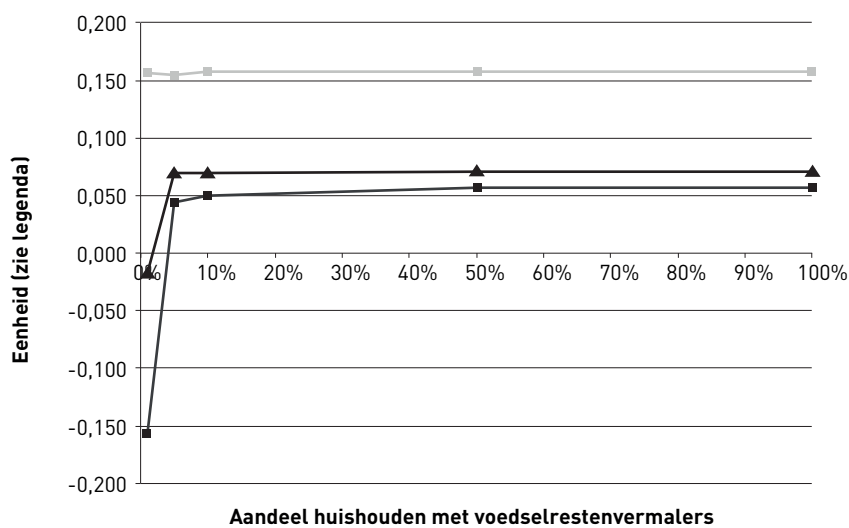
Bijlage 2 Gevoeligheidsanalyse waterketen bij penetratiegraad van 1, 5, 10 en 50 %

In deze bijlage zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse inzichtelijk gemaakt. De gevoeligheidsanalyse bestaat uit het verlagen van de penetratiegraad van de voedselrestenvermalers bij de huishoudens (van ruim 86.000 personen). De effecten van de 100 % case zijn uitgewerkt in hoofdstuk 5. De effecten zijn inzichtelijk gemaakt voor 50, 10, 5 en 1 % van de huishoudens (van ruim 86.000 personen) met voedselrestenmalers. In onderstaande tabel zijn de specifieke kengetallen (effect per kilogram voedselresten) opgenomen. Daarna volgt (ter verduidelijking van de verschillen) een figuur van de effecten voor energievraag/opwekking, biogas en slibproductie. Na de figuur volgt een toelichting.

Best-case - RWZI met voorbezinktank (route 3)						
Huishoudens met voedselrestenvermalers		100%	50%	10%	5%	1%
Inzameling afvalwater						
Hoeveelheid						
- Huishoudens	m ³ /kg GF	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
- Industrie	m ³ /kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- rioolvreemd water	m ³ /kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- totaal	m ³ /kg GF	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Energie						
- specifieke transportenergie	GJprim/kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- specifieke transportenergie	kWh/kg GF	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Zuivering afvalwater						
Energie						
- Energiegebruik beluchting	GJprim/kg GF	0,001	0,001	0,000	0,000	-0,001
- Energiegebruik beluchting	kWh/kg GF	0,061	0,056	0,023	-0,017	-0,120
- Energiegebruik ontwatering	kWh/kg GF	0,009	0,009	0,009	0,009	-0,002
- Eigen opwekking	kWh/kg GF	0,247	0,247	0,245	0,241	0,195
- Totaal biogas naar WKK	m ³ /kg GF	0,116	0,116	0,115	0,113	0,091
- Totaal biogas afgefakkeld	m ³ /kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- Totale biogasproductie	m ³ /kg GF	0,116	0,116	0,115	0,113	0,091
Slibproductie						
- primair slib	kg ds/kg GF	0,158	0,157	0,157	0,155	0,156
- secundair slib	kg ds/kg GF	0,056	0,057	0,050	0,044	-0,156
- uitgestort slib	kg ds/kg GF	0,071	0,071	0,070	0,070	-0,017
- totaal afgezette slibhoeveelheid	kg ds/kg GF	0,071	0,071	0,070	0,070	-0,017
Gebruik chemicaliën						
- Defosfatering (ijzerchloride 40%)	g FeCl ₃ (à 40%) / kg GF	4,35E+00	4,354	4,353	4,352	4,341
- Slibontwatering (kation...poeder)	kg/ton ds					
- Slibontwatering (kation...poeder)	kg/kg GF	9,75E-04	9,76E-04	9,58E-04	9,53E-04	-2,33E-04
Effluentconcentraties						
- N-totaal	kg N/kg GF	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04
- P-totaal	kg P/kg GF	-6,53E-04	-3,84E-04	-5,18E-04	-1,15E-04	-1,15E-04
Luchtemissies (CH₄ en N₂O)						
- Methaanemissie	kg CH ₄ /kg GF	3,21E-04	3,21E-04	3,21E-04	3,21E-04	3,21E-04
- Lachgasemissie	kg N ₂ O-N/kg GF	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06



- ◆ Energiegebruik beluchting kWh/kg GF
- ◆ Energiegebruik ontwatering kWh/kg GF
- ▲ Eigen opwekking kWh/kg GF
- ◆ Totaal biogas naar WKK m³/kg GF
- ◆ Totaal biogas afgefabriceerd m³/kg GF
- Totale biogasproductie m³/kg GF



- ◆ uitgestort slib kg ds/kg GF
- primair slib kg ds/kg GF
- ▲ totaal afgezette slibhoeveelheid kg ds/kg GF
- secundair slib kg ds/kg GF

Vanuit de verschillende figuren en de tabel valt te herleiden dat wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers afneemt:

- De hoeveelheid primair slib (slib dat is afgevangen door voorbezinktank) per kilogram voedselresten gelijk blijft. Dit is ook te verwachten¹⁷
- De hoeveelheid secundair slib (slibgroei in actief-slibtank) per kilogram voedselresten zwak dalend is (bij 100 % 0,056 kg ds per kg voedselresten en bij 10 % 0,050 kg ds per kg voedselresten). Afwijkend hiervan is de 5 % case en in het bijzonder de 1 % case. Voor de 1 % case geldt dat de slibproductie vrijwel gelijk is aan de variant zonder voedselresten (feitelijk de 0 % case). Omdat er slechts een kleine hoeveelheid voedselresten op de rwzi wordt verwerkt en alle verschillen toegerekend worden aan voedselresten wordt het vrijwel zeer beperkte verschil in slibproductie (verschil <1 %) sterk uitvergroot. Dit effect wordt mede versterkt doordat de gebruikte getallen zijn afgerond
- De beluchtingsenergie eveneens afneemt. Dit is opvallend. De benodigde luchtinbreng hangt af van meerdere aspecten, bijvoorbeeld bij een hoog slibgehalte in de actief-slibtank is er meer zuurstof nodig voor de endogene ademhaling (benodigde zuurstof voor bacteriën). Omdat gekozen is voor een 'stand-still' principe (N-totaal effluentconcentratie mag niet verslechteren) is bij de varianten met een hoge penetratiegraad van voedselrestenvermalers het slibgehalte verhoogd. Dit leidt dus tot een hogere zuurstofvraag (luchtinbreng) en dus hogere beluchtingsenergie

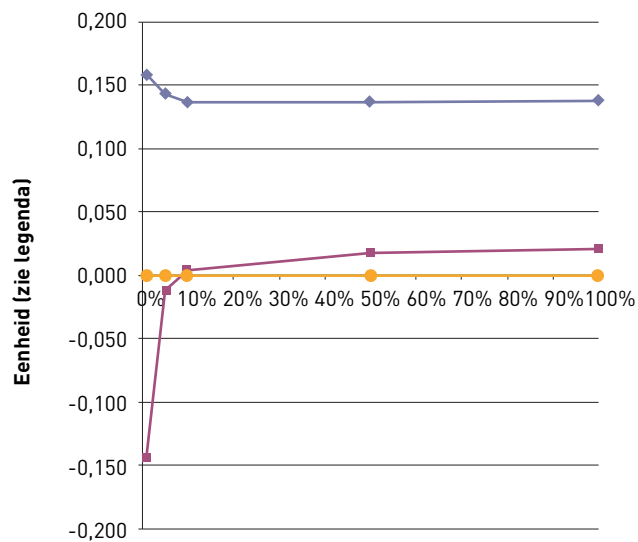
Doordat de primaire en secundaire slibhoeveelheid gelijk blijft (voor de 10, 50 en 100 % cases) moet de biogasproductie, energieopwekking en ontwatering ook gelijk blijven. Dit is ook het geval en stemt dus overeen met het verwachtingspatroon. Door de daling van het specifieke kengetal van de slibproductie zijn er voor de 1 en 5 % case ook verschillen qua biogasproductie, afgezette slibhoeveelheid en energiegebruik ontwatering.

De geconstateerde verschillen tussen de rwzi zonder voedselresten en de 1 % case zijn niet significant. De zeer beperkte verschillen worden volledig toegerekend aan de voedselresten en worden hierdoor sterk uitvergroot. Mede door afronding van getallen worden de specifieke kengetallen beïnvloedt. Dit is (uiteraard) minder het geval wanneer de hoeveelheid voedselresten groot is. Derhalve wordt de 1 % case als niet betrouwbaar geacht. Zelfs bij de 5 % case zijn de verschillen relatief klein. Derhalve worden deze ook niet betrouwbaar geacht.

Op basis van het voorgaande blijkt dus uit de gevoeligheidsanalyse dat de specifieke kengetallen per kilogram voedselresten niet significant verschillend zijn wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers veranderd. Uitzondering hierop is het specifieke kengetal van de beluchtingsenergie. Het toegepaste slibgehalte heeft een grotere invloed op de zuurstofvraag (en dus beluchtingsenergie). Bij een lage penetratiegraad van voedselrestenvermalers hoeft het slibgehalte in de actief-slibtank niet/nauwelijks te worden verhoogd en kan in relatie tot de kengetallen in hoofdstuk 5 de benodigde beluchtingsenergie met 60 - 65 % dalen.

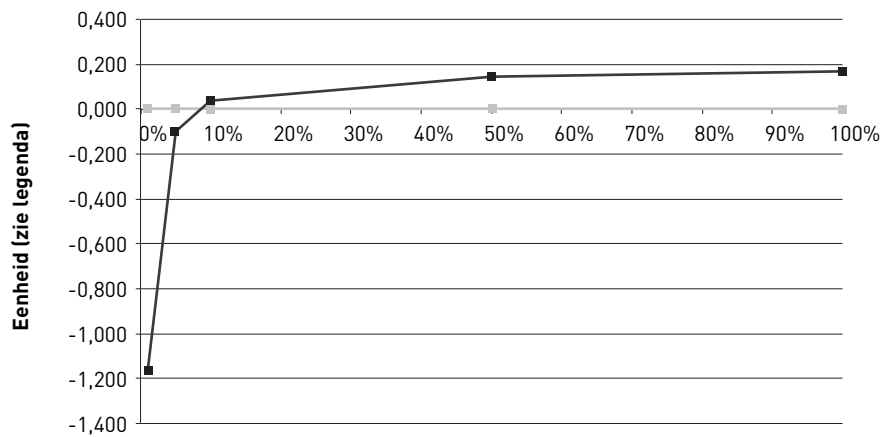
17 zonder rekening te houden met hydraulische (over)belasting als gevolg van het extra te verwerken debiet

Best-case - RWZI met voorbezinktank (route 3)						
Huishoudens met voedselrestenvermalers		100%	50%	10%	5%	1%
Inzameling afvalwater						
Hoeveelheid						
- Huishoudens	m ³ /kg GF	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
- Industrie	m ³ /kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- rioolvreemd water	m ³ /kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- totaal	m ³ /kg GF	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
Energie						
- specifieke transportenergie	GJprim/kg GF	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- specifieke transportenergie	kWh/kg GF	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Zuivering afvalwater						
Energie						
- Energiegebruik beluchting	GJprim/kg GF	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
- Energiegebruik beluchting	kWh/kg GF	0,138	0,137	0,137	0,143	0,159
- Energiegebruik ontwatering	kWh/kg GF	0,021	0,018	0,005	-0,012	-0,143
- Eigen opwekking	kWh/kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
- Totaal biogas naar WKK	m ³ /kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
- Totaal biogas afgefakkeld	m ³ /kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
- Totale biogasproductie	m ³ /kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Slibproductie						
- primair slib	kg ds/kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
- secundair slib	kg ds/kg GF	0,170	0,144	0,038	-0,098	-1,164
- uitgegist slib	kg ds/kg GF	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
- totaal afgezette slibhoeveelheid	kg ds/kg GF	0,170	0,144	0,038	-0,098	-1,164
Gebruik chemicaliën						
- Defosfatering (ijzerchloride 40%)	g FeCl ₃ (á 40%) / kg GF	1,567	1,567	1,567	1,566	1,562
- Slibontwatering (kation...poeder)	kg/ton ds					
- Slibontwatering (kation...poeder)	kg/kg GF	0,002	0,002	0,001	-0,001	-0,016
Effluentconcentraties						
- N-totaal	kg N/kg GF	9,82E-05	9,82E-05	9,82E-05	9,82E-05	9,82E-05
- P-totaal	kg P/kg GF	-9,25E-04	-9,25E-04	-1,18E-04	1,61E-05	1,61E-05
Luchtemissies (CH₄ en N₂O)						
- Methaanemissie	kg CH ₄ /kg GF	2,65E-04	2,65E-04	2,65E-04	2,65E-04	2,65E-04
- Lachgasemissie	kg N ₂ O-N/kg GF	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06	3,50E-06



Aandeel huishouden met voedselrestenvermalers

- ◆ Energiegebruik beluchting kWh/kg GF
- ◆ Eigen opwekking kWh/kg GF
- ◆ Energiegebruik ontwatering kWh/kg GF
- ◆ Totaal biogas naar WKK m³/kg GF
- ◆ Totaal biogas afgefakeld m³/kg GF
- ◆ Totale biogasproductie m³/kg GF



Aandeel huishouden met voedselrestenvermalers

- ◆ uitgegist slib kg ds/kg GF
- ◆ primair slib kg ds/kg GF
- ◆ totaal afgezette slibhoeveelheid kg ds/kg GF
- ◆ secundair slib kg ds/kg GF

Vanuit de verschillende figuren en de tabel valt te herleiden dat wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers afneemt:

- De hoeveelheid secundair slib (slibgroei in actief-slibtank) per kilogram voedselresten dalend is (bij 100 % 0,17 kg ds per kg voedselresten en bij 10 % 0,038 kg ds per kg voedselresten). Opvallend is dat het berekende specifieke kengetal van de 5 % case en in het bijzonder de 1 % case een lagere slibproductie heeft. Voor de 1 % case geldt dat de slibproductie vrijwel gelijk is aan de variant zonder voedselresten (feitelijk de 0 % case). Omdat er slechts een kleine hoeveelheid voedselresten op de rwzi wordt verwerkt en alle verschillen toegerekend worden aan voedselresten wordt het vrijwel zeer beperkte verschil in slibproductie (verschil <1 %) sterk uitvergroot. Dit effect wordt mede versterkt doordat de gebruikte getallen zijn afgerond. Een verklaring voor de lagere slibproductie per kilogram voedselresten is dat wanneer de penetratiegraad van de voedselrestenvermalers hoog is, de samenstelling van het afvalwater anders is. De slibbelasting (voedingsstoffen per kilogram slib) is bij een hoge penetratiegraad hoger en daardoor neemt de slibgroei toe. Dit is ook wel het geval bij de rwzi met voorbezinktank maar daar worden de voedingsstoffen (CZV en BZV) voor een groot deel afgevangen waardoor dit minder terug te zien is. Bij de variant zonder voedselresten komen alle voedselresten (en overige componenten) direct op de actief-slibtank en is dit dus beter terug te zien
- De beluchtingsenergie gelijk blijft. Dit is anders dan de variant met voorbezinktank (hiervoor beschreven). Dit valt eveneens te verklaren doordat alle voedselresten (en overige componenten) direct op de actief-slibtank worden gebracht. Bij de variant met voorbezinking wordt een gedeelte van de CZV en BZV afgevangen en de N en P (waarvoor de rwzi is ingericht) doorgelaten. Daardoor wordt in relatie tot geen voorbezinking de verwijdering van de N en P per kg voedselresten moeilijker

Doordat de secundaire slibhoeveelheid (is ook afgezette slibhoeveelheid) per kilogram voedselresten dalend is, is het energiegebruik voor ontwatering ook dalend.

Ook bij de rwzi zonder voorbezinktank geldt dat de 1 % en 5 % case als niet betrouwbaar worden geacht. Eenzelfde motivatie geldt hiervoor als de rwzi met voorbezinktank.

Op basis van het voorgaande blijkt dus uit de gevoeligheidsanalyse dat de specifieke kengetallen per kilogram voedselresten niet significant verschillend zijn wanneer de penetratiegraad van voedselrestenvermalers verandert. Uitzondering hierop is het specifieke kengetal van de slibproductie. Bij een kleinere penetratiegraad daalt de specifieke slibproductie per kilogram voedselresten en kan in relatie tot de kengetallen in hoofdstuk 5 de slibproductie met 75 – 80 % lager uitvallen.

Bijlage 3 Uitgangspunten bij waterketen route voor rendement voorbezinking, actief-slibtank, slibgisting en energieproductie

Tabel B3.1

Omschrijving	Eenheid	Zonder voedselresten		Met voedselresten	
Voorbezinktank	-	nee	ja	nee	ja
Slibgistingtank	-	nee	ja	nee	ja
Rendement voorbezinktank					
- CZV	%	n.v.t.	35,0	n.v.t.	42,2
- BZV	%	n.v.t.	30,0	n.v.t.	41,6
- N-kjeldahl	%	n.v.t.	5,0	n.v.t.	5,0
- P-totaal	%	n.v.t.	10,0	n.v.t.	10,0
- Onopgeloste bestanddelen	%	n.v.t.	40,0	n.v.t.	56,0
Actief-slibtank					
- Drogestofgehalte	kg ds/m ³	4,0	4,1	4,5	4,6
- Chemicaliëngebruik	mol Fe/mol P	0,2	0,6	0,2	0,6
Slibgisting					
- Asrest primair slib	%	n.v.t.	25	n.v.t.	14
- Asrest secundair slib	%	n.v.t.	30	n.v.t.	30
- Methaanproductie	Nm ³ /kg CZV	n.v.t.	0,35	n.v.t.	0,35
- Methaangehalte biogas	%	n.v.t.	65	n.v.t.	65
- Samenstelling primair slib	kg CZV/kg ODS	n.v.t.	1,6	n.v.t.	1,6
- Samenstelling secundair slib	kg CZV/kg ODS	n.v.t.	1,4	n.v.t.	1,4
Energieproductie					
- Nuttige toepassing biogas	%	n.v.t.	93,0	n.v.t.	97,2
- Afgeakkeld	%	n.v.t.	7,0	n.v.t.	2,8
- Elektrisch rendement WKK	%	n.v.t.	33	n.v.t.	33

Rendement voorbezinktank

Bij de variant zonder voedselresten zijn de rendementen van de voorbezinktank conform het STOWA-rapport 'grenzen actief-slibproces'. Wanneer voedselresten worden toegepast verandert de samenstelling van het afvalwater en daardoor ook het rendement van de voorbezinktank. De verwijderingsrendementen in bovenstaande tabel zijn een gewogen gemiddelde van het verwijderingsrendement van voedselresten (volgens studie Karlsruhe) en de variant zonder voedselresten. Voor een verdere toelichting van de verwijderingsrendementen van voedselresten wordt verwezen naar paragraaf 5.6.3.

Slibgisting

Asrest en samenstelling primair slib

De asrest van primair slib is conform het STOWA rapport 'Slibketenstudie II'. Wanneer het afvalwater wordt voorbehandeld met een voorbezinktank verandert de samenstelling van het primair slib. Voedselresten hebben een relatief lage asrest (5 %). Hierdoor zal de asrest afnemen. Het gewogen gemiddelde asrest is circa 14 %. De berekende verhouding CZV organische stof is 1,6 kg CZV/kg ODS.

Asrest en samenstelling secundair slib

De asrest van secundair slib is conform het STOWA rapport 'Slibketenstudie II'. Doordat het afvalwater wordt voorbehandeld met een voorbezinktank wordt verwacht dat de samenstelling van het secundair slib niet significant veranderd. Voor de asrest en verhouding CZV organische stof worden dezelfde waarden gehanteerd.

Methaanproductie

De methaanproductie per kilogram CZV is 0,35. Deze waarde is eveneens stoichiometrisch te bepalen. Tijdens de slibgisting worden vluchtige vetzuren gevormd en deze worden omgezet naar methaan. Voor vluchtige vetzuren is een structuurformule van $C_5H_7O_2N$ aangehouden. Het molgewicht hiervan is circa 113 gram. Methaan (CH_4) heeft een molgewicht van 16 gram. Bij de afbraak van 2 mol vluchtige vetzuren wordt 5 mol methaan geproduceerd. Dit betekent dus 0,354 gram methaan per gram afgebroken vluchtige vetzuren $((5 \times 16) / (2 \times 113))$. De soortelijke dichtheid van het biogas bij 30 °C is circa 0,99 kg/m³. De stoichiometrisch bepaalde methaanproductie komt overeen met STOWA rapport 'Slibketenstudie II'.

Methaangehalte biogas

Het methaangehalte van biogas is conform het STOWA rapport 'Slibketenstudie II' [13]. In de praktijk varieert de samenstelling van het biogas tussen een methaangehalte van 55-65 % [10] en een CO₂-gehalte van 35-45 % [10].

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2015 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

auteurs

Ronnie Berg (Tauw), Paul Telkamp (Tauw)

projectleider uitvoering:

Paul Telkamp (Tauw)

projectgroepleden:

Arné Boswinkel (RVO), Hugo Gastkemper (Stichting RIONED), Ton Beenen (Stichting RIONED), Bert Palsma (STOWA), Diederik Anema (Gemeente Apeldoorn), Auke Doornbosch (Gemeente Hengelo), Douwe Jan Tilkema (Waterschap Vallei en Veluwe), Frank Groot (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Jeroen Buitenweg (Waterschap Vechtstromen), Marcel Zandvoort (Waternet), Rob Ververs (Waternet), Bas Assink (Twente Milieu), Robert Jan Saft (Vereniging van Afvalbedrijven / Attero), Wiebe Bosma (Vereniging van Afvalbedrijven / HVC), Maarten Goorhuis (NVRD), Arjen Brinkmann (BVOR), Ingrid Odegard (CE Delft), Geert Bergsma (CE Delft), Ronnie Berg (Tauw), Paul Telkamp (Tauw)

vormgeving

Jelle de Gruyter, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

rapportnummer

2015-W-02